

ENERGIA EÒLICA

EL RECORREGUT DE L'ENERGIA



Govern de les Illes Balears

Conselleria de Comerç, Indústria i Energia
Direcció General d'Energia



contingut

L'energia eòlica

La font d'energia: el vent

Els fonaments tecnològics

L'aprofitament de l'energia eòlica

L'aprofitament del mon i a les Illes
Balears

Consideracions ambientals. Avantatges
i inconvenients de la tecnologia

Perspectives de futur a llarg termini

EDICIÓ PER A LES ILLES BALEARS

DIRECCIÓ: Josep Maria Rigo Serra

EQUIP DE TREBALL: Pere Nadal Fiol
Tomeu Comas Hernández
Joana Aina Reus Perelló

© Govern de les Illes Balears
Conselleria de Comerç, Indústria i Energia
Direcció General d'Energia

© DE L'EDICIÓ: Domènech e-learning multimedia, S.A. 

PRIMERA EDICIÓ: 2010

MAQUETACIÓ: Domènech e-learning multimedia, S.A.

L'ENERGIA EÒLICA

La força del vent ha estat una de les fonts d'energia més emprada durant la història de la humanitat. Totes les cultures l'han aprofitat des d'antuvi per a desplaçar-se pel mar, moldre blat, bombar aigua o, senzillament, assecar la roba.

A les Illes Balears els Molins són emprats des de molt antic, formant part del paisatge de les Illes. Els molins de vent per extreure aigua del subsòl són un element arquitectònic habitual i tradicional en particular a Mallorca, on n'hi ha més de 2.000.

Un dels avenços més importants amb relació a l'aprofitament de l'energia eòlica va ser la construcció de molins capaços de convertir la força del vent en electricitat. No és, però, fins el segle XX que comença l'aprofitament comercial de l'energia eòlica per a la producció d'electricitat.

Parc Eòlic Es Milà, Menorca



Molí de la Mola, Formentera



Molí de postetes, Palma

LA FONT D'ENERGIA: EL VENT

El vent és aire en moviment. L'escalfament de la Terra per la radiació del Sol provoca diferències de temperatura i pressió entre les masses d'aire atmosfèriques de diferents punts del planeta. És quan aquestes masses d'aire es reorganitzen i es mouen buscant estar totes a la mateixa temperatura i pressió que apareix el vent.

A escala global, són la rotació de la Terra i la diferència de temperatures que hi ha entre les zones equatorial i polars les causes que originen els corrents d'aire; mentre que a escala local, són les particularitats en la **orografia*** del terreny les que determinen la presència i les característiques del vent.

LA MESURA DEL VENT

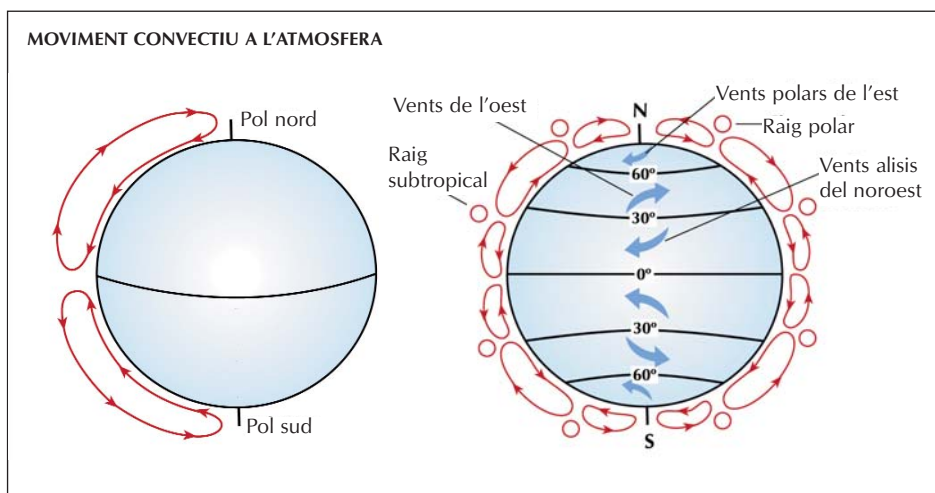
Les lleis de la física diuen que qualsevol objecte en moviment porta energia. El vent -l'aire en moviment- també. Per saber quina capacitat energètica té un vent cal mesurar primer de tot la seva direcció i la seva velocitat.

La direcció es pot determinar fàcilment mitjançant un **penell**, el qual assenyalava des de quin punt cardinal bufa. Si el penell apunta al sud això vol dir que el vent ve del sud i va cap al nord, per exemple.

Per mesurar la velocitat del vent cal, en canvi, un aparell: l'anemòmetre, un estri format habitualment per un conjunt de cassoles muntades en un eix que giren a major o menor velocitat segons la força del vent. Per a determinar la velocitat del vent en l'altura, hom utilitza els balons pilots (sondatge atmosfèric).

Una vegada s'han aplegat totes les dades sobre la direcció i la velocitat dels

vents durant un temps prou perllongat, hom pot representar-les en un gràfic que reflecteixi quin és el comportament habitual dels vents de l'indret en qüestió. Mitjançant línies més o menys llargues que surten d'un punt central s'indica la direcció des de la qual bufen els vents i amb quina intensitat ho fan.



La rosa dels vents

Hi ha molts tipus de vents. Des de la brisa marina que mou lleugerament les fulles dels arbres fins a d'huracà que s'enduu tot el que troba al seu pas. Hi ha vents que bufen arran de terra o de mar durant pocs quilòmetres (són els vents locals) fins a vents que bufen a gran alçada i recorren centenars de quilòmetres al voltant del planeta (són els vents constants, com ara els alisis que bufen a les zones tropicals). Els vents constants tenen molta influència sobre el clima de la Terra, donat que són capaços de transportar fred o calor entre regions molts allunyades.

En el cas dels vents que percebem més directament perquè bufen a poca alçada, el relleu té una gran influència sobre les seves característiques i el seu comportament. Les valls, les muntanyes i les planes, o la proximitat de la costa, poden modificar la seva direcció, la seva velocitat, el seu grau d'humitat i la seva temperatura.



Els humans hem observat i hem intentat explicar des d'antuvi l'entorn que ens envolta, bé sigui per gaudir dels seus beneficis, bé sigui per protegir-nos dels seus perjudicis. En el cas dels vents, els antics ja es van adonar que no sempre bufaven de la mateixa manera ni sempre produïen els mateixos efectes. Per això, els hi van posar nom.

Imaginem-nos un cercle en el que hi ha representats els quatre punts cardinals: el nord, el sud, l'est i l'oest. Afegim-hi després els quatre punts que hi ha entre aquests quatre punts principals: el nord-est, el sud-est, el sud-oest i el nord-oest. Els humans de cada racó del món han posat nom als vents segons el punt des d'on bufen.

Així, per exemple, el vent que ve del nord s'anomena a casa nostra tramuntana, el que ve de l'est s'anomena llevant, el que ve de l'oest ponent, i el que ve del sud migjorn. La representació de tots els vents dins d'aquest cercle es coneix amb el nom de rosa dels vents.

UNA FONT D'ENERGIA MIL·LENÀRIA

Les possibilitats d'aprofitament del vent com a recurs energètic estan condicionades a la variabilitat pròpia d'aquest fenomen atmosfèric i als requeriments tècnics mínims necessaris pel funcionament de les instal·lacions. Les condicions de vent canvien de manera permanent tant en intensitat com en direcció; per això és necessari conèixer en detall aquestes variacions.

L'energia ha estat sempre un bé escàs, raó per la qual la humanitat ha hagut d'aprofitar tota la que la natura li ha ofert de franc, com ara la del vent. Quan els humans van començar a navegar el vent va esdevenir la primera font d'energia dels vaixells. Així, durant segles, cultures com l'egípcia, la fenícia, la grega, la romana o la xinesa, es feien a la mar en naus militars o comercials equipades amb grans trossos de tela que s'inflaven i empenyien els vaixells quan rebien l'impuls del vent. Malauradament, quan el vent deixava de bufar, calia fer servir els remos.

Encara que les grans embarcacions actuals que transporten persones i mercaderies ja no en depenen per navegar perquè disposen de potents motors, el vent continua sent l'energia que mou alguns tipus d'embarcacions, sobretot les esportives i algunes de les que s'utilitzen per fer turisme. La vela, per exemple, és un esport en el que vaixells impulsats per la força del vent competeixen entre ells.

La capacitat energètica dels vents ha estat també aprofitada des d'antuvi per a altres usos. Nombroses civilitzacions han desenvolupat al llarg de la història enginyers mecànics diversos que han tingut com a energia impulsora la força del vent. Un d'aquests enginyers ha estat el molí, un eix que dóna voltes per l'acció de l'aire en moviment sobre unes pales giratòries. En girar, les pales transmeten la seva energia a

l'eix i aquest a màquines que molen cereals o transporten aigua dels cursos d'aigua més propers fins als camps de conreu. A Xina (1219 aC) i a Pèrsia (900 aC) ja utilitzaven molins fa molts anys.

Des de l'any 1229 a les Illes, els molins de vent es destinaven, bàsicament, a moldre la farina (molins fariners). Fou cap a mitjans del segle XIX quan s'adaptaren per a treure aigua (molins aiguaders). Amb l'adaptació dels molins fariners a molins aiguaders es féu una gran passa cap a un major aprofitament del vent

A Mallorca el 1845 l'enginyer holandès Bouvijn construí el primer molí modern, molí aiguader, per a la dessecació dels aiguamolls del Prat de Sant Jordi. El 1854 Damià Reixach creà el molí de ramell, per a l'extracció d'aigua, substituint les veles per fustes, el 1862 s'hi afegí la cua per a orientar-lo i el 1880 augmentaren les dimensions de tot el molí. Aquest nou molí tingué una gran difusió a la primera meitat del segle XX i aprofità els avenços de la revolució industrial: l'estructura era en part metàl·lica i en part de fusta. El 1934 s'adaptà el molí americà al de ramell, amb la substitució de la fusta pel metall a les pales.

Aquests primers molins van donar pas a unes construccions més modernes en forma de torre que es van estendre durant l'edat mitjana arreu del continent europeu. Els molins que hi ha a Holanda, a França o a Andalusia i Castella a Espanya en són alguns exemples. Aquestes estructures, avui convertides en atracció turística, no només aprofitaven el vent per moldre cereals o regar, sinó que també ho podien fer per bombar aigua de sota terra, per premsar llavors i produir oli, per serrar fusta o per fabricar paper. Avui dia encara podem trobar a molts llocs del món molins que tenen com a funció extreure aigua del sòl allà on l'aigua és escassa i no es disposa d'un altre recurs energètic més contant.

Tanmateix, un dels avenços més destacables amb relació a l'aprofitament de l'energia eòlica va ser la construcció de molins capaços de convertir la força del vent en electricitat. A finals del segle XIX i principis de segle XX, Dinamarca i els Estats Units van ser els primers països que van utilitzar aquest tipus de molins per proveir d'electricitat petits pobles rurals sense accés a la xarxa elèctrica. El desenvolupament modern dels molins de vent amb finalitats energètiques va començar seriosament durant els anys setanta del passat segle XX, quan països amb molt de vent es van adonar de la riquesa energètica que tenien al seu abast.



Detall del Molí de la Mola, Formentera.

El Consell de Mallorca i l'Ajuntament de Campos han signat un conveni per al manteniment i explotació de molins d'aigua del municipi per generar energia elèctrica mitjançant el vent. Així s'aconsegueix fomentar l'energia eòlica i mantenir la fesomia i el paisatge de Campos, on hi ha devers 900 molins catalogats.

El aparells que permeten mesurar la velocitat i la direcció predominant del vent són l'anemòmetre i penell respectivament. D'anemòmetres n'hi ha de tres tipus: els de cassolotes, els d'hèlix i els de paletes. En algunes ocasions el panell i l'anemòmetre estan instal·lats junts, com en el cas dels velers.



Sensors de velocitat i direcció del vent en un aerogenerador.

Èol, el déu del vent

Els antics grecs, com altres cultures i civilitzacions que van viure fa centenars d'anys, creien que tots els fenòmens de la natura i els successos quotidians es produïen per la voluntat dels déus. Els humans els temien i feien tot el possible per evitar que s'enrabiessin i descarreguessin la seva còlera contra ells. Una d'aquestes divinitats era Èol, el guardià dels vents, qui tenia els vents encadenats dins d'una gruta i tenia el poder d'amansar-los o provocar-los quan ho desitjava.

Segons la mitologia grega, Èol vivia a una illa flotant anomenada Eòlia amb els seus dotze fills. L'heroi Odisseu va visitar una vegada Èol i el déu el va rebre com l'hoste important que era. Quan Odisseu va haver de marxar amb la seva nau, el déu li va donar un vent favorable i un sarró amb tots els vents perquè en fes bon ús quan li calgués. Tanmateix, els mariners que acompanyaven l'heroi grec, en creure que el sarró contenia or, van obrir-lo. Fou aleshores quan tots els vents van sortir de la bossa i van empènyer el vaixell novament fins a les costes de l'illa on vivia Èol. El déu es va enutjar tant que es va negar a ajudar una altra vegada Odisseu a tornar a casa. Èol és representat amb un ceptre com a símbol de la seva autoritat i envoltat de turbulents remolins, els Vents, cadascun dels quals era un déu.

El pioner

El primer intent per mesurar el vent el va fer, a començaments del segle XIX (any 1806) un almirall de la Marina Britànica, sir Francis Beaufort. Beaufort va desenvolupar una escala de classificació dels vents amb una gradació, en la qual cada número de l'1 al 12 estava associat a uns efectes determinats del vent sobre els objectes. Així, per exemple, mentre que el 0 correspon a una situació de calma en la que el fum puja verticalment, el 12 correspon a l'huracà que provoca grans destrosses sobre el paisatge i les construccions humanes. Entremig, el 3 correspon a un vent fluix que mou les branques i les fulles dels arbres i aixeca la pols, i el 8 a un vent dur que trenca els branquillons i impedeix de caminar contra el vent.

Per bé que aquesta escala encara s'utilitza, avui dia la intensitat del vent es mesura amb aparells més sofisticats que donen la velocitat en quilòmetres per hora o metres per segon de forma instantània.

Grau del vent	Característica	m/s	kt (nusos)	km/h
0	Calma	0-0,2	menys d'1	0-2
1	Ventolina	0,3-1,5	1-3	2-5
2	Vent molt fluix	1,6-3,3	4-6	7-11
3	Vent fluix	3,4-5,4	7-10	12-19
4	Vent moderat	5,5-7,9	11-16	20-29
5	Vent fresquet	8,0-10,7	17-21	30-39
6	Vent fresc	10,8-13,8	22-27	40-50
7	Vent fort	13,9-17,1	28-33	51-61
8	Temporal	17,2-20,7	34-40	62-74
9	Temporal fort	20,8-24,4	41-47	75-87
10	Temporal molt fort	24,5-28,4	48-55	88-101
11	Temporal violent	28,5-32,6	56-63	102-117
12	Huracà	més de 32,7	més de 64	més de 118

ELS FONAMENTS TECNOLÒGICS

En l'aprofitament energètic del vent les màquines eòliques permeten cobrir des d'aplicacions de petita potència per a bombejament d'aigua o electrificació rural, fins a parcs eòlics connectats a la xarxa elèctrica amb aerogeneradors de mitjana i gran potència.

ELS COMPONENTS D'UN MOLÍ AIGUADER O MULTIPALA

Un tipus de màquina que aprofita l'energia del vent per a realitzar un treball són els molins multipala. Són molins d'eix horitzontal, més petits que els aerogeneradors i més fàcils de muntar. Tenen un nombre de pales d'entre 12 i 24, les quals permeten aprofitar els vents de més baixa velocitat. S'acostumen a utilitzar per a bombejar aigua del subsòl (poden proporcionar cabals entorn els 35.000 l/h) per a usos agropecuaris, motiu pel qual se'ls coneix també com a molins aiguaders.

La roda

La roda multipala transforma l'energia eòlica en energia mecànica. Gira a un màxim de 20 a 70 revolucions per minut (rpm), depenent del diàmetre de la roda, però té l'avantatge de posar-se en funcionament amb una velocitat de vent baixa, d'uns 4 m/s. El nombre de pales sempre és el màxim que permet el diàmetre de la roda, a fi de facilitar-ne l'arrencada amb poc vent.

Cal dir que, proporcionalment, les rodes multipala són més lentes que les aerodinàmiques dels aerogeneradors dels parcs eòlics, ja que un molí de 5 metres de diàmetre de roda aerodinàmica, per exemple, pot arribar a més de 300 rpm, mentre que un multipala del mateix diàmetre difícilment arribarà a les 50 rpm.

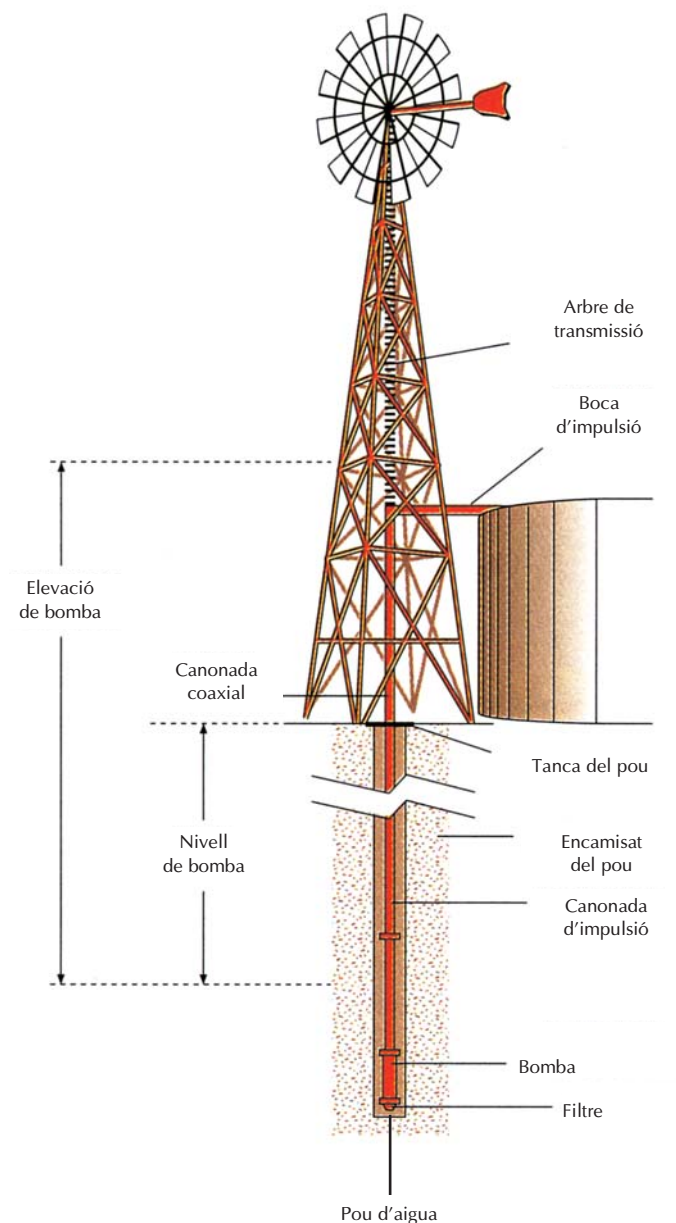
El timó o cua

És un element situat a la cua i que és el que orienta el molí cap el vent.

Biela, maneta i tija

Pert mitjà d'una biela, la rotació de la roda activa la bomba situada al fons del pou d'aigua. La bomba compta amb un pistó i un sistema de vàlvules que impulsen l'aigua fins a la superfície. Un dels trets principals d'aquest tipus de bombes de pistó és que, en cas que el pou es quedi amb un cabal inferior al previst en dissenyar el molí, continuen bombant aigua i aire sense resultar afectades.

Els molins també compten amb elements mecànics que detecten quan la velocitat del vent és excessiva, de manera que la roda es frena progressivament i torna a funcionar normalment quan la força del vent es normalitza. S'orienten de forma automàtica mitjançant un penell.



Bomba

Cilindre amb dos orificis amb les corresponents vàlvules, per l'interior del qual es mou un èmbol, que quan s'eleva provoca una depressió i succiona l'aigua del pou.

Torre

Fa de suport i sol tenir unes dimensions de 2-3m de diàmetre i uns 6 d'alçada. L'alçada permet captar millor el vent.

Els factors limitants

Els molins multipala obtenen el màxim rendiment quan hi ha una velocitat del vent que se situa al voltant de 12 m/s, i s'aturen completament quan s'arriba a 22 m/s, ja que tenen com a factor limitant la velocitat màxima que admet la bomba de pistó (de 60 a 70 rpm).

Quan la bomba arriba al màxim de revolucions per minut, el molí es desorienta automàticament per a evitar que es puguin produir avaries mecàniques. Això no obstant, un sistema de regulació permet a l'usuari o a l'instal·lador del molí decidir la velocitat a la qual s'ha d'iniciar l'aturada automàtica, ja que les condicions meteorològiques de cada indret són diferents al llarg de l'any.

Els diversos usos dels molins multipala

Hi ha diversos models de molins de vent, que es diferencien pel diàmetre de la roda i l'altura de la torre. El model més adequat a cada necessitat es determina en funció de les variables següents: tipus d'explotació i demanda d'aigua, velocitat del vent a l'indret, tipus d'aqüífer (pou, sondeig, llac, etc.), topografia de la zona, nivell estàtic i dinàmic de l'aigua, distància des del pou fins al dipòsit, desnivell des del pou fins al dipòsit i impacte ambiental.

En un molí de vent, la potència disponible depèn del diàmetre de la roda i de la velocitat del vent. A mesura que s'augmenta el diàmetre de la roda, s'obté més potència i s'incrementa el cabal d'aigua bombada. La torre d'un molí ha de tenir prou alçada perquè el vent arribi a la roda contínuament i sense provocar turbulències, tot salvant els obstacles que hi hagi als voltants.

Com que els usos de cada molí són diferents, cal dimensionar la instal·lació a la demanda d'aigua de cada usuari. Així, en funció dels cabals necessaris i de la profunditat del pou del qual s'ha d'obtenir l'aigua, s'ha de triar la bomba i el molí més adequats perquè el cabal extret oscil·li tan poc com sigui possible, sempre tenint en compte el comportament del vent a la zona.

La garantia que ofereixen aquest tipus de molins, la facilitat amb què es posen en funcionament a una velocitat de vent baixa i l'estalvi energètic que tenen associats pel fet que no han d'utilitzar bombes elèctriques, han provocat que el seu ús s'hagi estès a molts països. Cal tenir en compte que, per a cabals inferiors a 10.000 litres per hora, és més rendible disposar d'un molí de vent que d'una bomba elèctrica, encara que sigui per omplir grans basses, sempre que la disponibilitat de recursos eòlics sigui l'adequada.

ELS COMPONENTS DELS AEROGENERADORS

D'aerogeneradors n'hi ha de diferents tipus. Es poden dividir segons el tipus d'eix (vertical o horitzontal), l'orientació respecte el vent (a sotavent o a popa, i a sobrevent o a proa), el nombre de pales, o el control de potència.

En general, consten d'un rotor que capta l'energia del vent i un sistema de conversió d'energia, que mitjançant un multiplicador i un generador transformen l'energia mecànica del vent en energia elèctrica. El conjunt es completa amb un bastidor i una carcassa que alberga els mecanismes, així com una torre sobre la que es fa el muntatge de tot el sistema i que també inclou els corresponents subsistemes hidràulics, electrònics de control i la infraestructura elèctrica.

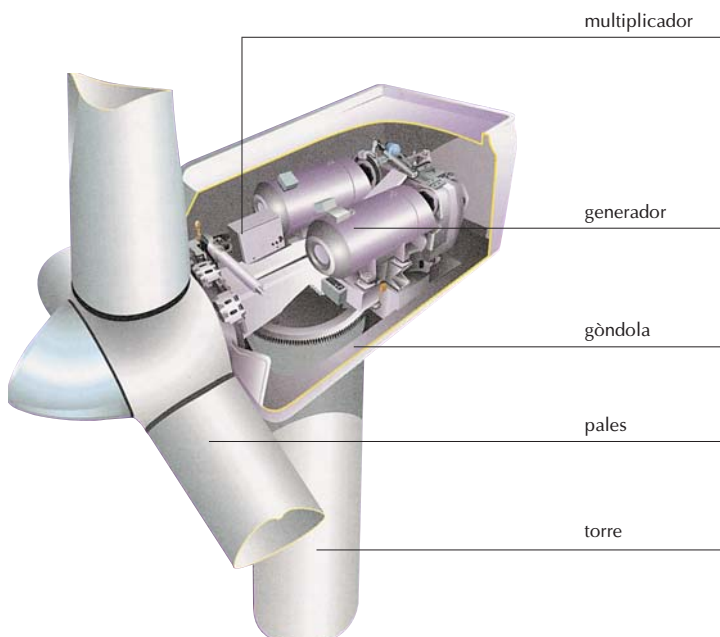
El rotor

És la part de la màquina que transforma l'energia del vent en energia mecànica. La superfície d'influència pel rotor és l'àrea anomenada "de captació" de l'aerogenerador. Augmentant el diàmetre de les pales s'incrementa la superfície de captació de vent i la potència proporcionada per la màquina.

La potència que subministra el vent per unitat de superfície escombrada es coneix com a densitat de potència del vent. Per sobre d'una densitat de potència d'uns 200 W/m² ja pot ser rendible generar energia elèctrica a partir d'aerogeneradors.

El multiplicador

La funció del multiplicador és adaptar la velocitat de rotació del rotor a la necessària perquè el generador elèctric funcioni adequadament. En general, són un conjunt d'engrenatges que transformen la baixa velocitat a la que gira l'eix del rotor (entre 20 i 30 voltes per minut) a una velocitat més elevada.



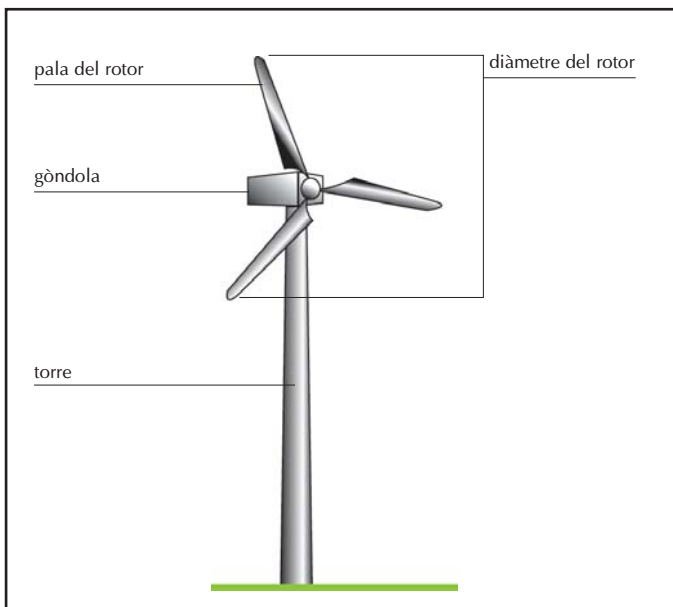
El generador elèctric

El generador és l'aparell que transforma l'energia mecànica procedent del rotor en energia elèctrica. L'electricitat s'envia a la xarxa elèctrica o s'utilitza per alimentar algun centre de consum annex a la instal·lació.

La gòndola

És el conjunt del bastidor i carcassa de l'aerogenerador. El bastidor és la peça sobre la que s'acoblen els principals elements mecànics de l'aerogenerador (el rotor, el multiplicador, el generador), i es troba situat damunt la torre. Aquest bastidor està protegit per una carcassa, generalment de fibra de vidre i polièster, reforçada amb perfils d'acer inoxidable. Els operaris hi poden entrar des de la torre.

AEROGENERADOR D'EIX VERTICAL



Les pales

Són els elements de l'aerogenerador encarregats de captar l'energia cinètica del vent. És un dels components més crítics de la màquina, ja que en el cas de les pales de gran longitud -les que permeten un millor aprofitament de l'energia-, les velocitats elevades que s'assoleixen en els seus extrems porten al límit la resistència dels materials amb què estan fabricades.

La majoria de les pales modernes estan fabricades amb plàstics reforçats amb fibra de vidre o compostos de carboni, materials que aporten resistència i baix pes. Normalment, els aerogeneradors tenen un nombre senar de pales, ja que donen més estabilitat al sistema.

La torre

La torre suporta la gòndola i el rotor. Acostuma a ser d'acer o de formigó, i té com a funció allunyar les pales del terra perquè la velocitat del vent augmenta amb l'alçada. Una turbina d'uns 1.500 kW de potència té una torre d'uns 60 metres. El seu cost suposa, aproximadament, un 20%, del total de l'aerogenerador.

L'anemòmetre i el penell

L'anemòmetre és l'aparell que mesura la velocitat del vent, i el penell determina la direcció.

La Llei de Betz

Un aerogenerador redueix la velocitat del vent quan passa pel rotor fins a 2/3 parts de la seva velocitat inicial. Això vol que no aprofita tota l'energia cinètica que li arriba. La Llei de Betz diu que un aerogenerador només pot convertir un 60%, aproximadament, de l'energia cinètica del vent en energia mecànica.



Parc Eòlic Es Milà,
Menorca

Els aerogeneradors actuals

Els aerogeneradors que es comercialitzen actualment poden operar de forma continuada i amb un baix nivell de manteniment durant unes 120.000 hores, i tenen una vida mitjana de 20 anys. Aquesta capacitat de treball, i l'augment constant del nivell de producció elèctrica de les turbines, han convertit l'energia eòlica en una veritable alternativa a d'altres fonts convencionals d'energia elèctrica.

La rapidesa amb què ha evolucionat la tecnologia eòlica ha contribuït de forma decisiva a aquest progrés. Mentre que durant la dècada dels vuitanta, els aerogeneradors que es comercialitzaven tenien una potència d'entre 20 i 60 kW i un diàmetre de rotor d'uns 20 metres, les turbines actuals tenen una potència de 2-5 MW -s'estan fent proves amb turbines encara més potents- i rotors d'entre 90 i 120 metres de diàmetre.

Les característiques d'aquests aerogeneradors més moderns fan que la seva capacitat de producció incrementi quasi de forma exponencial a mesura que augmenta la velocitat del vent. Així, per exemple, quan la velocitat mitjana es duplica, el rendiment energètic de la turbina es multiplica per vuit. El temps de manteniment d'aquestes màquines és, a més, molt baix, ja que només requereix unes 40 hores anuals.

El pes dels molins, per unitat de potència, s'ha reduït a la meitat en els últims anys gràcies a l'ús de materials nous (com les resines sintètiques reforçades amb fibra de vidre i fibra de carboni) i a la millora del muntatge dels diversos elements que els integren. Alhora, també s'ha aconseguit reduir de forma important el nivell de soroll, de manera que l'impacte acústic sobre els indrets més propers és pràcticament nul.

El funcionament d'un aerogenerador

El que caracteritza el funcionament d'un aerogenerador és la corba i el coeficient de potència. La corba de potència indica el rang de velocitats de vent amb què pot operar l'aerogenerador i la potència que pot proporcionar en cada cas. Aquesta corba mostra el valor mínim de velocitat de vent necessari perquè un aerogenerador comenci a funcionar, normalment situada entre 4,5 i 5 m/s. Per a velocitats de vent superior a 25-28 m/s, l'aerogenerador ha de frenar-se per raons de seguretat.

L'energia cinètica del vent depèn de la densitat de l'aire (massa per unitat de volum). Quan més pesat sigui l'aire, més energia rebrà la turbina.

El coeficient de potència fa referència al rendiment de la màquina, és a dir, relaciona la potència que proporciona l'aerogenerador i la potència disponible de vent. Aquest valor té un límit teòric màxim avaluat en el 59%.

En general, entre els diferents tipus d'aerogeneradors, tant per les característiques de la corba de potència com pel coeficient de potència proporcionat, els molins de són els que combinen el millor rendiment i les millors característiques de funcionament. Aquest tipus d'aerogeneradors permeten aconseguir un rendiment que arriba fins al 40% i per a aplicacions eòliques d'elevada potència actualment són els que s'utilitzen més.

Per calcular l'energia que un aerogenerador produeix en un any podem fer servir la fórmula següent:

$$E = 2,5 (V)^3 \times A$$

on

E = energia total, en kWh/any.

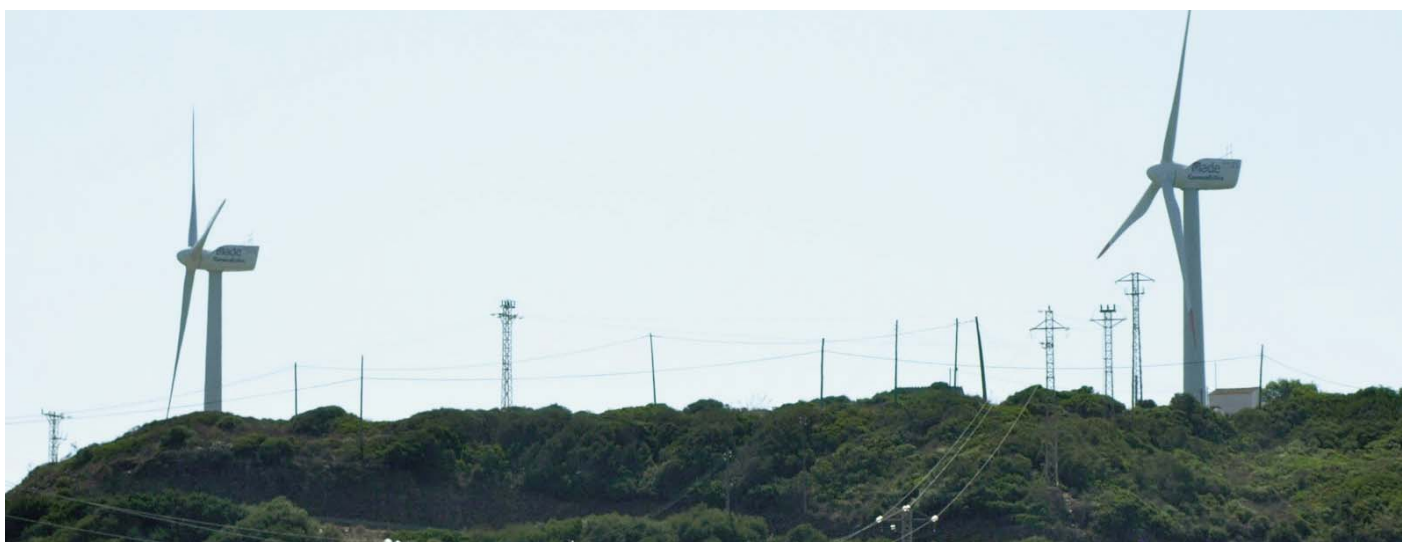
V = velocitat mitjana anual del vent, en metres per segon (m/s).

A = superfície de captació del molí, en metres quadrats (m²).

La superfície de captació o àrea escombrada per les pales de l'aerogenerador s'obté mitjançant la fórmula:

$$A = 3,1416 \times r^2$$

r = longitud de les pales (o, el que és el mateix, radi del cercle que dibuixen les pales).



Parc Eòlic Es Milà, Menorca

L'APROFITAMENT DE L'ENERGIA EÒLICA

Els aerogeneradors i els molins multipala poden implantar-se de forma aïllada, en grups (com és el cas dels parcs eòlics, per exemple) o de forma combinada amb altres sistemes de generació d'energia, com els mòduls fotovoltaics.

ELS PARCS EÒLICS

Un parc eòlic és un conjunt d'aerogeneradors connectats entre sí a baixa tensió que mitjançant l'acció del vent transformen l'energia cinètica en energia elèctrica que un cop transformada en alta tensió, es connectarà a la xarxa. Aquest tipus d'instal·lacions produeixen electricitat que venen a una companyia elèctrica.

La realització de parcs eòlics requereix disposar d'emplaçaments on les característiques del vent compleixin una sèrie de condicions pel que fa a la velocitat, la continuïtat i l'estabilitat. Normalment es requereixen velocitats del vent superiors als 6 m/s.

Al dissenyar la distribució dels aerogeneradors en un parc eòlic és molt important tenir en compte aspectes com el relleu, la direcció predominant del vent, la seva velocitat, la distància entre els aerogeneradors... i es calcula mitjançant un estudi dinàmic de turbulències fent una simulació del relleu local. Per exemple, en un terreny planer i quan el vent té una direcció predominant, els aerogeneradors es solen instal·lar en filera, amb una separació transversal entre turbines de 3 i 5 vegades el diàmetre del rotor i de 5 a 9 vegades en direcció al vent dominant.

Es poden instal·lar tant a terra com en el mar. En el mar es coneix com a "energia eòlica off-shore" i s'instal·len en zones poc fondes (30 o 40 metres) o a alta mar, molt més complexes d'instal·lar. Les costes espanyoles són fondes, per tant serien més del segon cas. Si bé aquest tipus d'instal·lacions encara estan en una etapa inicial, l'any 2010 la potència que aquests parcs generen pot arribar als 10.000 MW. Dinamarca, Suècia, Holanda, Alemanya, Irlanda i el Regne Unit són alguns dels països que han desenvolupat projectes offshore a les seves aigües marines.



Parc Eòlic off-shore.

Com es tria l'emplaçament d'un parc eòlic?

El vent no bufa igual a tot arreu, ni ho fa sempre de la mateixa manera. Per tant, no tots els indrets tenen les mateixes possibilitats d'aprofitament energètic de la força de l'aire en moviment. No n'hi ha prou amb què faci molt de vent algunes vegades. Cal que el vent bufi regularment durant tot l'any perquè la construcció d'un parc eòlic sigui rendible.

Es per això que abans, però, cal realitzar un estudi previ, per esbrinar si fa prou vent i si serà possible la producció d'energia elèctrica en gran quantitat. Primer de tot es trien aquells llocs en els que l'experiència de molts anys i el coneixement científic fan pensar que les característiques del vent seran les idònies. Després s'hi instal·len estacions de mesura que consisteixen en un torres metàl·liques de gran alçada en les que un aparell enregistra la velocitat i la direcció del vent durant mesos o, fins i tot, anys.

Una vegada s'ha obtingut la informació suficient sobre les característiques dels vents locals, els especialistes l'estudien i decideixen si és convenient procedir a la construcció del parc. En cas que la resposta sigui afirmativa es realitza el projecte en el que s'especifica el tipus de molins que s'hi instal·laran, el seu nombre, la seva orientació i la seva situació sobre el terreny per tal d'obtenir el màxim rendiment possible a la força del vent. Finalment, es demanen els permisos a l'administració i es procedeix a la construcció de les instal·lacions i dels camins d'accés.

Les carenes o els pics de les muntanyes són els indrets escollits habitualment per instal·lar-hi els parcs eòlics, donat que el vent hi bufa amb més intensitat que a d'altres llocs.

Per a obtenir la informació que permetrà decidir quin emplaçament és bo per un parc eòlic existeixen eines, concretament models matemàtics, entre ells el Mesomap. IDAE, mitjançant el Mesomap, ha creat "El Mapa de recursos eòlics d'Espanya" que permet una primera avaluació del potencial eòlic disponible. El mapa inclou tot el territori espanyol, incloses les aigües interiors i una franja litoral marina de 24 milles nàutiques i mitjançant un Sistema d'Informació Geogràfica (GIS) de consulta pública, es poden extreure dades d'interès com: velocitat mitja anual del vent, densitat de potència eòlica... entre moltes altres dades.

LES INSTAL·LACIONS AÏLLADES

El bombament d'aigua

En les instal·lacions de bombejament d'aigua és habitual utilitzar aerobombes multipales. A partir del vent es genera energia mecànica que acciona la bomba de la instal·lació, mitjançant la qual es fa pujar l'aigua fins el dipòsit.

Aquestes aerobombes funcionen a baixa velocitat, de manera que cal comptar amb el major nombre de pales possible, normalment entre 12 i 24. Aquestes instal·lacions són habituals en zones rurals i per a consums propis.

Un exemple d'instal·lacions aïllades pel bombament d'aigua són els històrics molins de ramell de Campos, Sa Pobla, Muro i Sant Jordi d'Eivissa.

A Campos s'han catalogat 629 molins de vent d'extracció d'aigua, dels quals només 6 en conserven, en el moment de la catalogació, la funció originària.

Durant l'any 2002 es rehabilitaren als municipis de Sa Pobla i Muro un total de 7 molins aguaders.

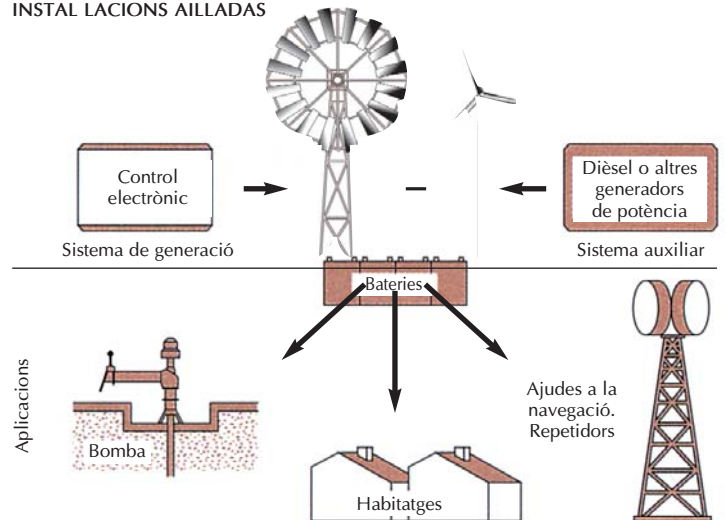


Molí a instal·lacions aïllada a Sa Pobla, Mallorca.

El subministrament elèctric local

Amb aerogeneradors de petita potència es pot obtenir també energia elèctrica per al consum d'habitatges i nuclis rurals allunyats de la xarxa convencional. Normalment, es tracta d'instal·lacions híbrides, que aprofiten alhora dos recursos renovables: la força del vent i la llum del Sol. Són els anomenades instal·lacions eòlico-fotovoltaïques.

INSTAL·LACIONS AÏLLADES



Instal·lació eòlica fotovoltaica.

L'APROFITAMENT DE L'ENERGIA EÒLICA AL MON I A LES ILLES

Cada cop hi ha més països que aposten per l'energia eòlica a l'hora de satisfer una part de la seva demanda elèctrica. L'augment de la productivitat de les turbines i la reducció del cost de generació, com a factors principals, l'han convertida en una de les més rendibles, tant des del punt de vista energètic com econòmic.

LA SITUACIÓ MUNDIAL

La potència eòlica instal·lada al món supera els 100 GW (100.000 MW), l'equipament a totes les centrals nuclears dels Estats Units. Aquesta potència genera el 12% de la demanda mundial d'electricitat. Alemanya, els Estats Units, Espanya, la Índia i la Xina són els líders mundials en potència instal·lada. A Europa hi ha instal·lats actualment gairebé 58.000 MW.

Des de 1995, la potència eòlica al món s'ha multiplicat per cinc. Els escenaris de futur elaborats pel GWEC (Global Wind Energy Council) assenyalen que l'any 2020 es pot arribar als 1.200 GW instal·lats, cosa que s'evitaria l'emissió a l'atmosfera d'11.000 milions de tones de CO₂ cada any.

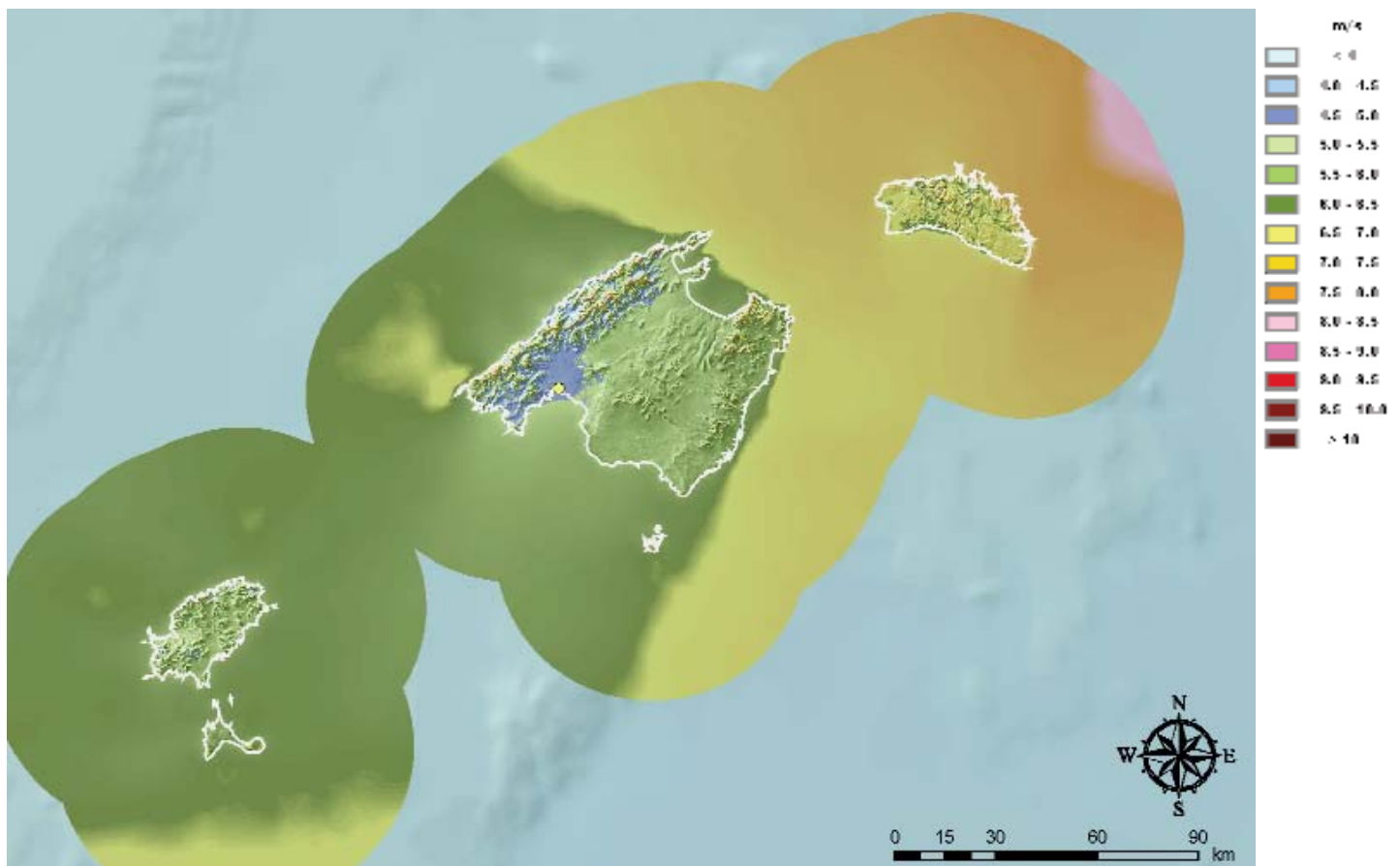
El sector eòlic també és un dels més dinàmics pel que fa a la creació de nous llocs de treball. Els tres països europeus líders en l'energia eòlica –Dinamarca, Alemanya i Espanya– han creat més de 20.000 llocs directes i més de 40.000 d'indirectes.

LA SITUACIÓ A LES ILLES BALEARS

El primer parc eòlic que funcionà a les illes fou el d'Es Milà, al municipi de Mahó (Menorca), amb vents de velocitat mitjana de 6'7 m/s i direccions predominants NE i SO. Va ser construït el 2003 i està format per 4 aerogeneradors que proporcionen un total de potència de 3'2 MW, poden proporcionar electricitat a més de 2.000 habitatges.

Aquest parc eòlic és l'únic de les Illes i genera el 0'085 % del total de l'energia elèctrica, concretament genera 5.575 MWh bruts anuals.

MAPA EÒLIC DE LES ILLES BALEARS (VELOCIDAD MEDIA ANUAL A 80m DE ALTURA)



Dades 2009. Font: IDAE

CONSIDERACIONS AMBIENTALS. AVANTATGES I INCONVENIENTS DE LA TECNOLOGIA

Un dels principals avantatges de l'energia eòlica és que es tracta d'una energia neta i renovable, com ho són també l'energia fotovoltaica, que s'obté del sol, o la hidroelèctrica, que s'obté de la força de l'aigua.

Com a font d'energia renovable, l'eòlica està exempta, doncs, d'una bona part dels impactes ambientals associats als combustibles d'origen fòssil o a l'energia nuclear, però en presenta d'altres com l'impacte paisatgístic o l'impacte sobre la fauna i la flora.

ELS AVANTATGES AMBIENTALS

El vent és abundant, inesgotable i està repartit per tot el món, a diferència dels recursos energètics d'origen fòssil, per exemple.

El desenvolupament de l'energia eòlica i la seva implantació porta associats diversos avantatges ambientals: no genera les emissions de gasos contaminants -SO_x, NO_x o partícules- ni els gasos d'efecte hivernacle -CO₂- que es produeixen a les centrals de producció d'energia convencionals que fan servir combustibles d'origen fòssil.

Un altre aspecte important és que la quantitat d'energia que genera un aerogenerador és unes cinquanta vegades més gran que la destinada a construir-lo, mantenir-lo, explotar-lo i desmantellar-lo, per la qual cosa només es triga uns quatre mesos a amortitzar la despesa energètica.

ELS BENEFICIS ECONÒMICS I SOCIALS

Entre les energies renovables l'energia eòlica és una de les més competitives. La millora tecnològica, la construcció de màquines de gran potència, la disminució dels preus dels aerogeneradors i la millora de les condicions de venda de l'energia generada a les companyies elèctriques han afavorit fortament el creixement del sector en els darrers anys.

La rendibilitat econòmica d'una instal·lació eòlica depèn de:

- la inversió a efectuar (aerogeneradors, infraestructura elèctrica, accessos, connexió a la xarxa, sistemes de control de la instal·lació,...).
- el preu de venda d'aquesta energia, que ve donat pel Reial Decret vigent.
- els costos d'explotació (terrenys, operació i manteniment, gestió i administració,...).
- la quantitat d'energia produïda (funció de les condicions de velocitat, disponibilitat i densitat de potència del vent).
- el cost de les mesures ambientals correctores, l'informe de seguiment de les aus, etc.

Com a mitjana, el preu d'instal·lació d'un parc eòlic oscil·la al voltant de les 900 €/kW instal·lat. Cal afegir també que el funcionament dels parcs eòlics comporta beneficis socials importants, ja que, sobretot a les zones rurals, garanteix l'accés de la població a l'energia elèctrica i altres serveis bàsics.

ELS POSSIBLES INCONVENIENTS

S'ha de tenir en compte que la implantació de qualsevol instal·lació sobre el territori pot comportar efectes negatius sobre el paisatge, el sòl, els hàbitats naturals o la població humana propera -soroll, impacte visual o moviment de terres-, per la qual cosa s'han de realitzar estudis d'impacte ambiental local i plans territorials que contemplin aquests efectes.

Amb relació, concretament, al soroll, els avenços tecnològics han aconseguit reduir en gran mesura el que el gir de les pales produeixen fa uns anys, ja que tant els multiplicadors i els generadors com les pales es construeixen amb elements que el minimitzen. És evident, però, que, com més velocitat de gir hi hagi i com més gran sigui el nombre d'aerogeneradors, més alt serà el soroll aerodinàmic generat. Actualment, la remor de les pales d'un molí és d'uns 30-40 decibels a uns 300 metres de distància dels aerogeneradors.

Pel que fa als impactes sobre el paisatge o en els hàbitats naturals, no és el mateix parlar d'un parc eòlic terrestre, marí o minieòlic. Cada un d'ells té els seus possibles impactes que s'han d'estudiar amb deteniment alhora de la seva implantació. De totes maneres, els minieòlics són els que menys interaccionen amb l'entorn, per les seves petites dimensions i perquè ja es col·loquen en zones urbanitzades.



Minieòlica urbana a Londres.

PERSPECTIVES DE FUTUR A LLARG TERMINI

L'energia eòlica ha estat en els darrers anys la font d'energia renovable que més ha crescut, fins al punt que la potència mundial s'ha multiplicat per sis en només quinze anys. El potencial eòlic de molts indrets del món, el ràpid desenvolupament de la tecnologia i l'elevat rendiment energètic dels aerogeneradors i parcs actuals, han estat les raons principals d'aquest gran augment.

Un estudi realitzat per l'Associació Europea de l'Energia Eòlica en col·laboració amb altres institucions, conclou que el potencial mundial de generació eòlica és aproximadament el doble que la demanda d'electricitat prevista per a l'any 2020.

Els progressos tecnològics han fet que el rendiment dels aerogeneradors hagi millorat molt gràcies a què cada vegada poden generar electricitat a velocitats de vent més baixes. A mesura que millori encara més aquest rendiment i es tregui partit del vent que es produeix al litoral (parcs off-shore), l'energia eòlica augmentarà la seva rendibilitat econòmica i, com a conseqüència, incrementarà el seu paper en el sistema energètic mundial.

També importat és el paper que jugarà en un futur la minieòlica. La minieòlica redueix els impactes ambientals produïts pels grans parcs eòlics. Les dimensions reduïdes dels aparells afavoreixen el seu emplaçament en espais urbans i industrials on un parc eòlic seria inviable.

La descentralització lligada als punts de consum, fa augmentar la fiabilitat de la xarxa de distribució i disminuir les pèrdues per transport i transformació i també evita la implantació de grans xarxes de transport.



Parc eòlic off-shore de Hons Rev 2 a Dinamarca

Un bon exemple de parcs off-shore es troba a Dinamarca on aproximadament el 20% de l'energia elèctrica ve de l'energia eòlica i disposa de sis parcs eòlics marins i planeja triplicar la seva capacitat 'offshore' els propers 4 anys amb la construcció de tres parcs més. El més gran i inaugurat recentment és el 'Horns Rev 2' i està situat a 30 quilòmetres de la costa oest de Jutlàndia, compta amb 91 aerogeneradors amb una capacitat de producció de 209 MW que poden subministrar energia elèctrica equivalent al consum anual de 200.000 llars.

GLOSSARI

Orografia:

Forma que pren el relleu d'una regió terrestre.

Penell:

Instrument que amida la direcció del vent. Normalment, està format per una placa metàl·lica lleugera de forma variable (fletxa, ocell,...), que indica l'orientació del vent.



Govern de les Illes Balears

Conselleria de Comerç, Indústria i Energia
Direcció General d'Energia