

Adaptació eòlica de l'enllumenat



Laia Edo Querol

Tutor: Cosme Cruzado

Curs 2012/2013

IES LA SÉNIA

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	p.3
2. MARC TEÒRIC	p. 4
2.1 Energies renovables	p. 4
2.2 Energia eòlica	p. 5
2.2.1 Avantatges i inconvenients	p. 6
2.2.2 Parts i tipus d'una aeroturbina	p. 6
2.2.3 Tipus d'aerogeneradors	p. 8
2.2.4 Aerogeneradors d'eix vertical	p. 9
2.3 Potència eòlica	p. 11
2.4 El vent a La Sénia	p. 13
3. OBJECTIUS I HIPÒTESIS	p. 18
3.1 Objectius	p. 18
3.2 Hipòtesi	p. 18
4. TREBALL DE CAMP	p. 19
4.1 Elecció de l'aerogenerador	p. 19
4.2 Construcció de l'aerogenerador	p. 19
4.2.1 Estructura	p. 19
4.2.2 Recobriments i muntatge	p. 24
4.2.3 Part elèctrica	p. 29
4.2.3.1 Muntatge	p. 32
4.2.3.2 Modificacions	p. 34
4.3 Materials utilitzats	p. 36
4.4 Potència mecànica disponible	p. 37
4.4.1 Estudi 2010, 2011, 2012	p. 38
4.4.2 Gràfiques teòriques	p. 42
4.4.3 Mesures reals	p. 43
5. Conclusions	p. 46
6. Annexos	p. 47
7. Bibliografia i webgrafia	p. 48
8. Agraïments	p. 50

1. INTRODUCCIÓ

He escollit aquest tema perquè estic molt interessada en les energies renovables. Tot i que predominen les energies no renovables, aquestes altres també estan presents en la nostra vida quotidiana.

La idea de fer un treball de recerca relacionat amb l'energia eòlica va sorgir quan a classe de tecnologia estàvem estudiant aquesta qüestió. Sempre he estat interessada en aquests temes i vaig pensar que com a La Sénia fa molt de vent, potser li podria trobar algun ús.

2. MARC TEÒRIC

2.1 Les energies renovables

També s'anomenen alternatives i provenen de fonts d'energia que es renoven de manera continuada, contràriament als combustibles fòssils, per exemple. Fa relativament poc que s'utilitzen i la majoria d'elles s'originen a partir del Sol.

És a dir, els rajos del Sol arriben a la Terra i d'aquesta manera obtenim energia solar. Aquests rajos també escalfen els gasos de l'atmosfera de manera desigual, i aquesta diferència de temperatura és la que origina els corrents d'aire, que aprofitem per l'energia eòlica. El vent, al seu torn, actua sobre l'aigua del mar i genera les ones. Els rajos de sol també hi arriben i provoquen una diferència de temperatura entre el fons i la superfície. D'aquí obtenim l'energia mareomotriu. També són importants l'energia geotèrmica, la provinent de la calor de la Terra, i la hidràulica, on mitjançant turbines s'aprofita l'energia de la caiguda de l'aigua.

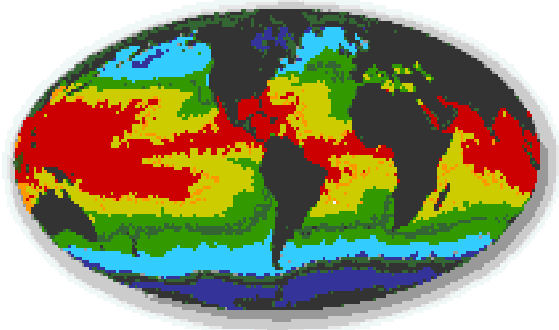
Els principals avantatges de les energies renovables són els següents:

- No s'esgoten.
- Es redueixen les emissions de diòxid de carboni.
- S'aprofiten els recursos autòctons i per tant, no cal importar energia.
- Es dona suport a la indústria d'alta tecnologia, ja que aquests tipus d'energia encara s'han de desenvolupar i consegüentment, es creen llocs de treball.
- Es protegeix el medi ambient i no es depèn dels combustibles fòssils.

Les energies que he anomenat anteriorment són les més importants. Però hem centraré en l'energia eòlica.

2.2 Energia eòlica

L'energia eòlica és l'aprofitament energètic de la força del vent. El vent és el moviment de masses d'aire derivat de l'escalfament desigual de la superfície de la Terra pel Sol. Les regions del voltant de l'equador són les més calentes, ja que els hi toca més el Sol. Com l'aire calent és més lleuger que el fred, en aquesta zona l'aire calent pujarà i s'estendrà cap al nord i cap al sud, provocant la circulació d'aire i per tant el vent. Aquest vent s'anomena geostròfic.



Àrees calentes i fredes

Prop de la superfície de la Terra també s'ha de tenir en compte les forces de fregament de l'aire amb el sòl, les quals depenen de cada zona. Aquest vent s'anomena vent local.

Si l'eix de la Terra fos completament vertical els corrents de vent només es veurien influenciats per les diferències de pressió ja esmentades. Però també cal tenir en compte que l'eix de la Terra està inclinat i això provoca que hi actuï una altra força anomenada força de Coriolis.

Per a poder descriure el vent, cal indicar-ne dues magnituds: la direcció i la velocitat.

Aquesta energia s'usa des de fa temps, per exemple en vaixells de vela, molins per moldre el gra, etc. Actualment per aprofitar-la s'utilitzen aeroturbines. Aquestes màquines transformen l'energia cinètica del vent en mecànica mitjançant les seves pales que giren solidàries a un eix.

2.2.1 Avantatges i inconvenients

Abans he anomenat els avantatges de les energies renovables i com l'eòlica n'és una, aquestes es fan extensibles. Un avantatge particular és el següent. Les zones on es construeixen els parcs eòlics, que són ràpids i prou econòmics de fer, es poden continuar aprofitant. Per exemple, poden continuar pasturant-hi ramats. També cal tenir en compte que una vegada es desmantella el parc, el terreny es conserva en bon estat i amb poques diferències respecte abans de la construcció.

Els inconvenients per aquest tipus d'energia són pocs comparats amb els altres. Són els següents:

- Els parcs eòlics generen un impacte visual, ja que modifiquen el paisatge natural, per això ara també se'n construeixen al mig del mar.
- Els parcs eòlics afecten els ocells, ja que en dificulten el vol i alguns xoquen contra el aerogeneradors. També s'ha vist que afecten les migracions.
- Tot i ser una energia molt neta presenta una mica de contaminació: la produïda pels olis i materials per construir-los i la contaminació acústica.

2.2.2 Parts i tipus d'una aeroturbina

Els principals elements d'una aeroturbina són els següents:

- El rotor o turbina. És la part que transforma l'energia del vent en energia mecànica. Està format per les pales unides a un eix.
- El sistema d'orientació. Té la funció de col·locar el rotor perpendicular a la direcció del vent, per aprofitar al màxim la seva energia.
- El sistema de regulació. Disminueix la velocitat d'engegada, manté la potència i la velocitat del rotor i l'atura quan el vent sobrepassa una velocitat determinada.

-El convertidor energètic. És la part mecànica destinada a transmetre o transformar l'energia mecànica obtinguda a l'eix del rotor. Aquesta part no forma part dels aeromotors, només és pròpia dels aerogeneradors.

- La bancada. És l'element estructural que juntament amb la carcassa suporta i protegeix el convertidor energètic i els sistemes de regulació i orientació.

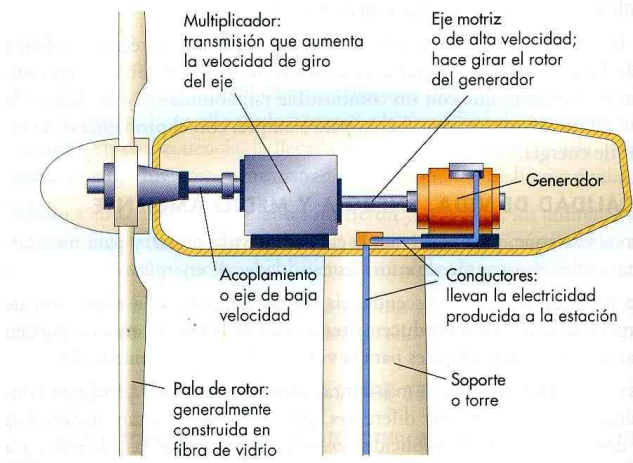
- El suport o torre. És el suport de tot l'equip, té la funció d'eleva el rotor per millorar la captació i absorbir les vibracions que es produeixen.

Hi ha dos tipus d'aeroturbines: els aeromotors i els aerogeneradors.

- Els aeromotors. Estan formats per un rotor amb moltes pales, entre 12 i 24 amb un diàmetre de fins a 8 metres. Tenen un rendiment baix i requereixen poca velocitat de vent, uns 2 m/s. No transformen l'energia mecànica en electricitat, sinó que aquesta s'utilitza per bombejar aigua de pous o realitzar algun treball.

- Els aerogeneradors. Aquests tenen poques pales, entre 1 i 3, i el seu diàmetre

varia depenent de la potència que es vulgui aconseguir. El seu rendiment és més elevat que el dels aeromotors, però necessiten que la velocitat de vent sigui major per funcionar. Concretament un vent mínim de 4 o 5 m/s i obtenen la màxima potència amb vents d'entre 10 a



14 m/s. Si aquesta última velocitat es sobrepassa el sistema de regulació atura el sistema perquè no pateixi danys. Aquests si que transformen l'energia mecànica obtinguda a electricitat mitjançant un convertidor. Cal esmentar el multiplicador, que augmenta la velocitat de l'eix per aconseguir un millor aprofitament.

*Aeromotor*

2.2.3 Tipus d'aerogeneradors

Hi ha dos tipus d'aerogeneradors: els d'eix vertical i els d'eix horitzontal.

- Eix vertical. Com el seu nom indica el seu eix és vertical, el generador està prop de la base i per tant, el manteniment és més senzill. Cal esmentar que obtenen rendiments inferiors que els d'eix horitzontal. N'hi ha dos tipus Savonius i Darrieus (inclou el Giromill). Dedicaré el 2.2.4 d'aquest treball per a explicar aquests aerogeneradors amb més profunditat.

- Eix horitzontal. Com el seu nom també indica tenen l'eix horitzontal. Majoritàriament consten de tres pales, tot i que també n'hi ha amb dos o fins i tot una. Tenen les característiques esmentades anteriorment: necessiten una velocitat mínima del vent de 4 o 5 m/s, una màxima de 10 a 14 m/s, etc. També destaca que hi ha rotors d'esquena al vent, que no necessiten sistemes d'orientació perquè la carcassa ja fa aquesta funció, i rotors de cara al vent, que necessiten un sistema d'orientació que pot ser una cua, una hèlix lateral o mecanismes automàtics.



*Aerogeneradors d'eix horitzontal
de tres pales.*



2.2.4 Aerogeneradors d'eix vertical

En l'apartat anterior, el 2.2.3, ja he començat a esmentar les característiques dels aerogeneradors d'eix vertical. El que he dit és que tenen un fàcil manteniment, ja que el generador està prop de la base, i tenen rendiments inferiors als d'eix horitzontal. També caldria anomenar que no necessiten sistemes d'orientació i poden funcionar amb velocitats de vent més baixes.

Hi ha dos tipus d'aerogeneradors d'eix vertical: Darrieus i Savonius. A continuació els explicarem:

- Darrieus. Va ser desenvolupat per Georges Darrieus, un enginyer francès. Té un rendiment bo pel que respecta als aerogeneradors d'eix vertical, i com a un d'aquests no necessita sistema d'orientació. Habitualment està format per dos pales en forma de "D" i necessita un sistema d'engegada per posar-se en

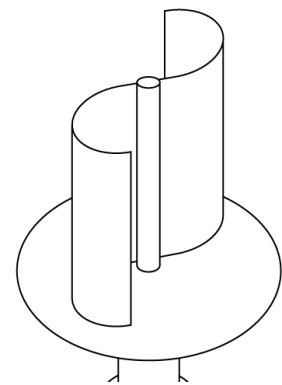


funcionament. Presenta dificultats en la construcció i control davant de grans vents, factors que fan que la seva construcció sigui quasi nul·la.



Una variació d'aquests aerogeneradors és el Giromill. Aquest és més senzill de construir i la seva principal millora és que no necessiten un sistema auxiliar per arrencar, ho poden fer ells mateixos i a partir de 9-10 m/s comencen a produir energia.

- Savonius. Aquest aerogenerador va ser inventat a principis del segle XX per Sigurd J. Savonius. Té una potència i un rendiment baix però són molt senzills. Consten de dos semicilindres col·locats en forma de S i els costa una mica començar a girar, però ho poden fer ells mateixos. L'únic inconvenient que presenten és la disposició de les seves pales, ja que una sempre queda d'esquena al vent i per tant redueix la velocitat.



Per millorar aquest últim inconvenient es va crear el Savonius helicoïdal. En aquest, les cares realitzen un gir de 180° al llarg de l'eix, així no es perd força del vent, també disminueix la força necessària perquè comenci a girar.



Savonius helicoïdal

2.3 Potència eòlica disponible

Per a qualsevol tipus turbina eòlica, la potència que pot extreure el vent està determinada per la fórmula següent:

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

Aquesta fórmula deriva d'ajuntar les dos següents:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad \text{i} \quad m = \rho \cdot S \cdot v$$

On:

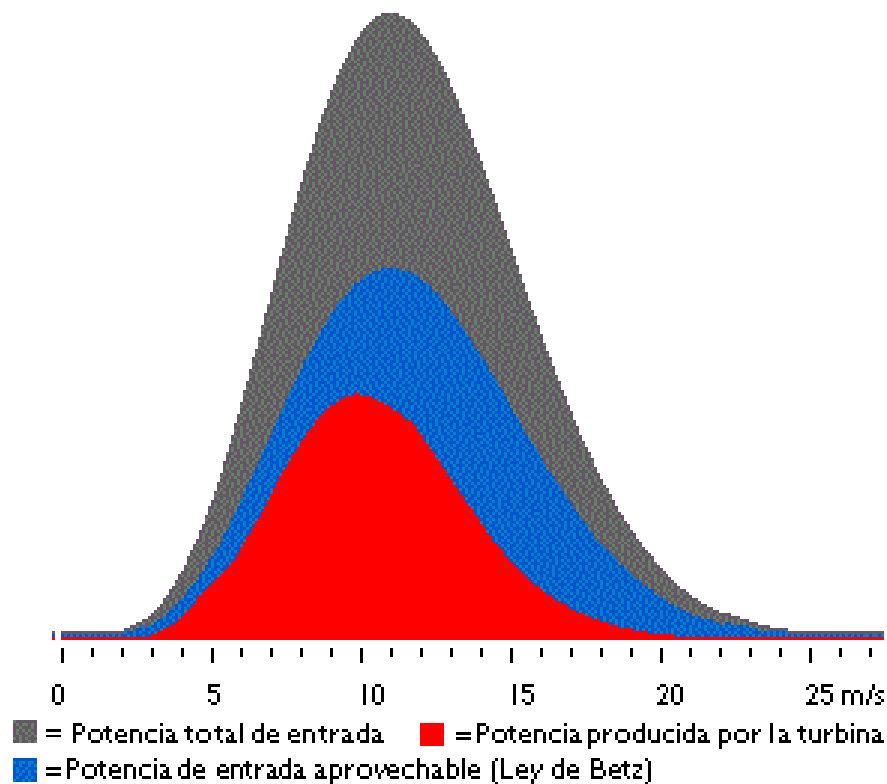
- S = superfície d'escombrada de les pales (m²)
- v = velocitat del vent (m/s)
- ρ = densitat de l'aire (1,225 kg/m³)
- m = massa (kg)
- C_p = Coeficient de potència

El coeficient de potència o rendiment de la màquina (C_p) té un màxim teòric conegut com a límit de Betz, valorat en 0'59.

La llei de Betz és la relació que s'estableix entre la potència extreta de l'aire i la potència eòlica disponible. Aquesta llei ens diu que un aerogenerador pot obtenir un 59% de la potència eòlica disponible. En la pràctica sol anar entre 0'1 a 0'5.

La taula següent mostra valors habituals de C_p depenent de l'aerogenerador.

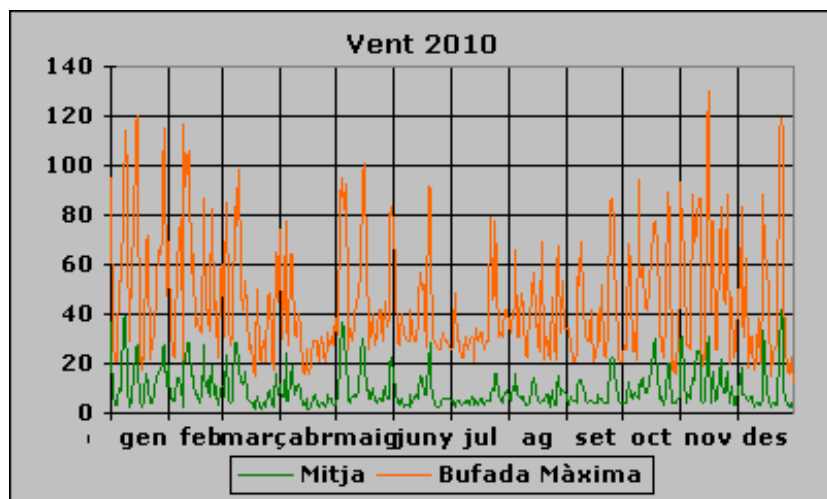
C_p	Tipus aerogenerador
0,5-0,4	Bipala i Tripala
0,4-0,3	Darrieus i Monopala
0,3-0,2	Multipala
0,2-0,1	Savonius i Giromill



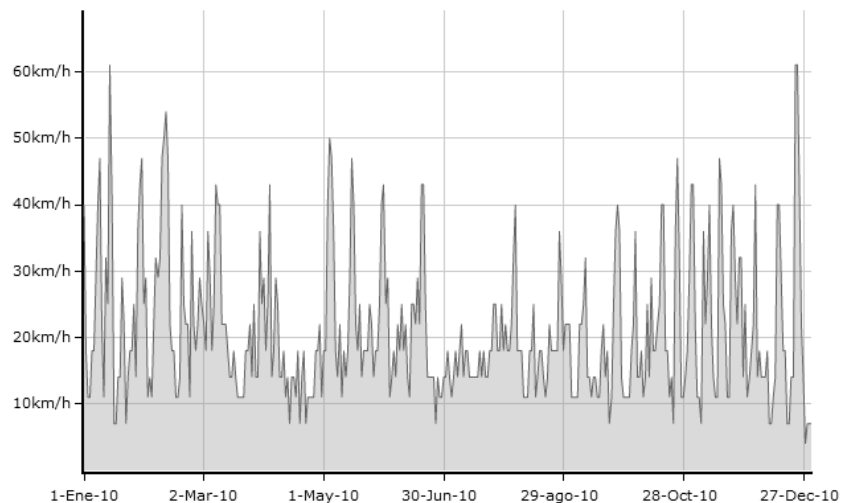
2.4 El vent a La Sénia

La Sénia es coneguda pel fort vent que hi acostuma a bufar, sobretot a l'hivern, amb mànegues que poden ser molt fortes. A partir de les dades extretes de www.meteosenia.cat analitzarem les característiques del vent en l'emplaçament del nostre projecte.

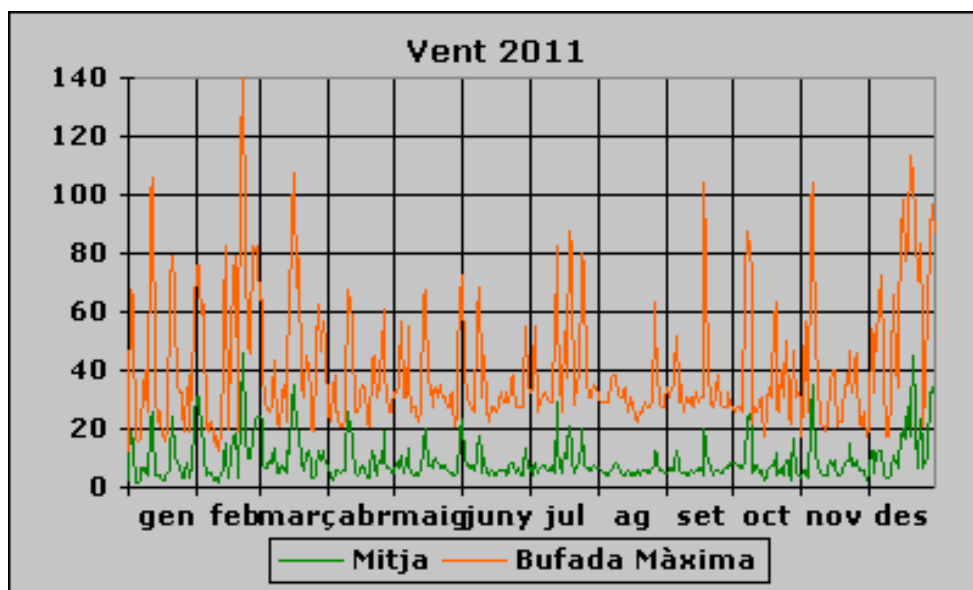
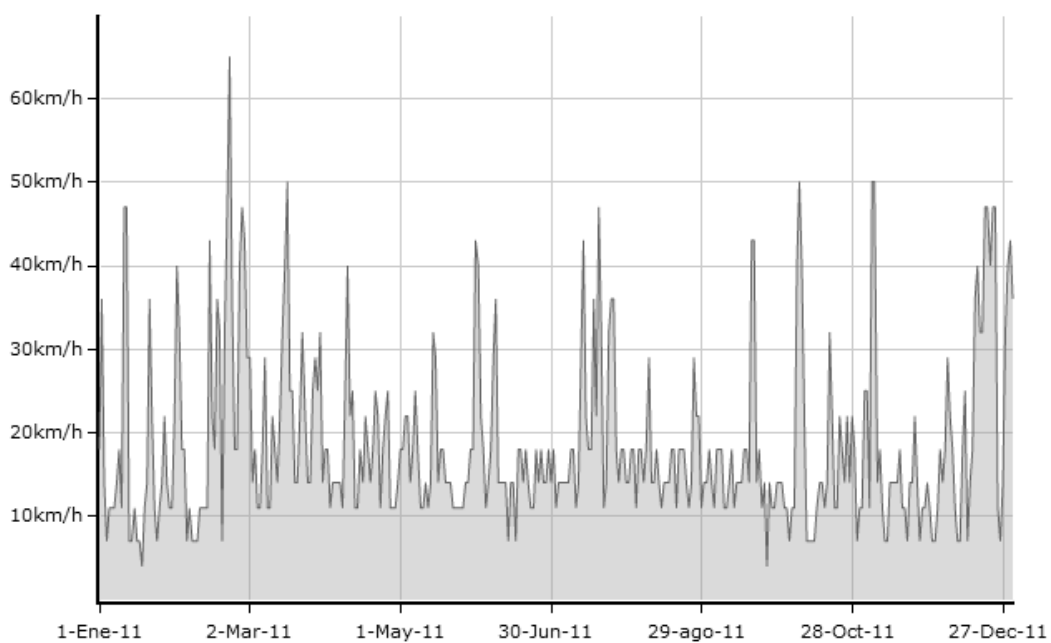
A continuació adjunto uns gràfics sobre el vent de La Sénia dels últims tres anys:

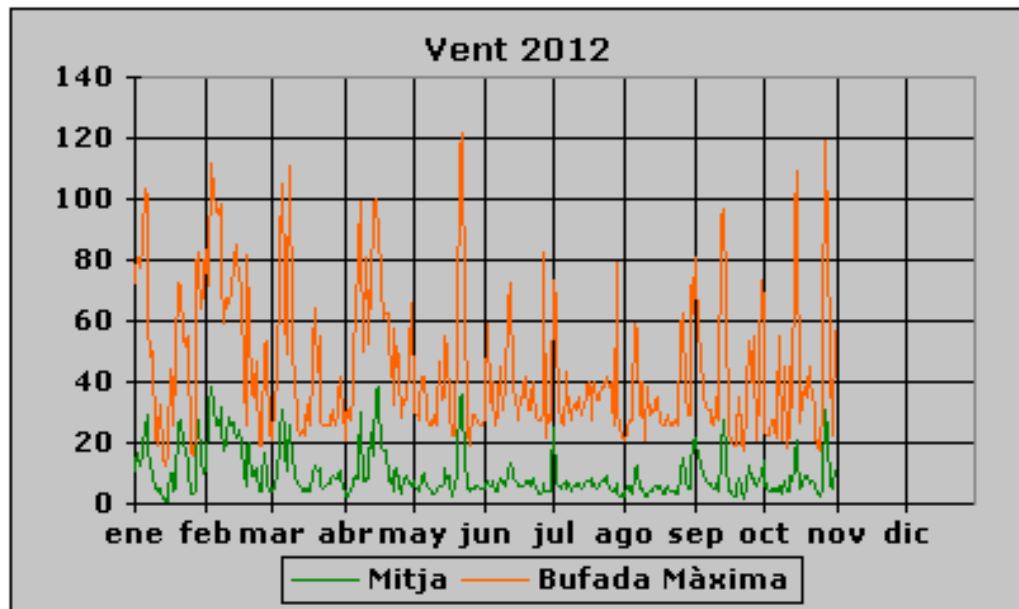
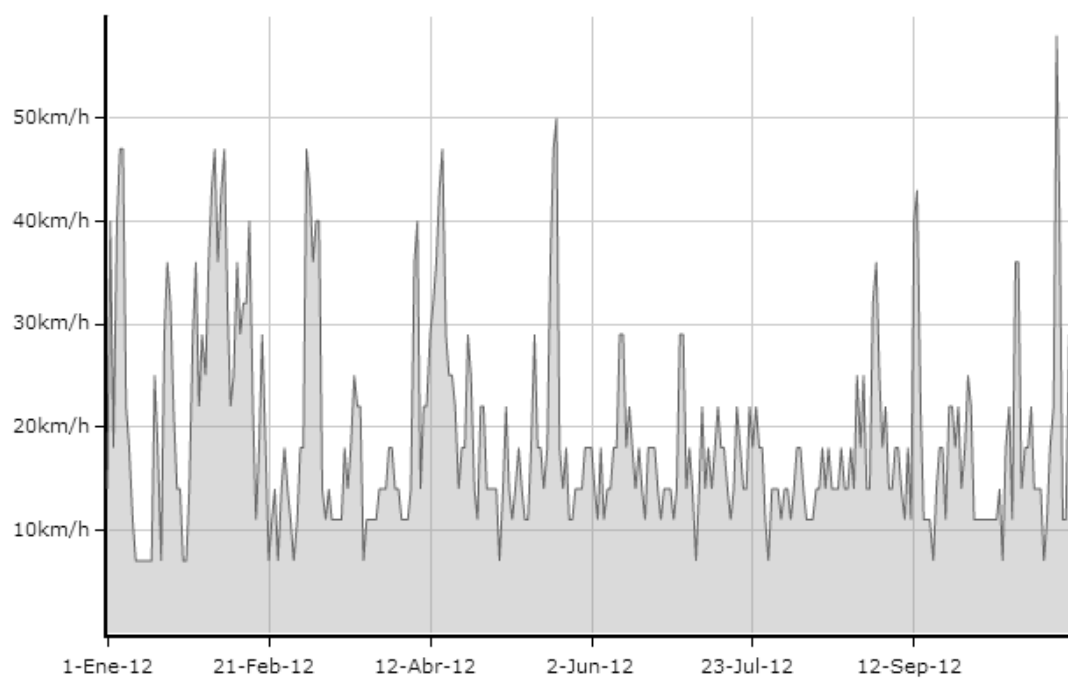


Vent 2010



Mitjana vent 2010

*Vent 2011**Mitjana vent 2011*

*Vent 2012**Mitjana del 2012*

També són interessants les següents taules de dades:

Velocitat del vent en km/h el 2010			
Mes	Mitjana	Màxima	Direcció dominant
Gener	14,0	119,1	ONO
Febrer	13,2	114,3	ONO
Març	9,5	98,2	ONO
Abril	6,2	77,2	ONO
Maig	11,8	99,8	O
Juny	7,9	91,7	ONO
Juliol	6,0	78,9	ESE
Agost	7,3	69,2	ONO
Setembre	7,7	86,9	ONO
Octubre	9,7	93,3	ONO
Novembre	13,3	128,7	O
Desembre	10,6	119,1	ONO

Velocitat del vent en km/h el 2011			
Mes	Mitjana	Màxima	Direcció dominant
Gener	8,0	104,6	ONO
Febrer	13,5	144,8	ONO
Març	11,3	107,8	NE
Abril	8,3	67,6	ONO
Maig	7,7	67,6	ONO
Juny	7,6	72,2	ESE
Juliol	9,5	86,9	ONO
Agost	6,1	62,8	ESE
Setembre	6,9	103,0	NO
Octubre	8,0	86,9	ONO
Novembre	7,9	103,0	ONO
Desembre	14,5	112,7	ONO

Velocitat del vent en km/h el 2012			
Mes	Mitjana	Màxima	Direcció dominant
Gener	12,8	103,0	ONO
Febrer	18,5	111,0	ONO
Març	9,9	111,0	ONO
Abril	11,8	99,8	ONO
Maig	8,1	120,7	ESE
Juny	6,5	82,1	ESE
Juliol	6,7	78,9	ESE
Agost	6,1	70,8	ESE
Setembre	8,9	96,6	O
Octubre	7,9	117,5	O
Novembre	10,8	117,5	NO
Desembre	17,3	101,4	NO

A partir de les dades es posa de manifest que el vent és molt irregular.. De vegades hi ha mànegues molt fortes, alternades amb períodes de calma, però rarament, per no dir mai, el vent es manté constant. Això dificultarà el funcionament de l'aerogenerador i és un dels principals inconvenients per la generació d'electricitat.

3. OBJECTIUS I HIPÒTESIS

3.1 Objectius

L'objectiu és construir un aerogenerador que pugui proporcionar l'energia necessària per fer funcionar un fanal d'il·luminació urbana, de manera que no depengui del subministrament elèctric, és a dir, sigui autosuficient. Per construir-lo haurem de tenir en compte la potència que podem aconseguir amb un aerogenerador i la millor manera d'emmagatzemar l'energia, per tant, haurem d'estudiar el tipus d'aerogenerador més adient i la dificultat de construcció. És a dir, el nostre objectiu és l'aplicació de l'energia eòlica per a la il·luminació.

3.2 Hipòtesi

Després de plantejar aquest objectiu les hipòtesis que volem comprovar són les següents:

- És viable incorporar un aerogenerador d'eix vertical a un fanal.
- L'aerogenerador produeix suficient potència per carregar la bateria i determinar la màxima potència en un dia ventós.
- Determinar la influència de la irregularitat del vent de La Sénia en el disseny i la generació elèctrica.

4. TREBALL DE CAMP

4.1 Elecció de l'aerogenerador

Valorant tot el mencionat en el marc teòric, l'aerogenerador seleccionat és el Savonius helicoïdal pels següents motius:

- Es tracta d'un aerogenerador d'eix vertical que no necessita sistema d'orientació, la seva velocitat d'arrencada és baixa i tampoc necessita molta alçada per funcionar.
- La seva construcció és més fàcil, i a diferència del Darrieus no necessita un sistema auxiliar d'arrencada.
- Es preferible la geometria helicoïdal perquè com no té una cara completament oposada al vent redueix la pèrdua d'energia causada pel fregament amb l'aire de la pala contrària a aquest. .

4.2 Construcció de l'aerogenerador

A continuació descriuré en diferents apartats la construcció de l'aerogenerador. Aquests apartats corresponen a les diferents etapes de construcció.

4.2.1 Estructura

El primer que he de fet ha sigut construir l'estructura o esquelet de la turbina.

La turbina pot tenir 7, 9 o 11 costelles, depenent de l'alçada, però s'ha de tenir en compte que sigui un nombre imparell, ja que així a l'hora de muntar l'estructura aquesta tindrà un centre de gravetat definit. Les mesures són 35 cm de llarg i 9'5 cm d'ample, ho retallo i ho passo a una cartolina. Llavors fent servir la cartolina com a plantilla els dibuixo sobre dos taulers de fusta



Una vegada les costelles estan dibuixades sobre els taulers s'han de retallar. Per fer-ho utilitzo una caladora i una serreta de marqueteria. Perquè la peça de fusta on treballem no es mogui la subjectarem amb 2 serjants de marqueteria, posant-hi entre el tauler i el serjant una petita fusta perquè no deixi marca. A continuació es llimen amb paper de vidre per polir-ho i que quedi uniforme.



Retallant les peces

Una vegada estan totes les peces retallades i polides les apilem i marquem centre. Llavors faig un forat amb un trepant a les 11 peces. El forat es fa a totes les peces alhora així ens assegurem que en totes queda al mateix lloc. Com el tub fa 20 mm de diàmetre, s'ha de canviar de broca i anar fent en forat més gran. Aquest també es poleix.



Els dos



Com la turbina estarà a l'aire lliure i aquestes peces són de fusta s'han de protegir amb vernís. Per envernissar-les les penjo entre dos cavallets tal i com es mostra en la imatge.



Envernissament



Peces envernissades

Una vegada ja tenim totes les peces amb vernís es posen a l'eix. L'eix és un tub d'alumini d'1,20 m de llargària i 20 mm de diàmetre. La distància entre cada peça serà de 9 cm i l'espai de tub que ens sobra l'utilitzarem per fixar els coixinets i poder després enganxar l'estructura.

A l'hora d'enganxar les costelles s'ha de tenir compte que volem construir un Savonius helicoïdal, per tant estaran totes col·locades amb un angle determinat. Per saber l'angle de desplaçament entre una i l'altre dividim 180° entre 11, que és el nombre de peces que tenim i obtenim un angle d'aproximadament 16° .

Per mesurar els 16° que hi ha d'haver entre les peces ho he fet de la següent manera.

Sobre el tauler el qual treballo marco una línia paral·lela a l'eix. Llavors mesuro la distància del centre a l'extrem de la peça (18,5 cm) i ho divideixo entre 5 que és el nombre d'espais que hi ha des de la peça central fins la última. Això dóna 3,7 cm. A partir de la línia central del tauler vaig marcant de 3,7 cm en 3,7 cm fins a arribar a 5 vegades, tant cap a l'esquerra com cap a la dreta. Una vegada està això fet, agafo els trossos de fusta que tenia abans i els poso el cantó sobre la línia. A l'extrem es fica la peça tocant a la fusta i com fa 90° aquesta queda justament a sobre de la línia marcada.

Una vegada està ben alineat i amb la distància correcta ho enganxo amb resina epòxica.



Estructura amb les línies i fustes



Detall on s'aprecien les línies



Estructura finalitzada



Per poder enganxar l'aerogenerador al fanal fa falta una estructura al voltant seu. En aquesta estructura estarà situada l'hèlix de l'aerogenerador i en els punts on el tub s'hi acobla hi situarem dos coixinets perquè giri millor.

4.2.2 Recobrint i muntatge

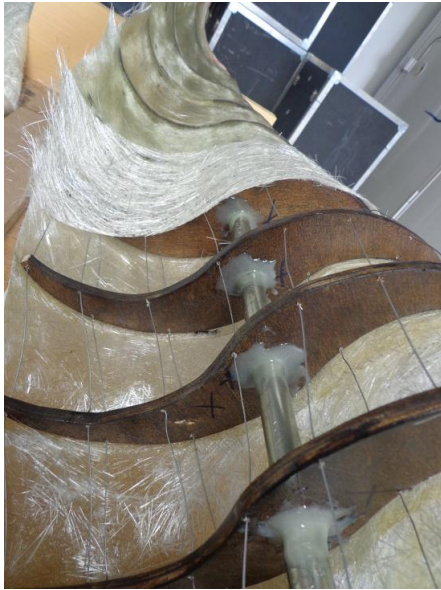
Un cop construïda l'estructura de la turbina cal recobrir les costelles amb fibra de vidre, per fer-la resistent, i donar-li un acabat per protegir-la de les inclemències meteorològiques. Utilitzaré una sèrie de productes que he adquirit a la pàgina www.resineco.com.

Per fer el recobrint amb fibra de vidre i que no quedi enfonsada he fet uns petits forats a les fustes, per on he passat uns filferros.

A continuació dispo de la tela de fibra de vidre tallada a tires a sobre de l'estructura i ho pintem amb una resina de polièster mesclada amb un catalitzador. El que s'aconsegueix amb aquets procés és una estructura lleugera i resistent.

Aquest procés es repeteix dues vegades, es deixa assecar 24h i es fa el mateix per l'altre costat.





Aplicació de la fibra de vidre i la resina amb el catalitzador



Estructura ja recoberta amb una passada de fibra de vidre



Estructura recoberta amb una passada de fibra de vidre

Un dels inconvenients de la fibra de vidre és que on no hi ha suport aquesta s'enfonsa i no queda uniforme. Caldrà igualar l'altura de la fibra de vidre a la de la fusta, la costella. Per deixar-ho tot al mateix nivell aniré afegint retalls de fibra i resina a les parts enfonsades fins obtenir una superfície igualada.

Per obtenir un acabat uniforme he decidit utilitzar massilla acrílica. Aplico diverses capes, vaig omplint els forats i imperfeccions i després ho poleixo. Al igual que en la fibra de vidre. Aquest procediment es fa per les dos cares i tantes vegades com faci falta fins que quedi uniforme.

Un cop ja ens ha quedat uniforme, agafo la mateixa resina que he utilitzat per a la tela de fibra de vidre i li poso dos capes, d'aquesta manera queda més resistent i m'asseguro que no hi hagi petits forats a la massilla.





Primera passada de massilla acrílica i imperfeccions després de polir-ho



Recobrint de les imperfeccions



Turbina polida (prova)



Cobertura amb la resina

Un cop ja està cobert amb la resina, agafo el Kit gelcoat ISO blanc i ho recobreixo. Això és una mena de pintura/resina que servirà per donar-li un bon acabat i protegir-lo de les inclemències meteorològiques. També pinto l'estructura metàl·lica perquè no és rovellí.



L'aerogenerador l'emplaçarem en un terreny familiar a la sortida de La Sénia. Estarà instal·lat en un pal d'alumini, el qual estarà fixat al terra amb formigó. Hi haurà també sis tirants de cable d'acer perquè resisteixi millor els cops de vent. A la part de sota ficaré una caixa metàl·lica per emmagatzemar les bateries, el díode i el regulador. Cal mencionar que també utilitzo una caixa de connexions i un tub per a protegir elements com ara els cables.



*Emplaçament de
l'aerogenerador*

4.2.3 Part elèctrica

Aconseguir convertir l'energia cinètica del vent extreta per l'aerogenerador en energia elèctrica presenta dificultats.

El primer lloc vaig fer proves amb una dinamo. La prova es va fer com es veu en una de les imatges anteriors. A continuació es mostra una imatge més detallada de l'acoblament amb la dinamo. Amb aquesta prova s'arriba a la conclusió que la turbina sola funciona, però quan li acoblem la dinamo no gira, ja que el parell d'arrencada és elevat.





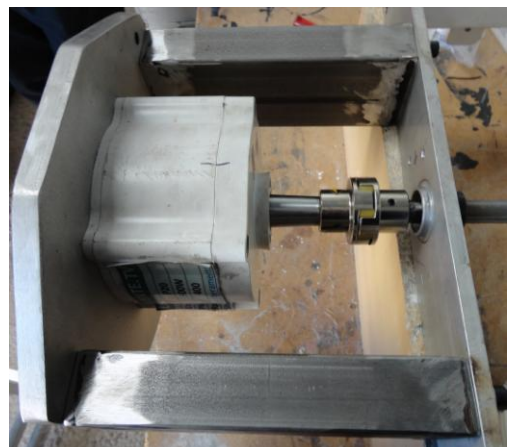
A causa d'aquest problema he estat sospesant diverses possibilitats. Una d'elles era construir jo mateixa el generador, aquesta, però, ha quedat descartada per la dificultat de trobar un imants adequats per a l'aplicació. Una altra d'elles era utilitzar el motor d'un trepant introduint-hi diverses modificacions. Finalment he decidit comprar un model comercial a la pàgina: www.Imagency.biz/contents/es/about.html.

Es tracta d'un generador d'imants permanents de 500W adequat per a les aplicacions eòliques.

Les característiques tècniques del generador elèctric són les següents:

- Tres elements fonamentals: rotor, estator, i xassís.
- Dimensions: 190x140x140 mm.
- Pes: 4,6kg.
- Poc sorollós.
- Imants permanents de neodimi, ferro i bor.
- Potència nominal de 390W i potència màxima de 488W
- Tensió de sortida 28V, aC i trifàsic.
- Corrent de sortida màxima 15A.
- Funciona amb 200-400 rpm.
- Rendiment del 95%

Cal esmentar que per unir el generador amb l'eix del Savonious he fabricat una estructura metàl·lica i per unir-ho he utilitzat un acoblament *Oldham* que transmet el moviment però permet una certa tolerància en l'alineament dels eixos.



Com és veu a les característiques tècniques, el generador proporciona corrent trifàsic, per tant farà falta un díode rectificador per passar de corrent altern a continu. Aquest l'he aconseguit a la pàgina www.cetronic.es. El rectificador és de la marca Semikron i està dissenyat per suportar fins 20A.



També caldrà utilitzar un regulador de càrrega per a les bateries. Aquest l'he comprat a la pàgina www.ilersoft.com. En teoria és per a una placa solar, però l'utilitzaré per a l'aerogenerador. Treballa amb 20 A com a màxim i pot treballar a 12V, treient una potència de 240W, o a 24V, traient una potència de 480W.



Respecte les bateries, utilitzaré una de 12V i una capacitat de 100Ah.

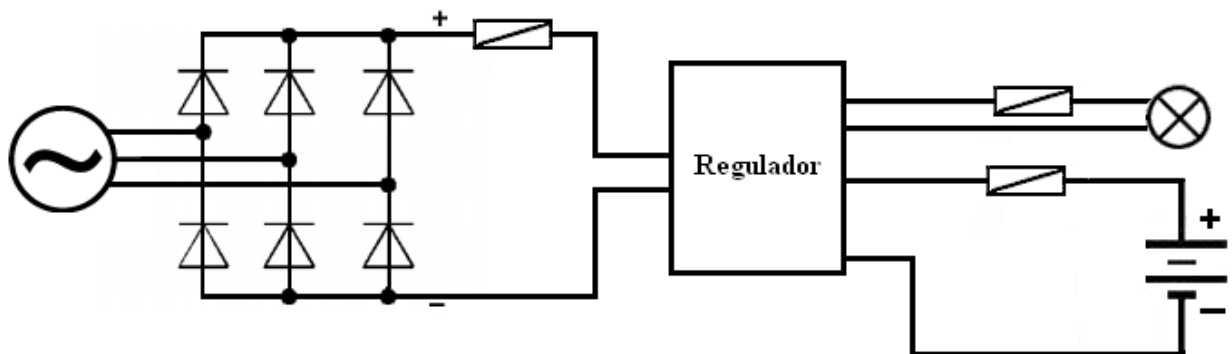


Per il·luminar utilitzaré un focus d'incandescència amb dos làmpades de LEDS que consumeixen 1,4W cadascuna. Són de 12V i de corrent contínua.

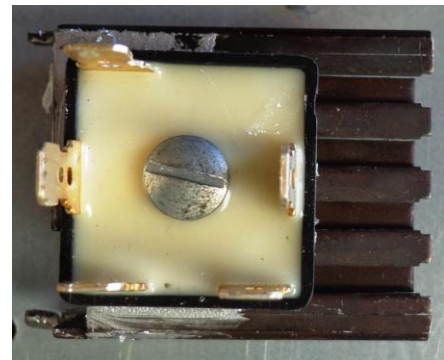


4.2.3.1 Muntatge

Inicio el muntatge elèctric a partir de l'esquema següent:



Primer col·loco set regletes de connexió i dos fusibles. A continuació connecto el rectificador. Ha estat necessari instal·lar un dissipador de calor perquè aquest no es sobreescalfi. Entre aquests dos elements hi he posat una pasta especial, que també s'utilitza en els ordenadors, que fa que la calor del regulador passi millor al dissipador.

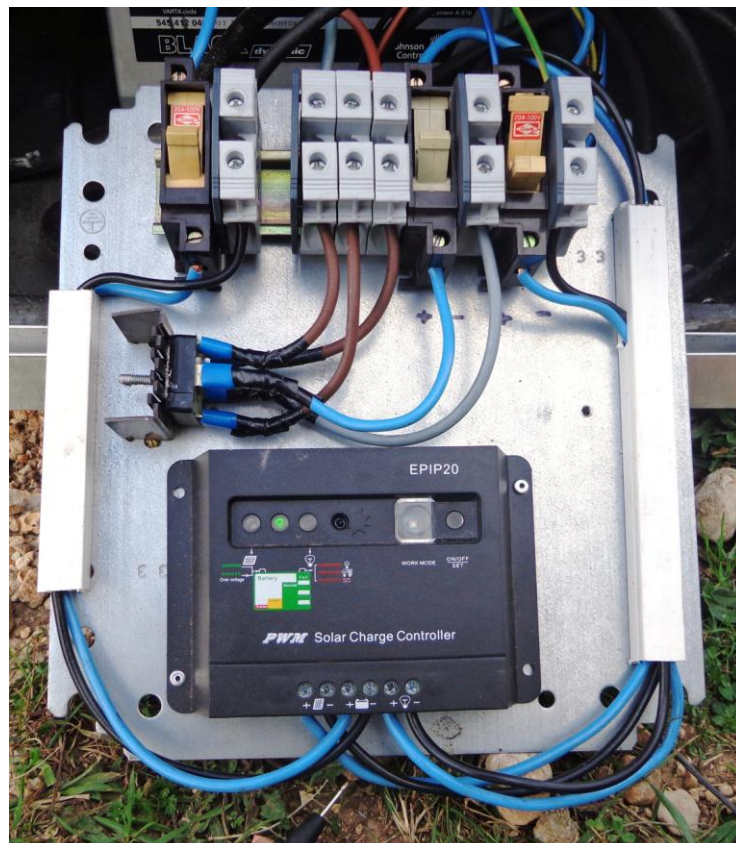


A continuació connecto el dissipador amb el rectificador. Llavors de les tres regletes que hi ha juntes surten tres cables marrons fins als tres borns de corrent alterna del rectificador. Del born positiu del rectificador surt un cable blau fins un fusible. A la regleta del costat hi va un cable gris que ve del born negatiu. Ara ja obtenim corrent contínua.

Connecto el pol positiu (cable blau) i el negatiu (cable negre) a l'entrada del regulador corresponent, al mateix hi ha un esquema que indica les connexions. De les connexions del regulador on hi ha una bombeta, surten dos cables que van a parar a un fusible (positiu) i a una regleta (negatiu) que serviran pel focus. Si es mira la imatge inferior això està a la part dreta de la fotografia.

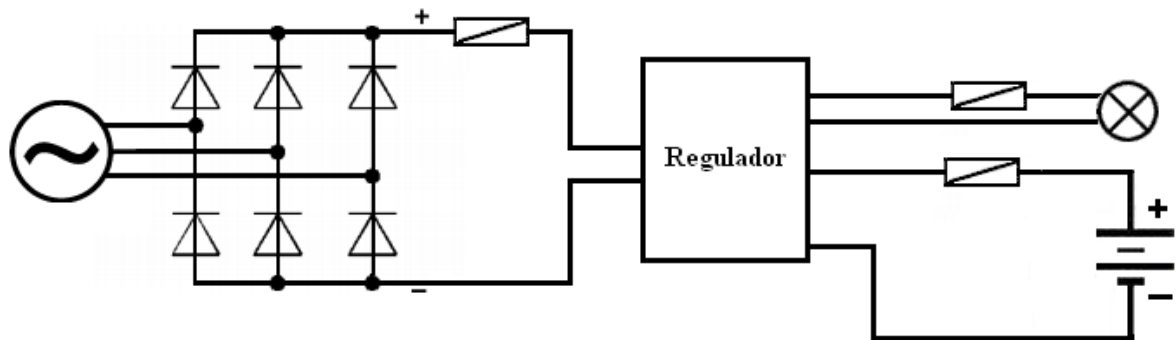
En canvi a la part esquerra hi ha dos regles, una blava i una gris. Aquí arriben els cables provinents del regulador que serviran per carregar la bateria. Recordo que el cable blau és el positiu i el negre el negatiu i cal esmentar que he ficat una regleta perquè els cables no quedessin solts.

Un cop està el circuit fet el porto al lloc on està l'aerogenerador i connecto els cables que falten, els de la bateria i els del focus. També comprovo que funcioni.



4.2.3.2 Modificacions

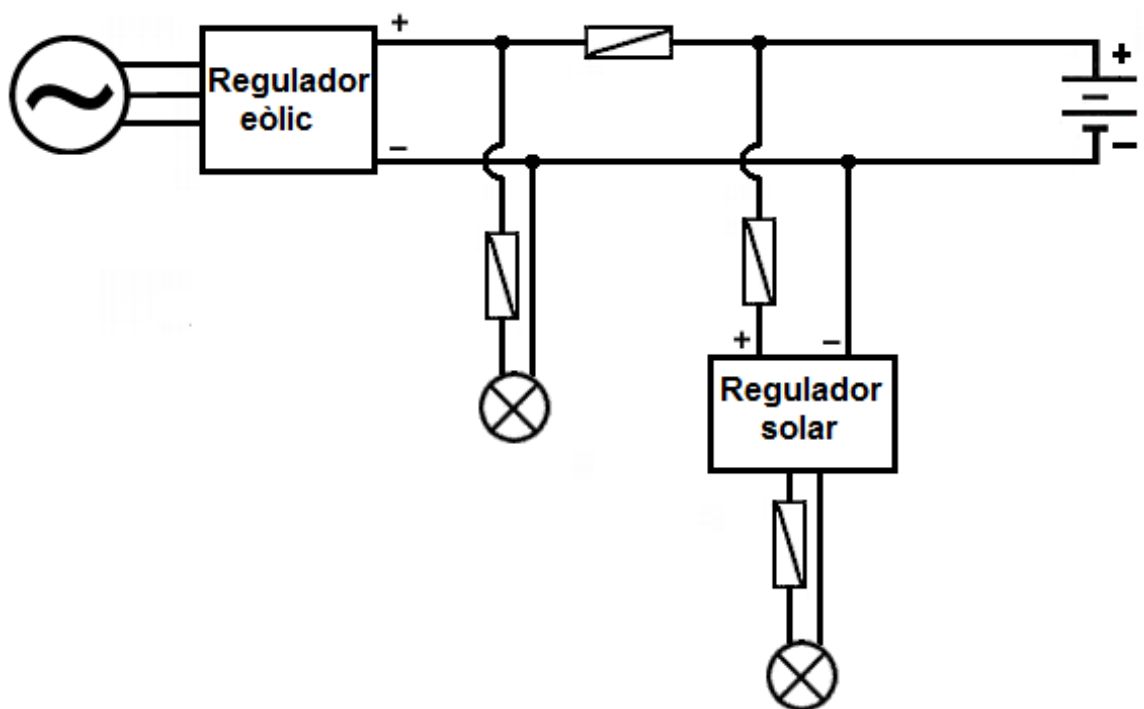
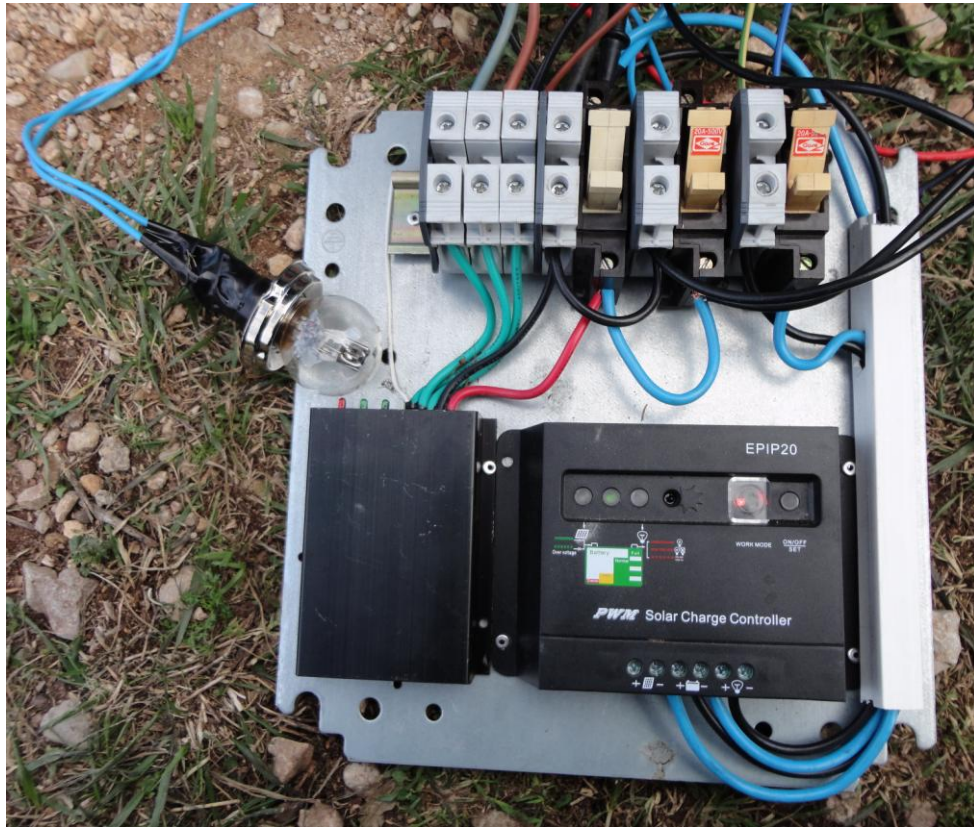
Un cop estava la turbina i la part elèctrica acabada he estat diversos dies observant el seu funcionament i prenent diverses mesures. He pogut observar que la bateria no carregava i no hi havia forma de poder mesurar la intensitat. Investigant, he descobert que el problema residia en el regulador.



El regulador que he instal·lat està dissenyat per a plaques solars i creia que també funcionaria amb l'aerogenerador, però no ha estat així. Com és per a placa solar necessita que se li subministri una intensitat mitjanament regular, i no amb una variació amb tants pics com ho fa l'alternador. N'he trobat un d'específic per a aplicacions eòliques a la pàgina www.caspe-solar.com.

Amb aquest nou regulador no fa falta el rectificador, ja que ell mateix transforma el corrent altern trifàsic en continu. El regulador que ja tenia no el desaprofito, l'utilitzo per regular el nivell de la bateria, ja que si a aquesta li baixa molt la intensitat és pot malmetre.

Cal esmentar que fent proves per poder mesurar la intensitat amb el primer regulador, vaig connectar una bombeta i vaig veure que aquesta actua com a fre del generador. Això passa perquè la bombeta necessita 7,3 A, i l'aparell no pot assolir aquesta intensitat. He decidit deixar-la a la instal·lació, així els dies que faci molt de vent baixaré el fusible que la connecta i m'asseguraré que no es faci malbé res.



4.3 Materials utilitzats

- Els materials que he necessitat són:

- 2 taulers de fusta de 52,2 x44,2 cm
- Vernís.
- Tub d'alumini de 20 mm de diàmetre i 1,20 m de llargada.
- Resina epòxica.
- Filferro.
- Teixit de fibra de vidre.
- Resina Polièster i catalitzador.
- Massilla acrílica.
- Kit gelcoat ISO blanc (resina per recobrir blanca).
- Estructura metàl·lica.
- Coixinets.
- Cargols.
- Pal d'alumini.
- Caixa d'alumini.
- Tirants d'acer.
- Formigó.
- Motor.
- Díode rectificador.
- Regulador solar.
- Bateria.
- Focus de LEDS.
- Caixa de connexions.
- Tub de plàstic.
- Cables.
- Regletes.
- Placa de ferro.
- Dissipador de calor.
- Fusibles.
- Pasta dissipadora de calor.
- Bombeta.
- Regulador eòlic.

- Les eines utilitzades són:

- Serjant de marqueteria.
- Caladora.
- Paper de vidre.
- Serreta de marqueteria.
- Trepant.
- Polidora elèctrica.
- Metre .
- Pinzells.
- Guants.
- Diferents recipients on ficar la resina.
- Rasquetes.
- Testers.
- Pic i pala.
- Bastida.
- Escala.
- Claus Allen, fixes, tornavís.
- Estenalles.

4.4 Potència mecànica disponible

Tal i com està en l'apartat 2.3 la fórmula per calcular la potència extreta per un

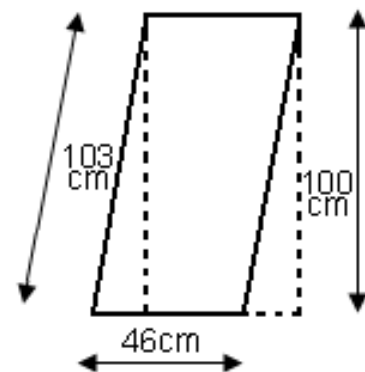
aerogenerador és: $P = \frac{1}{2} \cdot S \cdot v^3 \cdot \rho \cdot C_p$

Les gràfiques que hi ha a continuació estaran en funció de la velocitat del vent. Per tant, com sabem la densitat de l'aire ($1,225 \text{ kg/m}^3$) i el coeficient de potència (0,1) només fa falta saber la superfície d'escombrada de les pales.

Després de pensar diverses formes de calcular-ho he arribat a la conclusió que la millor manera per fer-ho es disposant uns fulls de paper que coincideixin amb la forma de la pala i després retirar-los per prendre les mesures necessàries.



La figura que queda es com la que es mostra al costat. Observem que si es fa una línia recta perpendicular a la base de baix queda un triangle, i si es posa a l'altre costat la figura es converteix en un rectangle. Llavors agafo les mesures necessàries i calculo la superfície.



$$S = 46 \times 100 = 4.600\text{cm}^2 = 0,46 \text{ m}^2$$

Sabent això la fórmula queda de la següent manera:

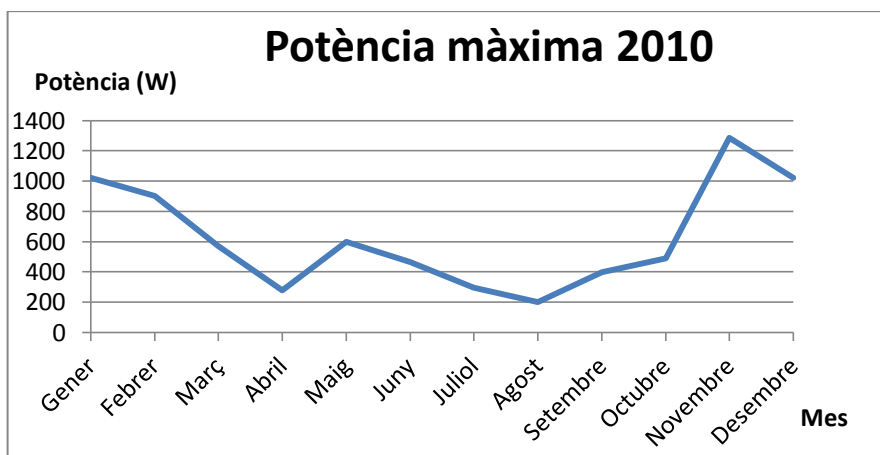
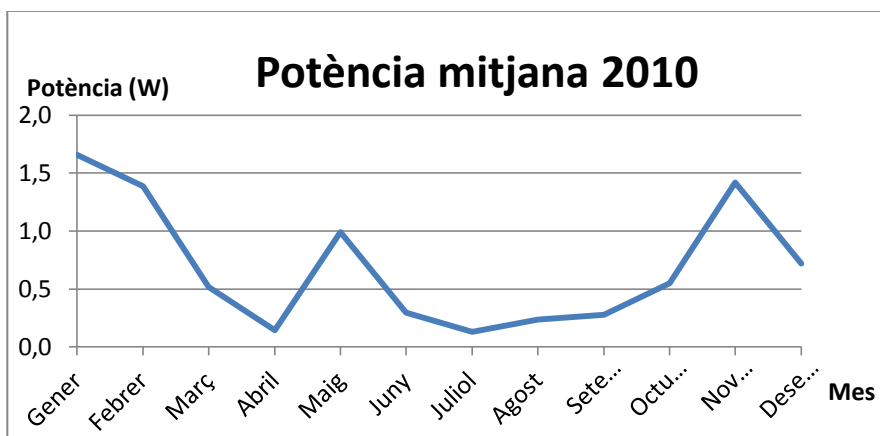
$$P = \frac{1}{2} \cdot S \cdot v^3 \cdot \rho \cdot C_p = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot v^3 \cdot 1,225 \cdot 0,1 = 0,028175 \cdot v^3$$

4.4.1 Estudi del vent: 2010, 2011, 2012

Aprofitant les dades del punt 2.3 resulta interessant calcular i representar gràficament la potència mecànica disponible a la sortida de la turbina.

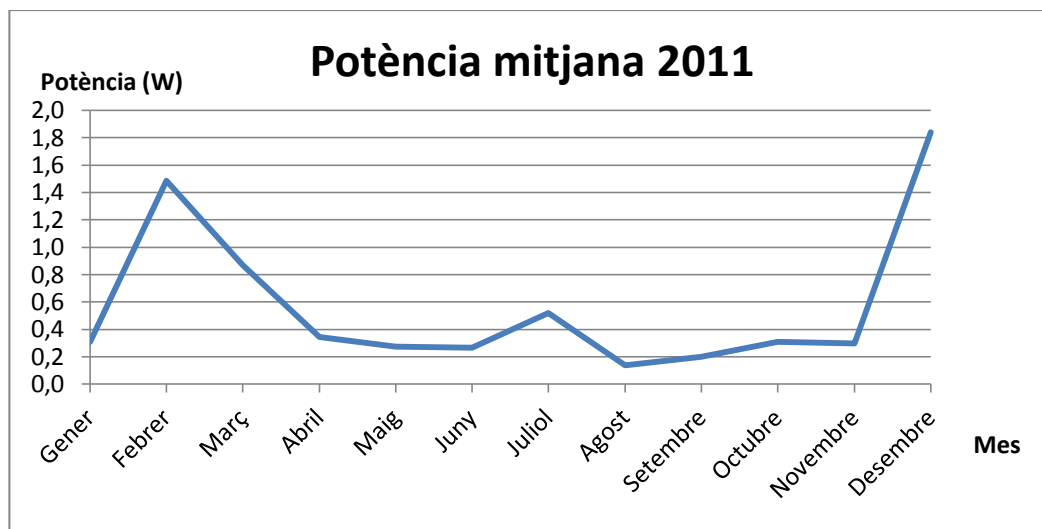
2010

Mes	Velocitat mitjana (km/h)	Velocitat mitjana (m/s)	Potència mecànica mitjana (W)	Velocitat màxima (km/h)	Velocitat màxima (m/s)	Potència mecànica màxima (W)
Gener	14,0	3,89	1,66	119,1	33,08	1020,22
Febrer	13,2	3,67	1,39	114,3	31,75	901,77
Març	9,5	2,64	0,52	98,2	27,28	571,86
Abril	6,2	1,72	0,14	77,2	21,44	277,85
Maig	11,8	3,28	0,99	99,8	27,72	600,27
Juny	7,9	2,19	0,30	91,7	25,47	465,66
Juliol	6,0	1,67	0,13	78,9	21,92	296,61
Agost	7,3	2,03	0,23	69,2	19,22	200,11
Setembre	7,7	2,14	0,28	86,9	24,14	396,29
Octubre	9,7	2,69	0,55	93,3	25,92	490,46
Novembre	13,3	3,69	1,42	128,7	35,75	1287,34
Desembre	10,6	2,94	0,72	119,1	33,08	1020,22



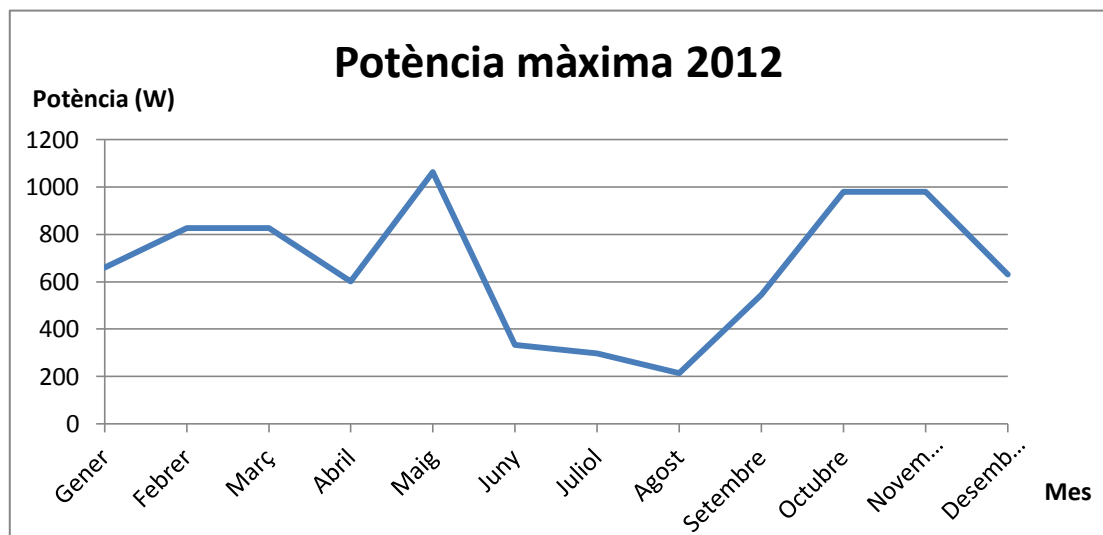
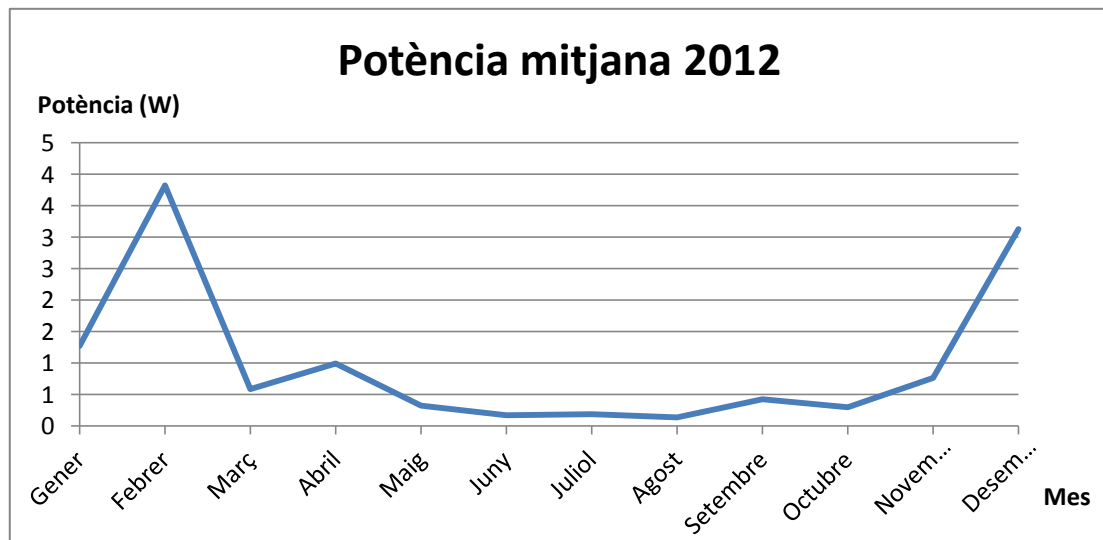
2011

Mes	Velocitat mitjana (km/h)	Velocitat mitjana (m/s)	Potència mecànica mitjana (W)	Velocitat màxima (km/h)	Velocitat màxima (m/s)	Potència mecànica màxima (W)
Gener	8,0	2,22	0,31	104,6	29,06	691,12
Febrer	13,5	3,75	1,49	144,8	40,22	1833,42
Març	11,3	3,14	0,87	107,8	29,94	756,51
Abril	8,3	2,31	0,35	67,6	18,78	186,55
Maig	7,7	2,14	0,28	67,6	18,78	186,55
Juny	7,6	2,11	0,27	72,2	20,06	227,28
Juliol	9,5	2,64	0,52	86,9	24,14	396,29
Agost	6,1	1,69	0,14	62,8	17,44	149,57
Setembre	6,9	1,92	0,20	103,0	28,61	659,88
Octubre	8,0	2,22	0,31	86,9	24,14	396,29
Novembre	7,9	2,19	0,30	103,0	28,61	659,88
Desembre	14,5	4,03	1,84	112,7	31,31	864,43



2012

Mes	Velocitat mitjana (km/h)	Velocitat mitjana (m/s)	Potència mecànica mitjana (W)	Velocitat màxima (km/h)	Velocitat màxima (m/s)	Potència mecànica màxima (W)
Gener	12,8	3,56	1,27	103,0	28,61	659,88
Febrer	18,5	5,14	3,82	111,0	30,83	825,90
Març	9,9	2,75	0,59	111,0	30,83	825,90
Abril	11,8	3,28	0,99	99,8	27,72	600,27
Maig	8,1	2,25	0,32	120,7	33,53	1061,89
Juny	6,5	1,81	0,17	82,1	22,81	334,18
Juliol	6,7	1,86	0,18	78,9	21,92	296,61
Agost	6,1	1,69	0,14	70,8	19,67	214,32
Setembre	8,9	2,47	0,43	96,6	26,83	544,36
Octubre	7,9	2,19	0,30	117,5	32,64	979,65
Novembre	10,8	3,00	0,76	117,5	32,64	979,65
Desembre	17,3	4,81	3,13	101,4	28,17	629,61



A causa de la gran irregularitat del vent a la Sénia, reflectits als valors de les taules anteriors, els càlculs de la potència mecànica mitjana i màxima poden ser poc representatius per la seva gran dispersió. Un valor més acurat seria potència calculada a partir de les dades de velocitat mantinguda 10 minuts. Això minimitzaria l'efecte de les ràfegues de gran velocitat i curta durada tant comuns a la Sénia. Els valors mitjans per l'any 2012 es recullen a la taula següent:

Mes	P mec mitjana (W)	P mec màxima (W)	P mec màx 10m (W)
Gener	1,27	659,81	75,03
Febrer	3,83	825,63	90,41
Març	0,59	825,63	138,42
Abril	0,99	600,13	98,84
Maig	0,32	1062,10	127,21
Juny	0,17	334,38	90,41
Juliol	0,18	296,75	39,23
Agost	0,14	214,43	34,73
Setembre	0,42	544,16	68,05
Octubre	0,30	979,75	107,77
Novembre	0,76	979,75	107,77
Desembre	3,14	629,83	55,40
MITJANA	1,01	662,69	86,11

Observant les gràfiques elaborades a partir de les dades mitjanes mensuals es constata que la potència mecànica disponible a la sortida de la turbina és sempre elevada en relació al generador. El generador té unes característiques tècniques determinades i pot extreure un màxim de 488W, per tant, no podem extreure una potència elèctrica superior a aquest valor encara que la potència que proporciona la turbina sigui superior.

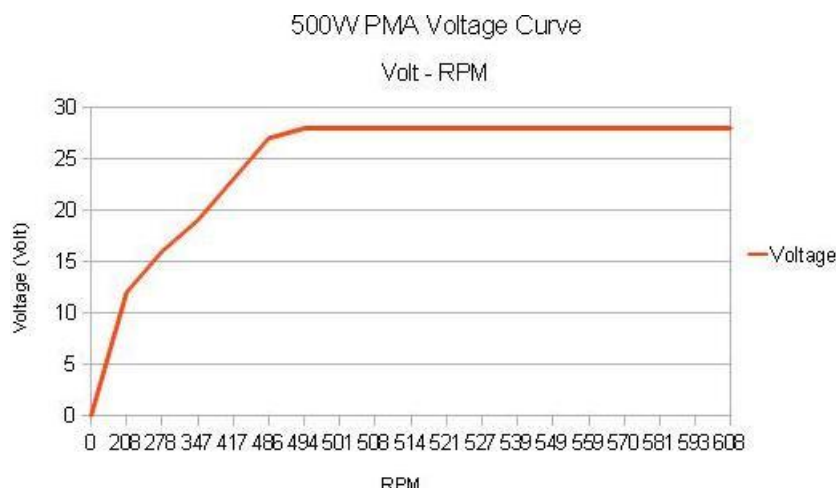
Aquest fet significa que l'hèlix és massa gran per a l'alternador o aquest massa petit per la turbina. Això suposa un inconvenient i un avantatge. L'inconvenient és que no s'aprofita tota l'energia que proporciona la turbina. En canvi, l'avantatge és que la turbina es capaç d'assolir el màxim de potència del generador amb velocitat del vent baixes.

Això farà que el factor de càrrega del generador sigui sempre elevat però tinguem una producció elèctrica més estable. Encara que sembli una paradoxa, es desaprofita una part de la capacitat de la turbina però a llarg termini tenir una major generació elèctrica pot resultar avantatjós.

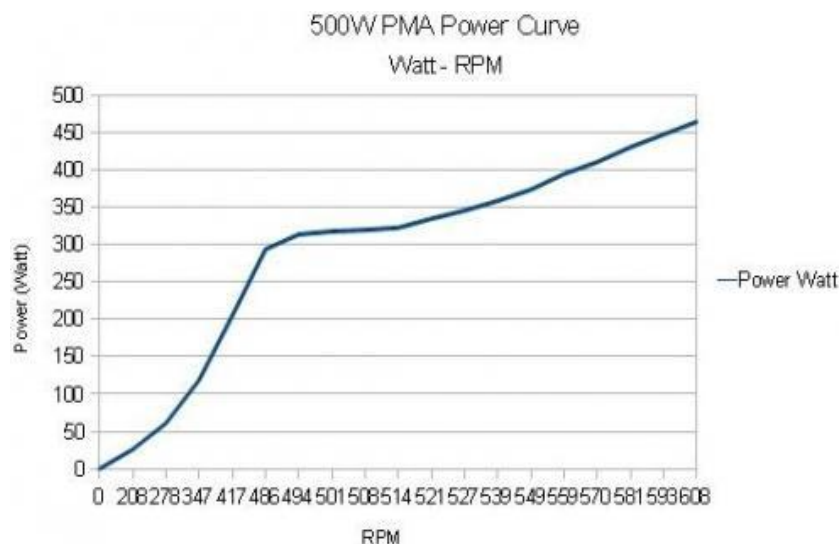
4.4.2 Gràfiques teòriques del generador

Al full de característiques de l'alternador apareixen les següents gràfiques d'alguns paràmetres de sortida.

En la gràfica del voltatge es pot observar com aquest va augmentant per trams fins que quan arriba a uns 494 min^{-1} aquest es manté constant sobre uns 27V aproximadament.



En canvi, en la gràfica de la potència augmenta formant una corba còncaua fins les 486 min^{-1} aproximadament i a partir d'aquí continua amb, més o menys, una recta. El pendent d'aquesta s'accentua a les 514 min^{-1} .

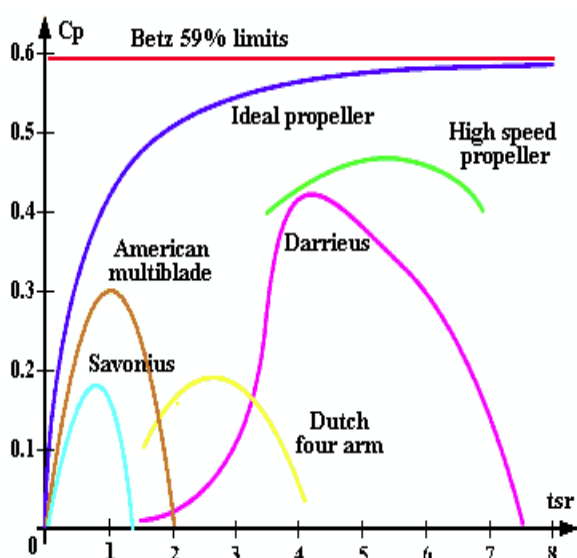


4.4.3 Mesures reals i càlculs

Un cop instal·lat l'aerogenerador al seu emplaçament definitiu, que va coincidir amb uns dies amb vent a La Sénia, vaig aprofitar per prendre mesures que es recullen a la taula següent. Vaig utilitzar un tacòmetre digital per mesurar la freqüència de gir i uns polímetres per mesurar les magnituds elèctriques.

TURBINA		Sortida Generador				
Vel. Vent mitjà (m/s)	Pot. Mitjana turbina (W)	Is	Vs	Ps	Rendim global.	TSR = ωR_{rotor} / Vvent
15,64	107,77	4,42	19,40	85,68	0,80	0,30
15,64	107,79	4,42	19,40	85,68	0,79	0,30
14,31	82,56	4,68	14,55	68,04	0,82	0,34
13,86	75,02	3,31	16,45	54,44	0,73	0,39
15,19	98,75	4,24	18,19	77,18	0,78	0,37
18,78	186,62	6,18	20,18	124,77	0,67	0,32
19,4	205,72	7,26	22,97	166,68	0,81	0,32
	126	4,93	18,73	94,64	0,77	0,33
	Cp=0,1				rendiment	

Les dos primeres col·lumnas de la taula corresponen a dades de la turbina. Recullen mitjanes de la velocitat del vent i els càlculs de la potència mecànica que s'extrauria amb la turbina utilitzant un coeficient de potència $C_p=0,1$. La

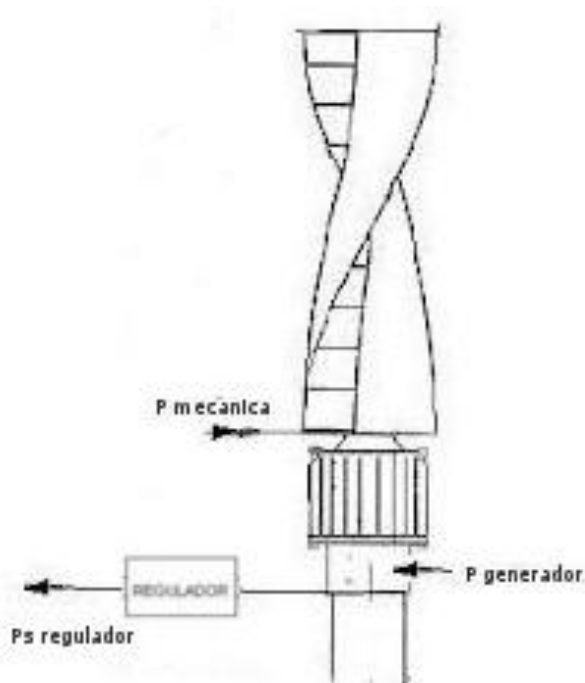


determinació d'aquest valor queda justificat amb el TSR, en aquest ens surt un valor mitjà de 0,33 i en la gràfica de la dreta és pot observar que per aquest valor amb un Savonius li correspon un C_p del 0,1.

Els següents valors corresponen als valors mesurats a la sortida del generador, intensitat i el voltatge abans dels regulador, quan encara no és corrent continu, sinó trifàsic.

A partir d'aquests valors calculem la potència elèctrica generada i podem dir que el rendiment mitjà del sistema turbina generador és 77%.

Com que la potència augmenta amb el cub de la velocitat, en un indret com la Sénia on la irregularitat del vent és molt acusada un valor més acurat seria potència calculada a partir de la velocitat sostinguda 10 minuts per minimitzar l'efecte de les ràfegues de gran velocitat i curta durada.



rend turbina-generador = 77%

rend regulador= 90%

rend global=70%

Si consideren que el regulador de càrrega de les bateries té un rendiment del 90% podem calcular el rendiment global dels tres elements del sistema turbina-generador-regulador, aquest ens surt d'un 70%. Els valors mitjans per l'any 2012 es recullen a la taula següent:

Mes	P mec mitjana (W)	P mec màxima (W)	P mec màx 10m (W)	P gen. + regul. $\eta=70\%$ (W)
Gener	1,27	659,81	75,03	52,52
Febrer	3,83	825,63	90,41	63,29
Març	0,59	825,63	138,42	96,90
Abril	0,99	600,13	98,84	69,19
Maig	0,32	1062,10	127,21	89,04
Juny	0,17	334,38	90,41	63,29
Juliol	0,18	296,75	39,23	27,46
Agost	0,14	214,43	34,73	24,31
Setembre	0,42	544,16	68,05	47,63
Octubre	0,30	979,75	107,77	75,44
Novembre	0,76	979,75	107,77	75,44
Desembre	3,14	629,83	55,40	38,78
MITJANA	1,01	662,69	86,11	60,27

A partir de les dades obtingudes a la taula anterior és difícil fer una estimació de l' energia elèctrica que obtindríem. Podem observar la gran amplitud del resultats a causa de la irregularitat del vent. La Sénia és un lloc on es combinen períodes de calma amb períodes amb un vent molt fort, això fa que les dades mitjanes no reflecteixin exactament la realitat.

5. CONCLUSIONS

La meua proposta es basa en l'aprofitament de les energies renovables, en concret de l'energia eòlica, per una aplicació concreta com és la il·luminació urbana.

He escollit un aerogenerador d'eix vertical, un Savonius helicoïdal, perquè constructivament és més senzill, no requereix un sistema d'orientació i el seu rendiment és més millor que un Savonius clàssic. Al portar-ho a la pràctica he trobat dificultats per la forma helicoïdal, ja que és complicat aconseguir la inclinació correcta de la pala i en l'aplicació de la fibra de vidre, ja que quedava molt irregular.

Respecte als materials i la part elèctrica, han suposat una inversió força elevada, ja que tot són peces i materials reals i específics per aquests tipus de projectes. Tot i això ha valgut la pena perquè l'aerogenerador està en funcionament.

El fet de construir primer la turbina i després adquirir el generador elèctric ha provocat que el dimensionat de l'àrea de la pala en relació a la potència estàndard dels generador es podria optimitzar.

Els valors de la potència disponible a la turbina, calculats a partir de les mesures de la pala i la velocitat del vent, no poden ser aprofitats completament pel generador. L'inconvenient d'això és que no aprofitem tota la potència que seriem capaços d'extreure del vent, però per l'altra banda, ens assegurem més freqüentment una producció elèctrica elevada.

Respecte al règim de vent a La Sénia, les dades ens mostren clarament que és fortament irregular: hi poden haver mànegues molt fortes seguides de períodes més calmats. Tot això suposa un altre inconvenient, ja que no obtenim una producció regular. Això ens obligarà a disposar d'un sistema de bateries important si volem garantir una certa autonomia.

Aquesta irregularitat en el vent és un gran desavantatge. Si no fa vent d'una manera més o menys continuada, la bateria no pot garantir el subministrament elèctric, i caldrà una gran inversió en bateries.

6. ANNEX

Amb aquest treball adjunto un DVD, on es veu el procés de construcció de l'aerogenerador, el funcionament d'aquest i les mesures realitzades.

7. BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA

Llibres:

JOSEPH, J.; HOYOS, R.; GARRAVE, J.; GAROFANO, F.; VILA, F. (2008). *Tecnologia industrial 1 – Batxillerat*. Aravaca: McGraw-Hill Mediterrània. ISBN: 978-84-481-6770-7.

Pàgines web:

Wikimedia Foundation, Inc. Wikipedia. (Consultat 2012, 20 d'abril). Energia Renovable. Disponible a Internet: http://ca.wikipedia.org/wiki/Energia_renovable

Wikimedia Foundation, Inc. Wikipedia. (Consultat: 2012, 16 de juny). Turbina Eòlica. Disponible a internet: http://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_e%C3%B3lica

Wikimedia Foundation, Inc. Wikipedia. (Consultat: 2012, 22 de juny). Aerogenerador. Disponible a Internet: <http://ca.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador>

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de la URV. Pichardo Calbet, Vicente. (Consultat 2012, 27 de juny). Document en línia. Disponible a Internet: <http://cde05.etse.urv.es/pub/pdf/1269pub.pdf>

Institut Celestí Bellera, comunitat d'innovació i aprenentatge. (Consultat 2012, 29 d'agost). El Vent. Disponible a Internet : <http://www.bellera.cat/molins/vent.htm>

Eolica.webcindario.com. (Consultat 2012, 30 d'agost). Energia Eòlica. Disponible a Internet: <http://eeolica.webcindario.com/introduccio.html>

Blogspot.com. SG, PA, GLL, Bloggers. (Consultat 2012, 30 d'agost). Més enllà del petroli. Disponible a Internet : <http://mesenlladelpetroli.blogspot.com.es/search/label/E%C3%B3lica>

Eoliccat.net. (Consultat 2012, 30 d'agost). Coeficient de potència. Disponible a Internet: <http://www.eoliccat.net/energia-eolica/espai-per-nens-i-joves/material->

educatiu/acces-a-material-educatiu-batxillerat/material-educatiu-batxillerat/coeficient-de-potencia.html

Google Drive. (Consultat 2012, 30 d'agost). Treball de Recerca. Disponible a Internet: <https://docs.google.com/document/pub?id=1ghzRj6rBT-gppJb7yon4O9vII0amSJ3X1vcNQMWmfU>

Resineco Green Composites. (Consultat 2012, 2 de setembre). Fibra de vidre. Disponible a Internet: <http://www.resineco.com/>

Blogspot.com. Benavides, Claro, De Amesti, Irarrazaval, bloggers. (Consultat 2012, 14 d'octubre). Potencia Eólica. Disponible a Internet: <http://potenciaeolica.blogspot.com.es/>

Link Media Agency by MAKEMU'Srl. (Consultat 2012, 8 de novembre). Energia Eólica-Aerogeneradores. Disponible a Internet: <http://www.lmagency.biz/contents/es/d14.html>

Ilersoft.com. (Consultat 2012, 4 de desembre). Artículos de electrónica, informática y relojería. Disponible a Internet: www.ilersoft.com

Cetronic.es. (Consultat 2012, 27 de desembre). Componentes Electrónicos. Disponible a Internet: <http://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/Catalogo.jsp?idIdioma=&idTienda=93&cPath=>

Caspe, viento y solar. (Consultat 2013, 14 de gener). Regulador Viento. Disponible a Internet: <http://www.caspe-solar.com/>

8. AGRAÏMENTS

M'agradaria donar les gràcies a tots aquells que han fet possible aquest treball.

Entre aquests hi ha Àngel Bellés i Joaquín Marcoval, ja que han fet possible l'estructura metàl·lica i les dades sobre el vent.

També han sigut molt importants el meu pare i la meva mare, que han estat presents durant tot el procés donant-me suport.

Per finalitzar agrair a Cosme Cruzado el fet d'acceptar aquest treball i tutoritzar-lo.