

Energía eólica



Energía eólica

TÍTULO

Energía eólica

DIRECCIÓN TÉCNICA

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

AUTOR DE APIA

Clemente Álvarez

.....
Este manual forma parte de una colección de 7 títulos dedicados a las energías renovables; uno de carácter general y seis monografías sobre las diferentes tecnologías.

La colección es fruto de un convenio de colaboración firmado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y la Asociación de Periodistas de Información Ambiental (APIA).

Esta publicación ha sido producida por el IDAE y está incluida en su fondo editorial, dentro de la Serie “Manuales de Energías Renovables”.

Cualquier reproducción, total o parcial, de la presente publicación debe contar con la aprobación del IDAE.

.....

IDAE

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

C/ Madera, 8

E-28004-Madrid

comunicacion@idae.es

www.idae.es

Madrid, septiembre de 2006

INTRODUCCIÓN	5
1 SITUACIÓN ACTUAL	9
1.1 En el mundo	11
1.2 En España	18
2 TECNOLOGÍA	21
2.1 El viento	23
2.2 El aerogenerador	30
2.3 El parque eólico	39
3 LA ENERGÍA EÓLICA EN EL MAR	49
3.1 Los recursos eólicos en el mar	51
3.2 Evolución de la tecnología mar adentro	54
4 OTROS USOS Y APLICACIONES	59
4.1 Generación eléctrica a escala “mini”	61
4.2 Bombeo de agua	62
4.3 Hidrógeno “verde”	64
4.4 Desalinización	66



5 SOSTENIBILIDAD Y MEDIO AMBIENTE	69
5.1 Aspectos ambientales	71
5.2 Aspectos socioeconómicos	77
6 INSTALACIONES MÁS REPRESENTATIVAS EN ESPAÑA	83
7 PERSPECTIVAS FUTURAS	127
7.1 El Plan de Energías Renovables	129
7.2 Barreras	131
7.3 Medidas	133
8 SABER MÁS	137
8.1 Orígenes de la energía eólica en España	139
8.2 Curiosidades	142
8.3 Glosario de términos	143
ANEXOS	151
I. Legislación y normativa	153
II. Direcciones de interés	161
III. Referencias y Bibliografía	171

Introducción

Frente a la mayoría de los pronósticos realizados hace apenas unos años, hoy la energía eólica no solo crece de forma imparable en España y bate todos los récords, sino que además se ha convertido en la mejor demostración de que las energías renovables pueden contribuir a transformar el modelo energético tradicional. Y esto en un momento en el que el precio del petróleo supera los 60 dólares el barril. Cuando se escribía esta publicación eran más de 12.000 los aerogeneradores que se recortaban en el horizonte nacional, y la potencia eólica acumulada rebasaba los 9.000 megavatios (MW); es decir, 80 veces más de la que había hace ahora casi diez años, y de la que se hablaba con entusiasmo en la introducción de la anterior guía sobre energía eólica editada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) en 1996. Entonces eran muy pocos los que creían que una energía renovable como la eólica llegaría a competir con las convencionales. Sin embargo, este milagro se ha producido y en el año 2005 se han podido observar algunas señales inequívocas de que así ha ocurrido.

Primera señal: A finales de 2004, España se convertía en el segundo país del mundo con más megavatios acumulados (8.155) de energía eólica y el segundo en megavatios instalados. Además, esta marca suponía un hito energético adicional pues, por primera vez, la potencia eólica acumulada en el país superaba a la nuclear. Aunque esto fuese solo sobre el papel, pues nunca sopla viento para hacer girar todos los aerogeneradores simultáneamente; sobre todo, como se dice, cuando más se los necesita: en los días más fríos del invierno y los más calurosos del verano.

Segunda señal: ¿Quién dijo que las turbinas eólicas no aportan energía cuando más se las necesita? El 26 de enero de 2005, en medio de un intenso temporal y temperaturas gélidas, la demanda peninsular de electricidad telemidida por Red Eléctrica de España batía todos los récords y se situaba en 42.950 MW a las 19:30 horas. Si no sucedió nada fue porque afortunadamente los parques eólicos estaban funcionando a pleno rendimiento y se estima que aportaron más de 5.000 MW que cubrieron el 12% de la demanda. No se trató de una casualidad, pues solo unos días después, el 15 de febrero, los aerogeneradores del país mejoraban su propia marca y aportaban esta vez casi 6.000 MW, el 70% de toda la potencia eólica instalada (cuando la media anual no alcanza el 30%), lo que permitió atender el 17% de la demanda existente en aquellos momentos.

Tercera señal: Poco más de cinco años antes de que llegue a su fin el Plan de Fomento de las Energías Renovables 1999-2010, en agosto de 2005, el Gobierno aprobaba un nuevo objetivo para el desarrollo de la energía eólica, una vez superado el que aparecía con anterioridad sobre el papel. La nueva meta fijada en el Plan de Energías Renovables en España 2005-2010 son 20.155 MW de potencia: más del doble de lo instalado hoy en día. Una potencia ya nada despreciable, incluso con los parques funcionando al 30%.



A pesar de estas señales, todavía hay voces que cuestionan la energía eólica y argumentan que, por muchos récords que se logren, los aerogeneradores no han servido para cerrar una sola central térmica en España. Cada vez que se vierte la energía de los parques eólicos en la red eléctrica, esto supone miles de toneladas de CO₂ que se dejan de emitir a la atmósfera porque se ha sustituido una o varias centrales térmicas de combustión convencionales que estarían funcionando si no hubiese aerogeneradores.

En cualquier caso, tampoco hay que caer en triunfalismos, pues todo esto no implica que la energía eólica no mantenga importantes retos por delante. Uno de los mayores desafíos del sector es conseguir dar mayores garantías de estabilidad conjunta al sistema eléctrico. Para ello, se trabaja en la mejora de la predicción de la producción, en la adaptación de los parques a las crecientes exigencias de la red eléctrica y en la búsqueda de soluciones para llegar a almacenar la energía extraída del viento; como, por ejemplo, mediante hidrógeno a alta presión. Del mismo modo, con 20.155 MW en el horizonte de 2010, otra cuestión por resolver es encontrar emplazamientos para duplicar la actual potencia eólica. En este terreno, el sector avanza hacia turbinas más grandes y eficientes que reemplacen a las antiguas, o hacia máquinas que puedan aprovechar vientos más moderados. Por otro lado, aunque la energía eólica sea mucho menos impactante que cualquiera de las fuentes tradicionales, tampoco podemos dejar de cuidar la huella que deja en el entorno, particularmente en el paisaje. Quizá el desafío esté entonces en dar el salto al agua, con parques eólicos mar adentro.

De estas cuestiones, y todo lo relacionado con la energía eólica, se ocupa esta guía. Con ella el lector podrá realizar un recorrido por la situación en el mundo, la tecnología, las aplicaciones, las instalaciones, los planes de futuro, la historia o la normativa de esta fuente de energía “limpia”, inagotable y autóctona como es el viento.



En este terreno, el sector avanza hacia turbinas más grandes y eficientes



1

Situación actual



1

Situación actual

1.1 EN EL MUNDO

Al finalizar 2004 la potencia eólica instalada en el conjunto del planeta se situaba aproximadamente en 47.200 MW. Esto suponía un nuevo récord de crecimiento anual, con 7.700 MW nuevos instalados durante el año 2004. Pero, sobre todo, confirmaba un cambio significativo en el desarrollo de esta industria: la globalización de la energía eólica. Si bien la Unión Europea (UE) representa aún el 72% de toda la potencia instalada en el mundo, lo cierto es que el aprovechamiento energético del viento ha dejado de ser cuestión de un único continente. Solo unos datos¹: mientras que en 2003 fueron diez los países que construyeron parques eólicos por encima de los 100 MW, en 2004 esta lista aumentaba a 19, de los cuales 9 eran no europeos. Del mismo modo, el continente asiático poseía ya el 10% de la potencia eólica instalada.

¹ Fuente: World Wind Energy Association.

En lo que respecta al ranking mundial, los cinco países del mundo con más potencia eólica acumulada a finales de 2004 volvían a ser: Alemania (16.630 MW), España (8.155), EE. UU. (6.750), Dinamarca (3.120) e India (3.000). España no sólo escalaba a la segunda posición superando a EE. UU. en potencia acumulada, sino que también fue el segundo país del mundo que más megavatios eólicos nuevos instaló (1.920) durante el año 2004, muy cerca de Alemania (2.020), líder indiscutible del actual desarrollo eólico mundial.

Europa

El continente europeo sigue siendo el más destacado en el desarrollo de la energía eólica. En especial tres países, Alemania, España y Dinamarca, que juntos suman 27.905 MW de los más de 47.000 instalados en el planeta. No obstante, en los últimos años los aerogeneradores se han multiplicado en otras naciones del continente. Italia y Holanda entraron a formar parte en 2004 del exclusivo grupo de siete países del mundo que han rebasado la barrera de los 1.000 MW de potencia. Y por detrás se acercan a gran velocidad Reino Unido y Portugal. En su conjunto, el continente europeo terminó 2004 con 34.360 MW. Y, de ellos, 600 MW correspondían a parques eólicos marinos en Dinamarca, Holanda, Reino Unido, Suecia e Irlanda. Los países del Este adheridos en 2004 a la UE aportan hoy en día muy pocos megavatios, aunque son mercados más prometedores.

- **Alemania:** El fuerte apoyo de las autoridades federales y regionales alemanas ha sido el factor decisivo que ha convertido a este país en el número uno mundial de la industria eólica. El gran despegue se produjo con la aprobación en 1991 de una ley fundamental, que garantizaba a los productores de energías renovables la percepción de hasta el 90% del precio que las compañías eléctricas cobraban a los consumidores domésticos por cada kilovatio-hora que generasen. Además, esta legislación nacional ha estado acompañada por fuertes políticas regionales. A finales de 2004, Alemania contaba con una potencia eólica acumulada de 16.630 MW, el 35% de la instalada en todo el mundo.



- **Dinamarca:** Este país de apenas 5 millones y medio de habitantes disponía en 2004 de una potencia eólica acumulada de 3.120 MW, capaz de proporcionar en un año medio el 20% de su consumo de electricidad. En este caso, la clave del éxito ha venido de la mano de la industria danesa de aerogeneradores, que domina el mercado mundial desde los años 80. Dinamarca es el país número uno en parques mar adentro, con más de 400 MW instalados. Sin embargo, últimamente el crecimiento del parque eólico danés prácticamente se ha paralizado.
- **Reino Unido:** Los atlas eólicos muestran que el Reino Unido cuenta con los mayores recursos eólicos del continente. Sin embargo, es ahora cuando empieza a explotarlos. En 2004, este país disponía de una potencia eólica acumulada de 890 MW, de los que más de 120 estaban en el mar. Las previsiones apuntan a la instalación de cerca de 8.000 MW, a partes iguales entre tierra y mar, en los próximos años.
- **Portugal:** Al final de 2004 eran 520 los megavatios instalados en Portugal, pero este país espera llegar a 1.000 en 2005 y tiene concedidas licencias para alcanzar los 3.000 en 2008. Este “boom” ha sido impulsado por una nueva regulación que propone mantener la tarifa actual durante 15 años. Varios promotores españoles han impulsado de forma decisiva el despegue de esta tecnología en el país vecino.



América

El continente americano tenía instalados a finales de 2004 un total de 7.410 MW de potencia, de los cuales 6.750 pertenecían a EE.UU. Aun así, EE.UU. no está solo. El mercado canadiense se muestra bastante activo y hay fundadas expectativas en torno a países como Brasil o Argentina.



- **EE.UU.:** Ha sido el único país del mundo en el que la energía eólica ha crecido a un ritmo similar al europeo. En 2004 acumulaba 6.750 MW, pero la instalación de nuevos megavatios (375) se frenó debido al retraso en la prolongación de la exención fiscal a la producción (*Production Tax Credit, PTC*). La ampliación del plazo de esta bonificación hasta 2007 permite aventurar una pronta recuperación que pudiera ser muy importante. Estados Unidos, junto con Canadá, dispone de los mayores recursos eólicos comprobados del planeta.
- **Canadá:** Tiene excelentes recursos y comienza a despertarse. En 2004 terminó con 450 MW acumulados. No obstante, la Canadian Wind Energy Association ha anunciado un ambicioso plan para disponer de un total de 10.000 MW eólicos en 2010.
- **Brasil y Argentina:** Aunque ninguno de los dos está entre los 20 primeros países en el aprovechamiento energético del viento, se espera que Brasil (30 MW) logre un desarrollo significativo en el bienio 2006-2007, cuando se pongan en marcha las primeras instalaciones impulsadas por el programa gubernamental PROINFA, en cuya construcción participan varias empresas españolas. Argentina (25 MW) posee enormes recursos en la Patagonia, y algunas compañías europeas elaboraron ya planes de negocio para explotarlos, pero los años de recesión han alejado provisionalmente a los inversores.

Asia

Asia concluyó 2004 con 4.650 MW acumulados, después de instalarse ese mismo año más megavatios nuevos que en América. Por otro lado, India, Japón y China están entre los diez primeros países del mundo en potencia eólica acumulada. Entre los tres disponen del 9,7% de la potencia mundial.

- **India:** La nación pionera en el aprovechamiento del recurso eólico entre los países en vías de desarrollo comenzó a impulsar esta fuente de energía de forma poco racional y con equipos inadecuados. Los promotores buscaban beneficios fiscales más que generación eléctrica y el 70% de los aerogeneradores eran fabricados por empresas nacionales. En los últimos años, el mercado indio ha vuelto a resurgir, pero de forma más ordenada, presentando unas elevadas probabilidades de rápido crecimiento. En 2004 acumulaba 3.000 MW en operación, situándose en quinta posición mundial. El fabricante indio de aerogeneradores Suzlon ha comenzado su expansión internacional recientemente, mediante la adquisición de varias fábricas de componentes de primer nivel.
- **China:** El hecho de que China organizase la Conferencia Mundial de Energía Eólica en 2004, más la reciente aprobación de legislación sobre energías renovables, hace esperar un fuerte impulso del mercado eólico en el gigante asiático. Este país posee buenos recursos eólicos, disponiendo a finales de 2004 de 750 MW.



Oceanía

Australia, Nueva Zelanda y los archipiélagos del Pacífico solo disponían en conjunto de 555 MW de potencia eólica en 2004. Sin embargo, 325 de estos fueron instalados ese mismo año, siendo esta región donde más creció relativamente la energía eólica.

- **Australia:** Muchos creen que Australia será la “España del sur del Pacífico” en el aprovechamiento de la energía eólica. Por ahora, la implantación de aerogeneradores es modesta, pero empiezan a aparecer planes bastante activos. Tiene buenos recursos, pero faltan infraestructuras eléctricas que interconecten su vasto territorio.



África

Sin disponer de información suficiente en buena parte de su territorio sobre la existencia de recursos eólicos apreciables, sí que hay ciertas zonas que en los últimos tiempos han sido intensamente evaluadas, presentando un elevado potencial (norte de Marruecos, Mar Rojo, Sudáfrica...). Aun así, la mayor parte del continente posee una red eléctrica muy débil para posibilitar la evacuación de la posible energía generada, por lo que se considera que la mejor forma de contribuir a la electrificación es mediante el empleo de instalaciones a pequeña escala en poblaciones aisladas. Al finalizar el año 2004 África contaba con 225 MW.

Se prevé que en el año 2050 África doble su población actual, alcanzando los 2.000 millones de habitantes (el 21% de la población del planeta prevista para entonces). Hoy en día su población consume únicamente el 3% de la electricidad mundial. A pesar de la pobreza imperante, se constata un notable crecimiento económico conexas a un mayor incremento de la demanda energética. Fuentes de energía como la originada por el viento servirán para paliar en el futuro la escasez de recursos energéticos endógenos.

- **Egipto y Marruecos:** Los países del norte de África han mostrado un especial interés por la promoción de la energía eólica. Algunos han presentado ya planes de desarrollo, pero éstos no han cuajado todavía. Egipto es el primero en el ranking eólico africano con 145 MW en 2004, seguido de Marruecos, con 55 MW.



1.2 EN ESPAÑA

Con unos 400 parques eólicos y casi 11.500 aerogeneradores, España concluyó el año 2004 como el segundo país del mundo con más potencia eólica acumulada (8.155 MW) y como el segundo en donde más creció esta fuente de energía: uno de cada cuatro megavatios nuevos en el mundo se instalaron en suelo español. Ese mismo año, la energía puesta en la red comercial por los aerogeneradores fue de 16.000 GWh, el 6,5% del consumo neto nacional.



La fórmula de este espectacular desarrollo no es ningún secreto: un apoyo continuado de todos los Gobiernos mediante la aprobación de una legislación estatal favorable (como la Ley 82/80 de Conservación de la Energía o la Ley 54/97 del Sector Eléctrico), el despegue de la industria nacional de aerogeneradores (Gamesa y Ecotècnia terminaron el año en segunda y novena posición en el ranking mundial) y la atracción ejercida sobre los inversores de gran capacidad financiera. Eso y la apuesta decidida de distintas comunidades autónomas que han confiado en esta tecnología para suministrar una parte de su demanda eléctrica. El resultado es que hoy hay cuatro comunidades por encima de los 1.000 MW instalados: Galicia (1.830), Castilla y León (1.543), Castilla-La Mancha (1.534) y Aragón (1.154). Juntas representan las tres cuartas partes de la potencia eólica que opera en España y siguen autorizando nuevos proyectos, a la vez que amplían y mejoran sus redes eléctricas. La siguiente en potencia eólica es Navarra (854), la región con más porcentaje de energías renovables, donde el Gobierno regional mantiene

una política singular: no permite construir más parques eólicos, pero apoya el desarrollo de aerogeneradores más potentes y eficientes, con los que se están reemplazando los más antiguos e incrementando la potencia total de una forma apreciable, sin aumentar el impacto visual.

Comunidades como La Rioja (356) o Andalucía (350) superan a países como Irlanda, Noruega o Bélgica, lo que resulta especialmente llamativo en una comunidad del tamaño de La Rioja. En Asturias (145) y Canarias (139) la energía eólica tiene un peso apreciable, pero todavía se está lejos de sus objetivos.

Por debajo de los 100 MW están Cataluña (94), País Vasco (85), Murcia (49), Comunidad Valenciana (21) y Baleares (3), donde se dan los primeros pasos en la implantación de los aerogeneradores. Y, finalmente, quedan Madrid, Extremadura y Cantabria, que son las únicas comunidades que en 2004 tenían todavía su cuenta de megavatios a cero. Aunque no debería ser así por mucho tiempo, habida cuenta de las iniciativas existentes para implantar los primeros parques eólicos.



España concluyó el año 2004 como el segundo país del mundo con mayor potencia eólica acumulada

A sunset background with a purple number 2 in the top left corner.

2

Tecnología



2

Tecnología

2.1 EL VIENTO

Cómo se forma el viento

Si se colocan seis aerogeneradores imaginarios de última tecnología (1,5 MW de potencia y 77 metros de diámetro de rotor) en cada kilómetro cuadrado de las áreas terrestres con los mejores vientos del planeta, la potencia eléctrica que se obtendría sería de 72 teravatios (TW)², que son 72 billones de vatios, y podría reemplazar 54.000 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep). Es decir: el aprovechamiento del viento cubriría diez veces el consumo de electricidad mundial del año 2002 (14.700 TWh)³. Para ello, habría que colocar nada menos que 48 millones de turbinas, en un espacio de 8 millones de km², una extensión equivalente a

² *Evaluation of global wind power. C.L. Archer y M.Z. Jacobson. Stanford University. 2005.*

³ *Key World Energy Statistics 2004. International Energy Agency. 2005.*

16 veces España, si bien el terreno realmente afectado por infraestructuras eólicas no superaría los 250.000 km²: 0,0005 veces toda la superficie del planeta. Este es un mero ejercicio teórico, pero sirve para hacerse una idea de los enormes recursos eólicos disponibles sobre la Tierra. Para conseguir aprovechar la mayor parte posible de ellos, resulta esencial entender el comportamiento de ese fluido transparente, incoloro e inodoro, que se mueve paralelamente a la superficie terrestre: el viento.

En realidad, y una vez más, la existencia del viento en el planeta es consecuencia de la acción del Sol, pues es la radiación de esta estrella, en combinación con otros factores como la inclinación y

el desplazamiento de la Tierra en el Espacio o la distribución de los continentes y los océanos, lo que activa la circulación de las masas de aire en el globo al calentar de forma desigual las distintas zonas de la superficie y de la atmósfera terrestres. El aire que más se calienta se vuelve más ligero (al agitarse sus moléculas y perder densidad) y se desplaza hacia arriba, siendo ocupado su lugar por masas más frías.

¿Qué es el aire?

Un litro de aire pesa 1,225 gramos. A nivel del mar, y excluidos el contenido en agua (y otros productos en suspensión como materia orgánica o partículas contaminantes), su composición es la siguiente:

78,08%	Nitrógeno (N ₂)
20,95%	Oxígeno (O ₂)
0,93%	Argón (Ar)
0,03%	Dióxido de carbono (CO ₂)
0,01%	Neón (Ne), helio (He), metano (CH ₄), kriptón (Kr), hidrógeno (H ₂), dióxido de nitrógeno (NO ₂), xenón (Xe), ozono (O ₃)...

A gran escala, existe una serie de corrientes de viento dominantes que circulan por todo el planeta en capas de la estratosfera. Estos vientos globales se rigen por los cambios de

temperatura y de presión atmosférica, pero también por otros factores, como la fuerza de Coriolis, que hace que, visto desde el Espacio, el viento del hemisferio norte tienda a girar en el sentido de las agujas del reloj cuando se acerca a un área de bajas presiones y el del hemisferio sur lo haga en dirección opuesta.

Por otro lado, cerca de la superficie terrestre, a nivel local, soplan otros vientos más específicos caracterizados por el relieve del terreno y otras variables como la rugosidad o la altura.

- **Rugosidad:** Una superficie muy rugosa como un bosque o una aglomeración de casas causará turbulencias y frenará el viento, mientras que otra muy lisa como el mar o las pistas de un aeropuerto favorecerá el desplazamiento del aire.
- **Altura:** Si el terreno es rugoso, se necesitarán aerogeneradores de mayor altura para alcanzar la misma velocidad de viento que en otros emplazamientos más lisos.

El aumento de la velocidad del viento en función de la altura, en terrenos no demasiado complejos, puede evaluarse mediante la siguiente expresión:

$$V(h) = V_o * (h/h_o)^\alpha$$

$V(h)$ = Velocidad del viento que se desea estimar, a la altura h del suelo

V_o = Velocidad del viento conocida a una altura h_o

h = Altura a la que se quiere estimar la velocidad del viento

h_o = Altura de referencia

α = Valor que depende de la rugosidad existente en el emplazamiento (ver cuadro)

Estimación del valor α para distintos terrenos

Tipo de terreno	α
Liso (mar, arena, nieve)	0,10-0,13
Rugosidad moderada (hierba, cultivos)	0,13-0,20
Rugoso (bosques, edificaciones)	0,20-0,27
Muy rugoso (ciudades)	0,27-0,40

Para conocer el viento que hará en un punto determinado se deben analizar tanto los vientos globales como los locales. A veces serán los primeros los que predominen sobre los segundos, y otras, al revés.

Los dos valores clave para analizar el viento son su velocidad (medida con un anemómetro) y su dirección (medida con una veleta). No todo el viento sirve para generar energía. Por lo general, para que las palas de un aerogenerador giren se necesitan vientos moderados por encima de los 4 m/s y por debajo de los 25. No obstante, cada máquina está diseñada para una determinada velocidad de viento, a partir de la cual generalmente se conseguirá la máxima potencia.

Cuánta energía contiene el viento

Aproximadamente el 2% de la energía que llega del sol se transforma en energía cinética de los vientos atmosféricos. El 35% de esta energía se disipa en la capa atmosférica a tan solo un kilómetro por encima del suelo. Del resto se estima que por su aleatoriedad y dispersión solo podría ser utilizada 1/13 parte, cantidad que hubiera sido suficiente para abastecer 10 veces el consumo de energía primaria mundial del año 2002 (10.000 Mtep), de ahí su enorme potencial e interés.

La masa de aire en movimiento es energía cinética que puede ser transformada en energía eléctrica. Al incidir el viento sobre las palas de una aeroturbina se produce un trabajo mecánico de rotación que mueve a su vez un generador para producir electricidad. La cantidad de energía que contiene el viento antes de pasar por un rotor en movimiento depende de tres parámetros: la velocidad del viento incidente, la densidad del aire y el área barrida por el rotor.

La velocidad a la que el aire pase por las palas resulta determinante, pues la energía cinética del viento aumenta proporcionalmente al cubo de la velocidad a la que se mueve. Por ejemplo: si la velocidad se duplica, la energía será ocho veces mayor (2^3).



En cuanto a la densidad, la energía contenida en el viento aumenta de forma proporcional a la masa por unidad de volumen de aire, que en condiciones normales (a nivel del mar, a una presión atmosférica de 1.013 milibares y a una temperatura de 15 °C) es de 1,225 kilogramos por cada metro cúbico. Esto quiere decir que, cuando el aire se enfríe y aumente de peso al volverse más denso, transferirá más energía al aerogenerador. Y, al contrario, cuando el aire se caliente o cuando se asciende en altitud, será menor la energía cinética que llegue a la turbina.

En lo que respecta al área barrida, cuanto más aire en movimiento sea capaz de capturar un aerogenerador más energía cinética encontrará. En el caso de un rotor de una turbina de 1.000 kW de potencia nominal, el rotor puede tener un diámetro de unos 54 metros, así que barrerá una superficie de unos 2.300 m².

La energía cinética contenida en el viento es muy grande. Sin embargo, no puede ser extraída toda por los aerogeneradores. Primero porque esto implicaría detener por completo el viento, lo que impediría que éste pasara de forma continua a través de las palas de la turbina; de hecho, y según el *Límite de Betz*, puede teóricamente obtenerse, como máximo, el 59% de la energía que llega al rotor. Y segundo, porque también se pierde parte en el proceso de transformación de la energía en la máquina. Al final, hoy en día, un aerogenerador aprovecha cerca del 40% de la energía almacenada en el viento. Un porcentaje muy alto, pues supone extraer la gran mayoría una vez aplicado el *Límite de Betz*.

Aproximadamente el 2% de la energía que llega del sol se transforma en energía cinética

- Para cuantificar la cantidad de energía contenida en el viento antes de pasar a través de un rotor se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = 1/2 \rho S V^3$$



P = potencia en vatios (W)

ρ = densidad del aire en kg/m³

S = superficie o área barrida por el rotor en m²

V = velocidad del viento en m/s



Modelos meteorológicos para predecir el viento

El principal inconveniente a la hora de producir energía a partir del viento es que éste no es un recurso del que se pueda disponer de forma constante. Igual aparece que desaparece. Esto resulta especialmente problemático para gestionar la oferta de energía dentro de la red general de suministro, en especial cuando los parques eólicos superan ya los 9.000 MW de potencia. Por este motivo, el Real Decreto 436/04 introdujo una gran novedad en el sector eólico español, y es la obligación de predecir con antelación cuánta energía se va a producir para poder participar en el mercado energético (una obligación que se extenderá también a las instalaciones que permanezcan en tarifa regulada en enero de 2007 y tengan más de 10 MW de potencia).

Esto está forzando a poner a punto sistemas de predicción meteorológicos que ayuden a estimar con la mayor precisión posible el viento que soplará en cada zona. Y, dentro de este proceso, resulta especialmente interesante el Ejercicio de Predicción, pionero en el mundo, puesto en marcha a mediados de 2004 por la Asociación Empresarial Eólica (AEE) en España. Este ejercicio, que también cuenta con la participación del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), consiste en analizar el estado actual del arte de la predicción eólica (niveles de resultados alcanzables, detección de variables con más trascendencia en los resultados, influencia del tipo de modelo de predicción seleccionado, importancia de la cuenca eólica considerada, influencia del tamaño y características del parque y de los aerogeneradores, etc.), además de detectar fuentes de mejora de los modelos y del propio intercambio de información entre los parques eólicos y los modelos de predicción.

Para ello, se cuenta con seis modelos de predicción (de las empresas Meteorológica, Meteotemp, CENER, Casandra, Garrad & Hassan y Meteosim), a los que posteriormente se

añadieron otros dos (Aleasoft y Aeolis), aplicados a siete parques del país (Páramo de Poza y Villacastín, en Castilla y León; Pena da Loba, en Galicia; El Pilar, en Aragón; Muela, en Castilla-La Mancha; Buenavista, en Andalucía; y Punta Gaviota, en Canarias). Además, para ello están contando con datos del Instituto Nacional de Meteorología (INM) para cuadrículas de $5 \times 5 \text{ km}^2$. El ejercicio todavía no ha terminado. No obstante, la AEE ha ofrecido ya algunos resultados:

- El promedio de error de producción hasta ahora entre la producción estimada y la real es muy variable según el parque del que se trate y del modelo que se utilice, rondando entre el 30% y el 60%, incluso superándose estos valores en algunos casos.
- Con el estado del arte actual, resulta muy difícil reducir el error de producción por debajo del 30%.
- Cuanto más baja es la producción de un parque, mayor es el porcentaje de error.
- No se ha encontrado una influencia apreciable de la complejidad del terreno. Quizá porque la dispersión de parques y el diseño del Ejercicio no permite detectar la influencia de este parámetro. En cualquier caso, sí se demuestra que otros parámetros influirían de manera más decisiva que la complejidad, tales como el Factor de Capacidad y la cuenca eólica donde se ubica el parque.

Paralelamente a este Ejercicio, se está llevando a cabo otro con un carácter más científico a nivel europeo: el proyecto ANEMOS, en el que participan 22 organizaciones de 7 países, 5 de ellas españolas, entre ellas el IDAE, financiado con cargo a fondos del extinto V Programa Marco de la UE, y se desarrolla un sistema de predicción eólico a gran escala para la integración en la red de la mayor parte de la potencia eólica *onshore* y *offshore* generada en la Unión Europea.



2.2 EL AEROGENERADOR

Cómo es un aerogenerador

La torre: Soporta la góndola y el rotor. Hoy en día suelen ser tubulares de acero. Las de celosía (perfiles de acero soldados) son más económicas, pero han dejado de usarse por estética y por ser más incómodas e inseguras para los trabajadores. En terrenos rugosos, las torres más altas captarán vientos de mayor velocidad.

Rotor: Conjunto formado por las palas y el buje que las une. Sirve para transformar la energía cinética del viento en energía mecánica. Cuanto mayor sea el área barrida del rotor mayor será la producción. Los rotores pueden ser de paso variable (que permiten girar sobre sí mismas a las palas) o de paso fijo (en el que no pueden girar). También puede ser de velocidad variable (cuando la velocidad de giro del rotor es variable) o constante.

Las palas: Las palas de un aerogenerador son muy similares a las alas de un avión. Hoy en día, la mayoría de las turbinas cuentan con tres palas. Y suelen ser de poliéster o epoxy reforzado con fibra de vidrio.



Góndola: En su interior contiene los diferentes dispositivos que van a transformar la energía mecánica del rotor en energía eléctrica. Además, en su exterior cuentan con un anemómetro y una veleta que facilitan información continua a todo el sistema para su control.

Multiplicador: Multiplica la velocidad de giro que llega del rotor para adaptarla a las necesidades del generador. El movimiento de giro de los aerogeneradores suele ser bastante

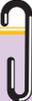
lento. El rotor de una turbina de 1.500 kW de potencia, por ejemplo, suele girar a una velocidad de entre 10 y 20 revoluciones por minuto (r.p.m.). El multiplicador aumentará esta velocidad hasta las 1.500 r.p.m.

Generador: Transforma la energía mecánica en energía eléctrica, tal y como hace la dinamo de una bicicleta, aunque generando normalmente corriente alterna. El alternador puede ser síncrono o asíncrono. El primero suministra una energía de mayor calidad, pero es más caro y complejo. Esta es la razón por la que el asíncrono es el más extendido de los dos.

Controlador electrónico: Un ordenador controla continuamente las condiciones de funcionamiento del aerogenerador mediante el análisis de las señales captadas por múltiples sensores que miden temperaturas, presiones, velocidad y dirección del viento, tensiones e intensidades eléctricas, vibraciones...

Sistemas hidráulicos: Elementos auxiliares que permiten el accionamiento del giro de las palas sobre su eje, así como el frenado del rotor o el giro y frenado de la góndola.

Sistema de orientación: Los aerogeneradores disponen de un sistema de orientación que, con ayuda de los datos recogidos por la veleta, coloca siempre el rotor de manera perpendicular al viento.



La potencia de los aerogeneradores

Es común utilizar la potencia nominal para clasificar un aerogenerador. Sin embargo, esto puede llevar a errores, sobre todo si se usa este parámetro para comparar turbinas, pues la potencia nominal representa la capacidad de generación máxima que puede suministrar cada máquina. Resulta mucho más correcto definir una turbina por su curva de potencia, que determina la potencia que proporciona para cada velocidad de viento. Si no se dispone de esta información, entonces es preferible utilizar el diámetro del rotor, más fiable para calcular la energía que puede generar. De hecho, para identificar cada modelo de aerogenerador se emplea una serie de letras y números, como G80 2.000 o V72 1.500, pertenecientes, en este orden, al nombre del fabricante (en este caso Gamesa o Vestas), el diámetro del rotor y su potencia nominal.

Tipos de turbinas eólicas

El aerogenerador de eje horizontal con rotor tripala a barlovento es hoy el modelo más utilizado para generar electricidad. Existen, sin embargo, variaciones en las turbinas.

Aerogenerador Darrieus: Si bien el rotor de los aerogeneradores más comunes gira sobre un eje horizontal, otros modelos lo hacen sobre un eje vertical, perpendicularmente al suelo. La máquina

más conocida de este tipo es la turbina Darrieus, que fue patentada por el ingeniero francés George Darrieus en 1931 y comercializada por la empresa estadounidense Flowind hasta su quiebra en 1997. El aerogenerador está compuesto por un eje vertical, en el que giran varias palas con forma de C. Algo similar a un batidor de huevos. Su ventaja principal es que no necesita ningún sistema de orientación que lo dirija hacia el viento. No obstante, es menos eficiente que un aerogenerador de eje horizontal, requiere ayuda para arrancar y recibe menos viento al estar pegado al suelo.

Aerogenerador monopala, bipala, tripala o multipala: Una, dos, tres o muchas palas. ¿Qué resulta más eficiente para extraer la energía del viento? Los primeros aerogeneradores tenían un gran número de palas, pero con los años se han reducido a tres. Este es el número menor de palas que proporciona mayor estabilidad. Es decir, el número que permite ahorrar más material y peso, sin complicar el sistema. Algunos modelos utilizan rotores bipala o monopala, que logran un ahorro todavía mayor, pero resultan menos eficientes y deben introducir sistemas de control más complicados para



mejorar la estabilidad. El multipala americano también sigue utilizándose, aunque solo para vientos moderados.

Aerogenerador con rotor a sotavento: Normalmente, las turbinas tienen el rotor a barlovento, es decir, delante de la góndola, para que no haya ningún elemento del aerogenerador que pueda frenar el viento o crear turbulencias. Sin embargo, existen también turbinas con rotor a sotavento, en las que las palas se encuentran en la parte trasera de la góndola. En máquinas pequeñas, este sistema puede ser interesante para que la carcasa de la góndola haga de veleta y oriente el aerogenerador en dirección al viento sin necesidad de otros dispositivos.



Clasificación de aerogeneradores de eje horizontal para producción eléctrica en función de su potencia

Denominación	P_N (kW)	R (m) ⁴	Aplicaciones
Muy baja ⁵	< 1	< 1	Embarcaciones, sistemas de comunicación, refugios de montaña, iluminación...
	1-10	1-3	Granjas, viviendas aisladas (sistemas EO-FV), bombeo...
Baja	10-100	3-9	Comunidades de vecinos, PYME's (sistemas mixtos EO-diésel), drenaje, tratamiento de aguas...
Media	100-1.000	9-27	Parques Eólicos (terreno complejo).
Alta	1.000-10.000	27-81	Parques Eólicos (terreno llano, mar adentro).
Muy alta	> 10.000	> 81	En fase de investigación y desarrollo, requieren nuevos diseños y materiales no convencionales. Suponen un salto tecnológico. No antes del año 2010.



⁴ Los valores de la dimensión característica radio de la circunferencia descrita por el rotor (R) son aproximados.

⁵ Esta clase se subdivide según la potencia nominal (P_N) en microaerogeneradores (< 1 kW) y miniaerogeneradores (1 < P_N < 10 kW).

Tecnología propia de aviones para el diseño de las palas

Las palas de un aerogenerador no son muy distintas de las alas de un avión. Y es que el diseño de una turbina le debe mucho a la tecnología aeronáutica, aunque luego haya sido adaptada de forma específica a las condiciones en las que trabajan estas máquinas. De hecho, los aerogeneradores modernos utilizan principios aerodinámicos procedentes de la aviación para mejorar la eficiencia de los rotores, como el de sustentación.

El principio de sustentación explica cómo el perfil especial de un ala provoca que el aire fluya más despacio por debajo del ala que por encima, lo que conlleva que el avión sea empujado hacia arriba y sostenido así por el aire. Esta sustentación depende principalmente del área expuesta al flujo del aire, la velocidad con la que incide y la inclinación del ángulo de ataque del ala. Si el área expuesta no es uniforme o el ala se inclina demasiado, entonces el aire deja de sostener el avión o el aerogenerador se frena.

Las aeroturbinas modernas usan la resistencia y la sustentación del viento no solo para extraer la máxima energía, sino también para controlar el funcionamiento de la máquina. Así, en los aerogeneradores de paso variable (en los que las palas pueden girar sobre sí mismas en el buje) basta colocar las palas en un ángulo en el que encuentren la fuerza suficiente para que comiencen a dar vueltas. Por el contrario, si el viento se vuelve demasiado fuerte, entonces se giran en sentido contrario y el rotor se irá frenando.



En el caso de las palas de paso fijo, cuyo anclaje al buje no permite moverlas, el diseño de la pala hace que, llegados a una velocidad de viento alta, sean los propios perfiles los que entren en pérdida, controlando aerodinámicamente la potencia de salida.



La turbina más grande del mundo: REpower 5 MW

Una torre tan alta como un edificio de 40 pisos, un rotor con un área barrida mayor que un campo de fútbol y una generación eléctrica con la que abastecer a cerca de 3.500 hogares españoles. Estas son las proporciones colosales del que, a día de hoy, es el aerogenerador más grande del mundo: el REpower 5 MW. De momento, sólo existe una de estas máquinas y es un prototipo instalado en Brunsbüttel (Alemania), en septiembre de 2004, que ya vierte energía a la red eléctrica. Está diseñada especialmente para parques eólicos marinos y constituye el límite tecnológico al que han llegado hasta ahora los ingenieros. Fabricada por la empresa alemana REpower, esta turbina instalada en tierra tiene una torre de 120 metros de alto y un rotor de 126 metros de diámetro, que gira a una velocidad de entre 7 y 12 revoluciones por minuto. Una de sus particularidades más interesantes son sus palas, fabricadas por LM, pues si bien son las más grandes del mundo con una longitud de 61,5 metros, los materiales con los que están fabricadas a base de fibra de vidrio y de carbono con resinas sintéticas logran que cada unidad pese tan sólo 18 toneladas. El aerogenerador está equipado con un innovador sistema de generación de velocidad variable y con cambio de paso independiente en cada pala. La pregunta es: ¿hasta dónde más pueden crecer los aerogeneradores? Muchos técnicos piensan que a partir de los 5 MW resulta realmente difícil lograr la viabilidad económica de las máquinas. No obstante, otros consideran que éste es simplemente un nuevo desafío.

Los “molinos de viento” se vuelven gigantes

No hay nada que ejemplarice mejor el salto dado por la energía eólica en los últimos años como los cambios experimentados por los propios aerogeneradores. En sí, la tecnología básica no ha variado en gran medida desde aquellas primeras turbinas instaladas en España en los años ochenta. Sin embargo, los “molinos de viento” han ido aumentando constantemente de tamaño hasta convertirse en auténticos gigantes. Se ha pasado de pequeñas máquinas de unas pocas decenas de kilovatios a colosos de varios miles; es decir, se ha multiplicado la potencia por cien. De hecho, al

final de 2004, el tamaño medio de los nuevos aerogeneradores instalados en España superaba ya los 1.000 kW.

Esta revolución en el tamaño de las turbinas constituye todo un hito de la ingeniería y ha resultado decisivo para lograr el despegue de esta energía renovable. Primero, porque supuso multiplicar la potencia de los parques a la vez que se reducían los costes por cada kilovatio: con menos máquinas se podía generar más energía. Pero también porque ha permitido mejorar la eficiencia y la fiabilidad de las máquinas. La pieza clave, una vez más, está en el rotor de las turbinas. Para una misma potencia, pongamos 1.500 kW, la media europea del diámetro del rotor ha pasado de 65 metros en 1997, a 69 en 2000 y 74 en 2003. Esto ha significado tener que izar torres cada vez más altas y aumentar el gasto en materiales. Sin embargo, se ha visto compensado por el incremento de la producción de energía como consecuencia del aumento del área barrida y de la captación de mejores vientos a mayores alturas. ¿El resultado? A la vez que ha crecido el tamaño de los aerogeneradores, ha descendido el coste por kilovatio de potencia. Hoy en día, el coste de cada kilovatio instalado en un parque eólico en España es de unos 940 euros, cuando en 1990 era superior a 1.200. Y a esto hay que sumar una mayor profesionalización del sector y la drástica reducción de los gastos de operación y mantenimiento, que en los últimos diez años se han reducido prácticamente a la mitad.

Sin embargo, se percibe un cierto estancamiento en el crecimiento de la rentabilidad de las nuevas instalaciones por la



La evaluación económica de un parque eólico es un camino largo y complejo

Aunque sea como una aproximación, la obtención de una velocidad media anual del viento en m/s (V) sí que permite realizar una estimación de la producción neta de electricidad en kWh/año (E) para un único aerogenerador, considerado como representativo del conjunto del parque, tomando como referencia el diámetro del rotor en m (D):

$$E \approx [2 - (V-7)/4] D^2 V^3$$

Esta fórmula aproximada es válida para aerogeneradores convencionales de paso y velocidad variable, situados a una altitud de entre 0 y 1.500 metros sobre el nivel del mar, sometidos a un viento que sigue una distribución de Weibull con un factor de forma cercano a 2. La relación es útil para velocidades medias de viento comprendidas entre 7 y 10 m/s si la relación Área barrida / Potencia nominal (S/P_N) se acerca a 2,5; mientras que cuando la relación S/P_N es cercana a 3 las velocidades se hallan entre 6 y 8 m/s. En la expresión están implícitamente consideradas todo tipo de pérdidas, mediante un coeficiente global de corrección del 85%: indisponibilidad técnica, pérdidas electromagnéticas (incluidos los autoconsumos de la instalación), pérdidas por estela provocadas por el resto de aerogeneradores, estado de conservación de las palas y envejecimiento de los equipos, indisponibilidad por causas ajenas a la instalación (mantenimiento de la red eléctrica de evacuación y gestión técnica del sistema), operatividad de la turbina (estrategias de control, rearranques...) y ajuste de la curva de potencia del aerogenerador al emplazamiento. La energía así calculada no varía generalmente más de un 10% respecto a la que se obtiene en la realidad.

paulatina desaparición de los enclaves con vientos de mayor intensidad aún no ocupados en el país. Aunque la aparición de aerogeneradores de mayor tamaño y eficiencia supone también aprovechar mejor el territorio disponible (y reducir el impacto paisajístico) y abre la posibilidad de ir renovando los parques mediante la sustitución de las turbinas antiguas por otras modernas. Un método conocido en inglés como “*repowering*”, que se abre paso ya en Alemania o en Dinamarca.

2.3 EL PARQUE EÓLICO

Evaluación económica

Desde que un promotor se lanza a la construcción de un parque eólico hasta que los aerogeneradores instalados empiezan a verter energía en la red eléctrica suelen pasar más de cinco años. En ese tiempo, habrá sido necesario realizar evaluaciones de viento, analizar la viabilidad económica, redactar el proyecto y el estudio de impacto ambiental, negociar el alquiler de los terrenos, resolver la evacuación eléctrica, conseguir financiación, lograr todos los permisos administrativos, abrir vías de acceso, cerrar los contratos de compra-venta de la energía, trasladar las piezas, montar los aerogeneradores, probar los equipos... Se trata sin duda de un largo y arduo camino. Y, además, caro, pues una instalación requiere una inversión de decenas o cientos de millones de euros que ha de amortizarse a largo plazo. Por ello, solo se emprenderá el proyecto si al principio del todo se comprueba que es viable ambiental y económicamente. Y esto depende, antes que nada, de los vientos que soplen en el lugar seleccionado, de ahí la importancia de contar con evaluaciones rigurosas. Un error del 10% en la estimación de la velocidad media puede llegar a suponer desvíos del 30% en la producción de energía.

Existen simulaciones numéricas, basadas en modelos físico-estadísticos, como las que proporciona el programa informático WASP (*Wind Atlas Analysis and Application Program*) con las



que se pueden calcular distribuciones espaciales de la velocidad del viento y la producción de energía esperada a largo plazo en un determinado emplazamiento. Mediante la hábil combinación en el ordenador de la descripción detallada del terreno y datos eólicos reales, adquiridos durante períodos de tiempo significativos, validados por estaciones meteorológicas de referencia cercanas, se obtiene el atlas eólico local. Este atlas será el que se utilice, junto con las características de los aerogeneradores seleccionados (curva de potencia y empuje) para calcular la producción energética de cada *lay-out* (distribución de aerogeneradores) propuesto.

Resulta interesante medir las características del viento a la altura a la que vaya a situarse el buje de los aerogeneradores y, cuando la zona sea grande o accidentada, simultáneamente en varios puntos del emplazamiento. Y no vale sólo con una velocidad media, que no deja de ser un promedio de los vientos más rápidos y más lentos, y que no describe realmente la distribución estadística de la velocidad del viento. De hecho, puede llevar a sobreestimar o subestimar los recursos, pues puede ocurrir que vientos rápidos pero escasos, aporten mucha más energía que otros lentos muy abundantes (no hay que olvidar que la energía del viento aumenta con el cubo de la velocidad).

El siguiente paso tras evaluar de forma rigurosa la velocidad del viento y estimar la producción de energía previsible es analizar la viabilidad económica del proyecto. Para valorar el proyecto se debe tener en cuenta la inversión necesaria para promover, construir y poner en

marcha la planta, los costes de explotación a lo largo de la vida operativa de la misma y la previsión de la evolución en el tiempo del precio percibido por cada kilovatio-hora puesto en red. Con estos datos y aplicando la tasa impositiva correspondiente será suficiente para calcular el beneficio neto estimado anualmente y, añadiendo la amortización, los flujos de caja, para calcular *ex ante* la rentabilidad económica del proyecto. Y, por tanto, la decisión de seguir adelante o no con la inversión.



De acuerdo con datos facilitados por los propietarios de los parques eólicos a las comunidades autónomas, transmitidos y corroborados por la experiencia de IDAE mediante la participación en numerosos proyectos, la inversión total, llevada al “momento cero”, es decir, cuando inicia su operación comercial, para un parque tipo en el año 2005 se establece en 940 €/MW (IVA no incluido).

Las características del parque tipo son:

- Potencia nominal: 25 MW
- Potencia unitaria máquina: 1.250 kW
- Diámetro rotor / Altura buje: 65 m/60 m
- Orografía y accesibilidad: Normal
- Línea de evacuación: 10 km/132 kV

El desglose porcentual del coste de la inversión es el siguiente:

- Aerogeneradores: 74%
- Equipamiento Eléctrico: 17%
- Obra Civil: 5%
- Varios: 4%

En la partida Equipamiento Eléctrico se incluyen los transformadores de BT/MT que normalmente se encuentran instalados dentro del aerogenerador. Igualmente, se ha considerado un capítulo que tiene en cuenta la participación de la Propiedad del parque en la financiación de la ejecución de nuevas líneas de distribución/transporte o en la remodelación y repotenciación de las ya existentes, incluso alejadas del parque eólico en cuestión, pero necesarias para permitir su evacuación.





Se supone que el suministro se realiza “llave en mano”, donde un único Contratista asume solidariamente ante la Propiedad y las entidades financieras el riesgo de ejecución y puesta en marcha de la totalidad del proyecto hasta la Recepción Provisional. Bajo esta modalidad de suministro la Propiedad se inhibe en buena parte del proyecto durante la fase de ejecución. El Contratista se hace cargo de todo lo necesario para poner en operación la planta, responsabilizándose del Suministro, Ingeniería, Construcción, Transporte, Instalación, Pruebas, Puesta en Marcha, Ensayos de Funcionamiento, Dirección del Proyecto, Seguridad y Salud, Control de Calidad, Seguros, Vigilancia, etc. Por su parte, la Propiedad contrata al Director Facultativo y al Coordinador de Seguridad y Salud para asegurarse de la buena marcha del proyecto, así como la Asistencia Técnica externa durante la fase de construcción. El gasto que conllevan estos tres conceptos se incluye en el apartado Varios, junto con los gastos de promoción del proyecto enumerados más adelante.

Si se contrata el suministro por partidas el coste total muy probablemente sería menor, aunque en este caso la Propiedad tendría que supervisar y controlar rigurosamente el desarrollo del proyecto para evitar desviaciones y errores en la planificación que incrementarían fácilmente el coste de la instalación.

Los intereses intercalarios, abonados por la Propiedad para la financiación del proyecto mediante la contratación de una póliza de crédito puente durante la fase de construcción, es decir, desde la firma del contrato “llave en mano” hasta su puesta en marcha, así como los intereses inherentes al préstamo a corto plazo otorgado por las entidades financieras para la financiación del IVA de la inversión, que se recuperará después, se estiman en un coste efectivo del 2,5% de la totalidad del proyecto, y están incluidos capitalizados proporcionalmente en los apartados Aerogeneradores, Equipamiento Eléctrico y Obra Civil.

El apartado Varios se financia normalmente con recursos propios e incluye los gastos realizados en la promoción del proyecto: evaluación y validación de los recursos eólicos, realización

de estudios de impacto ambiental y arqueológico, elaboración de documentación y proyectos de ejecución, tramitación, relaciones con la administración, particulares y compañía eléctrica, gestión de compras (elaboración de especificaciones técnicas, petición y adjudicación de ofertas, contratación, etc.), obtención de licencias y permisos, gestión integral del proyecto, contratación de asesores técnicos, legales, de seguros, financieros, etc.

Los gastos de explotación han sufrido una importante disminución durante los últimos años, al tiempo que mejoraba la fiabilidad y disponibilidad de los equipos. En total representan en media aproximadamente el 22% de la facturación anual del parque (1,5 c€/kWh sobre unos ingresos, considerando tarifa regulada, de 6,9 c€/kWh para 2005), y pueden desglosarse porcentualmente:

- | | |
|-----------------------------|-----|
| • Operación y Mantenimiento | 57% |
| • Alquiler de terrenos | 16% |
| • Seguros e Impuestos | 14% |
| • Gestión y Administración | 13% |

Las cifras expuestas representan los valores medios a lo largo de la vida operativa de la instalación, estimada en 20 años. Ha sido considerada una garantía inicial ofertada por el fabricante (o por el suministrador de la instalación completa) de dos años, período durante el cual los gastos de O&M son nulos o muy pequeños (solo se facturan los consumibles, el correctivo está cubierto por la garantía) y son realizados por el Contratista.

La partida de O&M puede desglosarse a su vez en:

- | | |
|--------------------------|-----|
| • Aerogeneradores | 87% |
| • Resto de instalaciones | 13% |

Cada uno de estos epígrafes se divide a su vez en gastos de personal, repuestos y consumibles.





Rentabilidad del proyecto

La hipótesis realizada para el cálculo de la rentabilidad del proyecto (sin financiación) para el parque tipo, con una producción media de 2.350 horas anuales equivalentes, en relación con los gastos de explotación es que evolucionarán de acuerdo con el IPC previsto (2,5%), en consecuencia no variarán en términos reales a lo largo de su vida.

En cuanto a los ingresos por venta de energía eléctrica se ha elegido la opción tarifa regulada siguiendo una evolución, durante los 20 años de vida útil de la instalación, estimada en un incremento medio anual del 1,4%.

Con los datos anteriores se obtiene una tasa interna de rendimiento (TIR) del proyecto, sin financiación, en moneda corriente, después de impuestos superior al 7% y sin riesgo regulatorio.

Sensibilidad económico-financiera

Finalmente, si se considera la financiación y se realiza un análisis de sensibilidad con las diferentes variables del proyecto se muestra que desde el punto de vista económico-financiero es:

- Extremadamente sensible al precio de venta del kWh producido.
- Muy sensible a la producción y a la relación Fondos Propios/Fondos Ajenos a Largo Plazo.
- Sensible a la inversión, a los gastos de explotación, al tipo de interés del préstamo y a la duración del mismo.
- Menos sensible a la inflación (si no se supera el 4%) y al período de amortización fiscal (atendiendo a lo que marca la legislación vigente).

Composición y diseño del parque

El diseño de cada parque va a depender de las condiciones del viento, de la tecnología empleada y del proyecto específico realizado por el promotor, junto con las condiciones impuestas por los órganos implicados en su aprobación, fundamentalmente de carácter ambiental y urbanístico. No obstante, toda instalación de estas características debe contar con los siguientes elementos:

Terrenos

Los terrenos sobre los que se asientan los parques eólicos suelen ser propiedad de municipios o particulares a los que se alquila (el alquiler en promedio ronda el 3,5% del valor de la energía producida, aunque los límites oscilan mucho, entre el 1% y el 15% —en algunas zonas de las Islas Canarias—, dependiendo fundamentalmente del potencial eólico y de la voluntad negociadora de las partes). Este alquiler está ayudando muy positivamente a promocionar la energía eólica en las poblaciones rurales. Por otro lado, unas de las virtudes de esta fuente de energía es que la instalación de los aerogeneradores no impide que se siga aprovechando los terrenos para otros usos, como campos agrícolas o pastos.

Aerogeneradores

Para sacar el máximo rendimiento a los recursos eólicos, los aerogeneradores deben alinearse de forma perpendicular a la dirección predominante de los vientos que proporcionen mayor generación eléctrica. En cuanto a la separación entre máquinas, ésta dependerá del diámetro de los rotores, la disponibilidad de terreno y la dirección de los vientos dominantes. Generalmente se superan los 2,5 diámetros del rotor para aerogeneradores situados en una misma hilera y los 7,5 diámetros para aerogeneradores de hileras paralelas. En la fase de construcción debe tenerse en cuenta también el tamaño cada vez mayor de las aeroturbinas y la necesidad de accesos amplios por los



que entren los remolques con las piezas y las grúas de montaje para elevar góndolas con pesos del orden de las 100 toneladas (y en un futuro próximo superiores).

Infraestructura eléctrica

Un parque eólico requiere toda una infraestructura eléctrica para recoger la energía de los aerogeneradores (normalmente a 690 voltios de tensión) y llevarla hasta la línea de distribución de la compañía eléctrica más adecuada o hasta las grandes líneas de transporte de REE (de hasta 400.000 V). En instalaciones de poca potencia la evacuación se realiza a la tensión de generación de los aerogeneradores hasta un transformador que eleva la tensión hasta la existente en el punto de conexión, siendo las pérdidas eléctricas importantes. En grandes instalaciones, en cambio, se suelen agrupar por sectores los aerogeneradores, existiendo distintos transformadores. En estos casos se necesitan líneas de media tensión aéreas, de unos 30.000 V, que van



desde los transformadores hasta una subestación central del parque, donde se eleva la tensión hasta alcanzar la de la distribución general de la compañía eléctrica. Con el objeto de reducir el impacto visual que ocasionan en el paisaje los centros de transformación dispersos por el parque es habitual que los aerogeneradores incorporen en su interior el transformador elevador de baja a media tensión -BT/MT- (disminuyéndose las pérdidas eléctricas pero incrementándose el coste de la inversión) y mediante líneas subterráneas llevar la energía producida hasta la subestación central del parque eólico.

Infraestructura de control

Aunque un parque eólico está hoy totalmente automatizado y no requiere la intervención humana para funcionar, a partir de cierto tamaño estas instalaciones cuentan con un centro de control que recibe y analiza todos los datos de funcionamiento y ambientales registrados por los aerogeneradores. De este modo, un operador puede seguir en su pantalla de ordenador todos los pormenores del parque o detectar cualquier incidencia, lo que resulta muy útil para optimizar su operación. Los valores captados sirven también para generar bases de datos históricas del funcionamiento del parque, que son fundamentales para implementar y poner a punto el programa de mantenimiento predictivo de la instalación.

Otras dependencias

La instalación suele contar además con algún almacén donde guardar repuestos, consumibles y herramientas y donde acumular el aceite usado de los aerogeneradores. Este es el residuo más importante generado por una instalación, ya que cada 18 meses se debe renovar el aceite de las máquinas.



Un operador puede seguir en su pantalla todos los pormenores del parque eólico, detectando en el acto cualquier incidencia



3

La energía eólica en el mar



3

La energía eólica en el mar

3.1 LOS RECURSOS EÓLICOS EN EL MAR

Con cerca de 600 MW acumulados al finalizar el año 2004, los parques eólicos marinos representan todavía una proporción pequeña de la potencia instalada en el mundo. No obstante, la industria eólica europea es consciente de que estas instalaciones marinas constituyen uno de los grandes desafíos actuales y una de las áreas con más proyección de futuro. Se han llevado a cabo diversos estudios para evaluar los recursos eólicos de los mares europeos: algunos estiman en unos 3.000 TWh/año⁶ la cantidad de energía que se podría extraer, y de ellos, 140 TWh/año en España. Otros rebajan este cálculo a alrededor de 500 TWh/año⁷ en el continente y 7 TWh/año en España, lo que sigue siendo un valor apreciable. En cualquier caso, el dato que mejor refleja el potencial de esta tecnología es que en la actualidad son ya más

⁶ Garrad Hassan; Germanischer Lloyd; Windtest (1995).

⁷ Concerted Action on Offshore Wind Energy in Europe. Delft University et al. 2001.

de 20.000 los megavatios propuestos en los mares del norte de Europa. Greenpeace⁸, por su parte, estima que podría satisfacerse un 23% de la demanda eléctrica prevista en la UE-15 para el año 2020 si para entonces se tienen instalados en las costas 240 GW (720 TWh/año).

¿Por qué en el mar? Las condiciones especiales del medio marino suponen importantes ventajas para el aprovechamiento de la energía eólica:



- En el mar la rugosidad superficial es muy baja en comparación con el medio terrestre y no existen obstáculos que puedan reducir la velocidad del viento. Esto favorece la circulación del viento a mayores velocidades y hace innecesario el tener que subir la altura de la torre más de lo que obligue la suma del semidiámetro del rotor y la altura máxima de la ola prevista. Por lo general, los vientos van ganando en velocidad al separarnos de la costa.
- El recurso eólico es mayor y menos turbulento que en localizaciones próximas en línea de costa sin accidentes geográficos. La existencia de menor turbulencia ambiental en el mar disminuye la fatiga a la cual se encuentra sometido un aerogenerador aislado, y aumenta su vida útil.
- Las áreas marinas disponen además de enormes espacios donde colocar aerogeneradores, lo que ofrece la posibilidad de instalar parques mucho más grandes que en tierra. El parque de Arklow Bank, en Irlanda, en el que participa la empresa española Acciona, tiene proyectado ampliarse a 520 MW, pero hay propuestas en Alemania y en Francia para crear instalaciones de más de 1.000 MW.
- La vastedad de este medio, unido a su lejanía con los núcleos de población, consigue reducir también el impacto visual sobre el paisaje.

⁸ Sea Wind Europe. Greenpeace. 2004

- Su ubicación lejos de lugares habitados permite suavizar las restricciones impuestas por las autoridades ambientales en relación con la emisión y propagación de ruido e incrementar la velocidad de punta de pala, con la correspondiente disminución de su peso y de las estructuras que las soportan, consiguiendo una reducción significativa del coste de fabricación del aerogenerador en su conjunto.

Sin embargo, no todo es tan sencillo; de ser así, habría hoy muchos más megavatios *offshore* en funcionamiento. Estas instalaciones marinas tienen también importantes desventajas respecto a las terrestres:

- La evaluación del recurso eólico en la Zona de Discontinuidad Costera (< 10 km) es más compleja y mucho más cara que en tierra.
- No existen infraestructuras eléctricas que conecten las áreas con mayores recursos eólicos en mitad del mar con los centros de consumo. La situación es semejante a lo experimentado por el sector del gas natural cuando descubrieron importantes yacimientos de este recurso en el Mar del Norte, antes de que hubiese gasoductos con los que poder trasladarlos al continente.
- Los costes de la cimentación y las redes eléctricas de estas instalaciones encarecen en gran medida la



La tecnología de energía eólica marina ha progresado considerablemente en los últimos años

tecnología *offshore*: si en tierra los aerogeneradores suponen del orden del 75% de la inversión total de un parque eólico, en el mar representan aproximadamente un 55%. Por su parte, el coste de la obra civil en un parque eólico marino tipo se estima en un 20% del total (frente al 5% en tierra firme) y el de las infraestructuras eléctricas en otro 20% (15% en tierra).

- Las limitaciones de acceso y las dificultades para trabajar en medio del mar en la fase de montaje y en el mantenimiento de la instalación.
- El aumento de los costes y dificultades de construcción, según el proyecto vaya alejándose de la costa o aumente la profundidad marina, siendo este último uno de los principales argumentos esgrimidos para justificar la nula penetración de la energía eólica marina en España (pues la mayoría de las aguas superan la profundidad máxima económicamente viable en la actualidad: 25 metros).
- Debido a la mayor propagación de las turbulencias por la baja rugosidad del mar, el efecto provocado por la propia estela de los aerogeneradores sobre el resto de las máquinas de un parque eólico es más importante en este medio que en tierra, lo que disminuye la vida útil de las turbinas. Para evitarlo, las máquinas requieren más separación entre ellas y esto implica un aumento de la inversión.



3.2 EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA MAR ADENTRO

A pesar de la lenta cadencia de implantación de las instalaciones *offshore*, lo cierto es que la tecnología de energía eólica marina sí que ha progresado de forma considerable en los últimos años. Los aerogeneradores han llegado hasta los 5 MW de potencia nominal y han incorporado mejoras para el

trabajo en el mar, como una mayor velocidad punta de pala (con palas más delgadas y menos pesadas) y un mayor equipamiento en las góndolas para mejorar el trabajo de mantenimiento (helipuertos).

Los avances conseguidos hasta la fecha están esperando para ser implementados en los grandes proyectos eólicos marinos. Los objetivos a conseguir para los nuevos desarrollos de grandes aerogeneradores marinos en cuanto a características técnicas son: 25 kg de peso de góndola más rotor (*top head mass*) por cada m^2 de área barrida y 50 kg por kW de potencia nominal.

Las mayores limitaciones de las máquinas son de tipo logístico: el traslado de las piezas y el montaje en alta mar. En cualquier caso, hoy el gran desafío de las instalaciones mar adentro sigue siendo reducir los costes de las cimentaciones, de las que existen distintas variantes: monopilotaje, trípode, de gravedad y flotante. Las de monopilotaje son las más utilizadas para aguas de profundidad media (hasta 25 metros), las de gravedad para profundidades pequeñas (de menos de 5 metros) y las de trípode para mayores profundidades (hasta 50 metros). Por su parte, las flotantes son todavía una incógnita, pero pueden ser la solución para aquellas zonas de aguas más profundas. Hasta la fecha todos los parques eólicos marinos instalados no superan los 20 metros de profundidad y su distancia a la costa es menor de 15 km.

Para disminuir al máximo las pérdidas electromagnéticas en los parques eólicos marinos debido a su gran tamaño y a las considerables distancias entre el lugar de generación y los puntos de





consumo, se está analizando la posibilidad de generar en continua y realizar el transporte a muy alta tensión tras la correspondiente transformación (HVDC o *High Voltage Direct Current*).

El primer parque eólico en el mar se construyó en 1991 en Dinamarca. Es el de Vindeby, en el Mar Báltico, una instalación de 4,95 MW, compuesta por once aerogeneradores Bonus (hoy Siemens) de 450 kW. Entonces, la inversión necesaria fue de 2.200 €/kW. Más de una década después, en 2002, se construyó también en este país uno de los mayores parques eólicos marinos de la actualidad, el de Horns Rev, que tiene 80 aerogeneradores Vestas de 2 MW que suman una potencia de 160 MW, y el coste había descendido a unos 1.700 €/kW, aunque la modificación temprana de las máquinas tras su instalación, por un defecto de diseño, implicó el desmontaje de la totalidad de los generadores y transformadores eléctricos para su reparación en tierra firme, incrementando la inversión de forma considerable, cuyo coste, asumido por Vestas, puso en un serio aprieto a esta compañía. La inversión sigue siendo mucho más alta que para una instalación en tierra, aunque con una tendencia decreciente.



Parques eólicos marinos en las costas españolas

A fecha de hoy no hay ningún parque eólico marino en aguas españolas. Y, a pesar de existir varios proyectos propuestos, en especial en las costas de Cádiz y del Delta del Ebro, éstos se están encontrando con muchos obstáculos. En el caso de Cádiz, la empresa EHN (hoy propiedad del grupo Acciona) presentó un proyecto para construir un parque (asociado a la acuicultura) de 273 aerogeneradores y 983 MW de potencia. Otra firma, Capital Energy, planteó instalar 540 MW. Y una filial de la empresa alemana Unweltkontor, que actualmente ha cedido los proyectos al grupo Elecnor, propuso cinco parques

marinos de 50 MW cada uno. Solo estos parques marinos suman 1.773 MW, más de cinco veces la potencia instalada a finales de 2004 en toda Andalucía en tierra firme. Sin embargo, estos proyectos han sido recibidos con mucho recelo por parte de las poblaciones locales, en especial los pescadores, que piensan que las grandes construcciones costeras pueden perjudicar a los recursos pesqueros o a la navegación y, por este motivo, se oponen frontalmente a ellas. Y esto a pesar de que los cálculos de los promotores reflejan que estas instalaciones supondrían más de 1.500 nuevos empleos en la comarca.

Al margen de estos intentos, lo cierto es que la extensión del litoral español, la localización geográfica de la Península Ibérica y los altos recursos eólicos aprovechables tierra adentro, posibilitan la existencia de fuertes corrientes aéreas sobre el mar. Sin embargo, la compleja orografía del fondo del mar, las fuertes corrientes marinas, las actividades turísticas, pesqueras y otros condicionantes, junto con la inexistencia de estudios eólicos detallados, imposibilita presentar cifras estimativas sobre el potencial técnicamente disponible. Aun así, se calcula que en alguno de los emplazamientos se superarían fácilmente las 3.000 horas anuales equivalentes.

La instalación de estos parques implica un aumento sustancial de la inversión inicial, estimada en aproximadamente un 50% para localizaciones ubicadas a 15 kilómetros de línea de costa con 15 metros de profundidad media, así como de los costes de operación y mantenimiento, en un porcentaje parecido, respecto a las instalaciones convencionales ubicadas en tierra. Además, requerirán un importante esfuerzo en las áreas de diseño, planificación, instalación y explotación, ya que el desarrollo de una tecnología propia en nuestro país necesita unos plazos prudenciales que permitan trasladar la experiencia adquirida en los parques convencionales, mediante la incorporación de las innovaciones pertinentes.





4

Otros usos y aplicaciones



4

Otros usos y aplicaciones

4.1 GENERACIÓN ELÉCTRICA A ESCALA “MINI”

Si bien los aerogeneradores se han vuelto cada vez más grandes, hay una variante de máquinas que se han negado a crecer. Son las turbinas de una potencia inferior a los 10 kW, una de las joyas de los defensores de la generación eléctrica a escala “mini”. Aunque la producción de energía de esta tecnología es limitada puede ser suficiente para cubrir pequeños consumos, y tiene un buen número de ventajas con respecto a la gran eólica:

- Puede suministrar electricidad en lugares aislados y alejados de la red eléctrica.
- Causa mucho menor impacto visual que las máquinas grandes.
- Genera la energía junto a los puntos de consumo, por lo que reduce las pérdidas.
- Es accesible a muchos usuarios, sin apenas necesitar obra civil, y su instalación es sencilla.
- Funciona con vientos moderados y no requiere estudios de viabilidad complicados.

En España, los pequeños aerogeneradores son sobre todo utilizados para el autoconsumo de edificaciones aisladas. Además, suelen ir acompañados de paneles solares fotovoltaicos formando parte de pequeños sistemas híbridos que, por medio de la combinación de la energía del sol y el viento, permiten garantizar el suministro eléctrico. Estos sistemas, bastante fiables, incluyen unas baterías donde se almacena la energía sobrante para cuando no haya viento ni sol.



Otra posibilidad consiste en utilizar estas máquinas para producir energía y verterla a la red eléctrica aunque su coste resulta prohibitivo, al igual que en las instalaciones de media potencia (entre 10 y 100 kW). Esta opción está muy poco desarrollada en España; sin embargo, esto podría cambiar con unas condiciones más favorables en la retribución de la venta de la electricidad, similares a las de la energía fotovoltaica.

Técnicamente, estas aeroturbinas tienen una estructura similar a las grandes, solo que su diseño es mucho más simple (sistemas de orientación pasivos, generadores eléctricos robustos de bajo mantenimiento, ausencia de multiplicadores...). Su sencillez de funcionamiento hace que estas pequeñas instalaciones puedan ser atendidas por los propios usuarios.

4.2 BOMBEO DE AGUA

Aparte de la generación eléctrica, la tecnología eólica puede tener otras importantes aplicaciones. Tal es el caso de la extracción de agua del subsuelo, para lo que resultan



El ejemplo de California

En la costa oeste de Estados Unidos, los californianos que estén meditando instalar un aerogenerador de pequeña potencia pueden entrar en Internet y consultar directamente los mapas de viento suministrados *online* por la Comisión de la Energía de California (CEC). El permiso para la instalación es sencillo y las normas están totalmente estandarizadas. Entre otros requisitos, la máquina debe contar con el certificado de la CEC, la altura de la torre tiene que cumplir los máximos establecidos por las ordenanzas municipales, en función de la superficie de la finca donde se instale, y ha de avisarse a los vecinos que vivan 100 metros alrededor. Luego se conecta a la red eléctrica y se coloca un contador especial que descontará los kilovatios-hora consumidos a los producidos. La energía generada de más al final de cada período será pagada al dueño del aerogenerador al mismo precio de venta al consumidor o a un porcentaje cercano.

especialmente interesantes los molinos multipala de bombeo, unas máquinas que no han cambiado prácticamente desde hace más de un siglo. Estas aerobombas, cuyo par de arranque es alto, funcionan bien con vientos flojos o medios, muy estables y poco racheados. Por lo general, cuentan con un número de palas entre 12 y 24, aunque pueden tener más, y su máximo rendimiento aerodinámico alcanza el 30% (50% del límite de Betz), manteniéndose dicho valor prácticamente constante desde el arranque hasta una velocidad de viento incidente de 12 m/s, en la que se alcanza la máxima potencia, para después disminuir rápidamente hasta la parada del molino a unos 20 m/s.

Este tipo de máquina presta servicios importantes en las regiones con velocidades medias anuales entre los 4 y los 5 m/s, aprovechando principalmente los vientos de velocidades comprendidas entre los 3 y los 7,5 m/s.



Las instalaciones de molinos multipala suelen emplearse en explotaciones agropecuarias aisladas cuyas necesidades de agua no sean elevadas, ya que su limitada potencia impide su aplicación con caudales grandes o a mucha profundidad. Un molino de 5 m de diámetro, especialmente indicado para captar caudales medios, a 7,5 m/s es capaz de impulsar 8.000 litros de agua por hora desde una profundidad de 50 metros.

El sistema de funcionamiento es muy sencillo: El molino comienza a trabajar a partir de vientos de 3 m/s y la rotación de la rueda multipala acciona solidariamente, a través de la biela y los vástagos, la bomba de pistón colocada en el fondo del pozo del que se quiere extraer el agua. La bomba cuenta con un pistón y un sistema de válvulas que van impulsando el agua por el interior de los tubos hasta que ésta sale finalmente a la superficie. Es común que la aerobomba se encuentre conectada a un depósito donde almacenar el agua. Si el viento aumentara su velocidad de golpe, un sistema automático frenaría la rueda para evitar daños.

Aunque esta es la tecnología más difundida existen otras posibilidades para bombear agua como los aerogeneradores con electrobomba sumergida o con accionamiento mecánico directo sobre una bomba de eje vertical o las aeroturbinas basculantes con accionamiento oleohidráulico.



4.3 HIDRÓGENO “VERDE”

El hidrógeno, la sustancia más abundante en la naturaleza, que almacena la mayor cantidad de energía por unidad de peso, puede ser el combustible que destrone al petróleo, pero tiene un inconveniente: no se encuentra libre. Para obtenerlo se requiere gran cantidad de energía. La energía eólica ya ha demostrado que puede generar tanta electricidad como se quiera, y sin contaminar, pero tiene también un inconveniente: como depende del viento no siempre produce la energía cuando se necesita. Ahora bien, ¿por qué no juntar estos dos elementos? Los expertos están de acuerdo en que la combinación del hidrógeno con las energías renovables puede representar

la revolución energética del siglo XXI: el “hidrógeno verde”. En el caso de la eólica, cuando haya viento se podría utilizar la electricidad generada por los aerogeneradores para extraer hidrógeno del agua mediante un proceso de electrólisis. Esto tendría una gran ventaja y es que se podría almacenar para utilizarlo como combustible cuando no hubiese viento y los aerogeneradores estuvieran parados. Además, la pila de combustible permite utilizar el hidrógeno para transformarlo en electricidad y con ella mover un coche o calentar e iluminar un hogar.

Sin embargo, en todo este proceso se ocasionan muchas pérdidas: la eficiencia termodinámica de la conversión de electricidad a hidrógeno mediante un electrolizador supera levemente el 50%. Producir hidrógeno a partir de agua (o de hidrocarburos) precisa de un aporte energético superior a la energía que queda “almacenada” en el hidrógeno. Además, hay que comprimirlo, almacenarlo, transportarlo y distribuirlo para volver a utilizarlo, ya sea mediante “combustión limpia” o generación eléctrica con una pila de combustible. En este último caso la eficiencia de conversión final puede incrementarse notablemente (hasta conseguir un 85%) si la pila forma parte de un sistema que combine eficazmente la producción conjunta de electricidad y calor útil (cogeneración) e incluso refrigeración (trigeneración).

Vemos pues que el hidrógeno se comporta como un “vector”, NO ES UNA FUENTE DE ENERGÍA sino un portador de la energía primaria contenida en el viento, y no parece lógico pensar que, hoy por hoy, para su obtención a gran escala se vaya a emplear la electricidad proveniente de la red por su alto coste de oportunidad, más habiendo métodos como el reformado del gas natural que cuesta menos de la mitad que el procedimiento electrolítico, aunque emitiendo dióxido de carbono.



Aunque de momento se trata de hipótesis de futuro, son muchas las empresas y los centros de investigación que tratan de poner a punto la pila de combustible y la tecnología necesaria para la obtención del hidrógeno a partir de energías limpias, como la eólica. Una posibilidad sería utilizar instalaciones eólicas marinas para la generación *in situ* del hidrógeno a partir del propio agua de mar (la salinidad mejora el proceso). De este modo se solucionarían los problemas de infraestructuras eléctricas de los parques marinos, pues en lugar de transportar la energía producida por los aerogeneradores a través de impactantes redes eléctricas, se podría trasladar almacenada en barcos una vez haya sido transformada en hidrógeno. O a través de las actuales redes de gasoductos, si se colocan los parques eólicos junto a estas infraestructuras.



4.4 DESALINIZACIÓN

El debate político en torno a la escasez de agua en España ha espoleado la investigación para el desarrollo de otra posible aplicación de la energía eólica: la desalinización. Mediante la aplicación del sistema de ósmosis inversa se puede actualmente desalar agua de mar con precios cercanos a los 60 céntimos de euro el metro cúbico⁹; sin embargo, las desalini-

zadoras no han resuelto todavía la cuestión del consumo eléctrico. Hoy las mejores plantas necesitan un mínimo de 4 kWh¹⁰ para desalar cada metro cúbico, una cantidad mucho menor que hace unos años, pero todavía demasiado alta en términos de contaminación y en emisiones de CO₂ para un uso masivo de esta tecnología si la electricidad procede de plantas de combustión convencionales. La llave para solucionar este problema, y por tanto buena parte también del de la escasez de agua, puede estar de nuevo en las energías renovables, y en concreto la eólica, pues la cantidad de electricidad consumida por estas instalaciones quedaría en un segundo plano si esta fuese generada de una forma “limpia”.

Aunque las desalinizadoras deben estar junto a la costa y cerca de los puntos de consumo para ser viables económicamente, en general las zonas del país donde suelen instalarse no tienen un elevado potencial eólico, excepto en el litoral canario y sur peninsular. Otra cuestión son los requisitos del suministro eléctrico para una desalinizadora por ósmosis inversa, pues estas instalaciones requieren mucha energía y que ésta sea constante, para hacer pasar el agua de mar a alta presión (unas 70 atmósferas) por las membranas que “filtran” el líquido. Y la constancia no es una de las virtudes de la energía eólica.

Los ingenieros han recogido el guante y son ya varios los proyectos dados a conocer que logran unir estas dos tecnologías. Unos combinan la energía eólica con los combustibles fósiles de forma que se vayan alternando según haya o no viento; otros proponen utilizar los aerogeneradores para bombear agua y almacenarla en altura, de manera que luego pueda aprovecharse en un salto hidráulico para generar electricidad de forma constante, como en la proyectada central hidroeólica de la isla de El Hierro; por último, también se ha planteado desalar el agua directamente en instalaciones mar adentro, con aerogeneradores que bombeen agua de mar a presión. Este sistema resolvería además la cuestión del impacto ambiental causado en las costas por el vertido hipersalino (salmuera) generado en la desalación.

Se ha planteado el desalar el agua directamente en instalaciones mar adentro

⁹ Aquí se tienen en cuenta todos los costes asociados a la producción: eléctricos, mantenimiento (sustitución regular de membranas, productos químicos, gestión, operación, autoconsumo de la planta...) y por supuesto la amortización de la planta.

¹⁰ Dicho consumo es el medio anual (el consumo varía en función de la temperatura del agua de mar; 2 °C de diferencia supone una variación importante del rendimiento) que se estima necesario por cada metro cúbico desalado, puesto en el depósito de almacenamiento a la altitud sobre el nivel del mar de la desalinizadora (en la costa, las que están en el mar) para la mejor tecnología disponible (con recuperación energética). El pretratamiento de las aguas que hay que realizar antes del proceso de ósmosis inversa consume del orden de 0,5 kWh/m³, porque no sólo se pretrata el agua que va a ser desalada, sino mucha más para evitar el ensuciamiento en las membranas y facilitar la sedimentación de las impurezas en el lecho marino antes de llegar al depósito de entrada.

Y no hay que olvidar que luego habría que sumar el consumo energético para bombear el agua hasta el punto de suministro.





5

Sostenibilidad y medio ambiente



5

Sostenibilidad y medio ambiente

5.1 ASPECTOS AMBIENTALES

Como el resto de energías renovables, la eólica es una fuente de electricidad “limpia”, inagotable y autóctona, lo cual representa importantes ventajas ambientales y socioeconómicas. Esto no quita que, como cualquier otro sistema de generación eléctrica, esta fuente de energía tenga impactos negativos sobre el medio ambiente. No obstante, hoy en día el balance resulta mucho más que positivo en comparación con las energías tradicionales que emplean combustibles fósiles o radiactivos. Proporcionalmente, y según un estudio¹¹ español basado en un sistema de “ecopuntos” en el que se valoraban los efectos ambientales sobre los medios atmosférico, hídrico y terrestre asociados a la generación de un kWh

¹¹ *Impactos ambientales de la producción eléctrica Análisis de Ciclo de Vida de ocho tecnologías de generación eléctrica. IDAE. 2000.*



desde el principio hasta el final del proceso que lleva a su obtención, producir un kilovatio-hora con aerogeneradores tiene un impacto ambiental:

- 4 veces menor que con gas natural
- 10 veces menor que con plantas nucleares
- 20 veces menor que con carbón o petróleo

Estos valores, excepción hecha de la generación fotovoltaica, serían indudablemente superiores si se tuvieran en cuenta otros efectos no considerados en el estudio, como la ocupación efectiva del territorio, el desmantelamiento de las instalaciones y la restitución de los terrenos a su estado original, la protección de la biodiversidad, la seguridad y salud laboral, el calor residual...

A diferencia de los sistemas de generación tradicionales, la energía eólica no genera residuos peligrosos radiactivos ni vierte a la atmósfera dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) o partículas sólidas. El SO_2 , el NO_x y los metales pesados son sustancias contaminantes con una importante incidencia en la salud de los ciudadanos y el medio ambiente, mientras que el CO_2 es uno de los principales gases de efecto invernadero causantes del calentamiento de la Tierra, cuya reducción y control es uno de los mayores desafíos actuales de la Humanidad.

Un parque eólico de 25 MW (potencia media de los instalados durante el año 2004 en España) que funcione 2.400 horas equivalentes evitará al año la emisión a la atmósfera de 57.600 toneladas de CO_2 , 495 toneladas de SO_2 , 135 toneladas de NO_x y 99 toneladas de otras partículas, que sí habrían sido lanzadas a la atmósfera en el caso de que esa misma energía generada lo hubiese sido mediante la combustión de carbón en una planta termoeléctrica convencional. No obstante, esta no es la única ventaja ambiental de la energía eólica. Este sistema de generación solo requiere de un recurso gratuito e inagotable como es el viento, por lo que nunca tendrá nada que ver con impactantes explotaciones mineras, enfermedades profesionales,

complicados y delicados procesos de transformación, mareas negras, construcción de gasoductos, problemas de transporte, accidentes radiactivos o almacenamientos subterráneos donde guardar peligrosos isótopos durante miles de años.

Aun así, los parques eólicos no dejan de causar unos impactos medioambientales que deben tenerse en cuenta para ser mitigados en la medida de lo posible:

Deterioro del paisaje: El mayor impacto provocado por la energía eólica es de tipo visual. No en vano, los emplazamientos más ventosos donde suelen colocarse los aerogeneradores corresponden por lo general a entornos naturales poco humanizados y, por lo tanto, con preciados valores paisajísticos. Este es un impacto muy subjetivo, pues depende de la apreciación estética de cada persona. Además, si lo justo es que las cargas de la producción de energía se repartan entre toda la población en función del consumo, todo el mundo debería preguntarse qué prefiere tener junto a su casa para abastecerse de electricidad, si una planta térmica, una central nuclear o un parque eólico. En cualquier caso, es evidente que hay muchos lugares del país en los que por su especial interés paisajístico, ambiental, histórico, cultural o turístico nunca se deberían instalar turbinas. Además, es de esperar que este impacto aumente cada vez más, según vaya creciendo el parque eólico español, por lo que requiere de mucha atención. Aunque esto podría mitigarse con el reemplazo de máquinas más potentes en los parques existentes (“Repotenciación” o *repowering*).

En zonas con altitud sobre el nivel del mar superior a los 1.500 metros, el análisis ambiental deberá extremarse. En





estas áreas se producen frecuentemente tormentas con abundante aparato eléctrico. Los aerogeneradores son puntos de atracción de rayos y las pendientes pronunciadas acentúan más el alto riesgo de impacto en estos espacios alejados generalmente de los medios de protección contra incendios; igualmente, el rigor invernal influye en las actuaciones de las aeroturbinas, que algunas veces al iniciar su operación pueden ocasionar serios percances por el desprendimiento de hielo acumulado en las palas. Todos estos factores sugieren que se estudie meticulosamente, tanto por parte de las autoridades ambientales como de los promotores eólicos, la instalación de parques en estas zonas, en su mayor parte de alto valor natural.

Efectos sobre las aves: La colisión de las aves con los aerogeneradores o las molestias causadas a la avifauna por la construcción y funcionamiento de un parque eólico constituyen en realidad impactos bastante limitados. Sin embargo, suelen tener cierta importancia en lugares especialmente valiosos para el paso o la nidificación de las aves.

Ocupación del territorio: La energía eólica necesita instalar muchos aerogeneradores por todo el territorio para acercarse a la producción de las centrales térmicas tradicionales. Aun así, las turbinas ocupan solo entre un 1% y un 3% de estos terrenos, que pueden seguir aprovechándose para la agricultura o la ganadería. Por otro lado, también se deben abrir o mejorar los accesos y trazar líneas de evacuación de la energía (que en ocasiones llegan a soterrarse).

Ruido: A 200 metros de un aerogenerador se puede percibir un ruido moderado de unos 50 decibelios, algo así como el ruido existente en una oficina. Cuando las velocidades de viento son altas el propio ruido ambiente enmascara el originado aerodinámicamente por las palas del aerogenerador. Para velocidades de viento bajas el ruido que se percibe con más intensidad es el mecánico provocado por los componentes de la góndola en rotación. Sin embargo, hoy en día, es en gran parte atenuado por las mejoras en la calidad de los mecanizados y en los tratamientos superficiales de las piezas que constituyen el tren de potencia del aerogenerador.

Impactos en el mar: En el caso de las instalaciones marinas, la separación de la costa determinará el impacto visual o el ruido, pudiendo disminuir o desaparecer alguna de estas afecciones. Por otro lado, puede que el impacto para las aves y otras especies marinas sea importante, lo que deberá ser evaluado a la hora de elegir el emplazamiento para el parque.

Consumo en la fabricación de las turbinas: Los modernos aerogeneradores recuperan rápidamente la energía invertida en su fabricación, instalación, operación, mantenimiento y desmantelamiento. Según los resultados de un estudio del análisis del ciclo de vida llevado a cabo por la Danish Wind Industry Association, para un aerogenerador de 600 kW que funcione al año 2.400 horas equivalentes, el período de retorno energético (o *pay-back*) es de unos 3 meses. Es decir, el aerogenerador genera unas 80 veces más energía de la que ha consumido a lo largo de su vida.



Un parque eólico puede generar otros impactos que, sin ser de carácter ambiental, también deben ser tenidos en consideración. Estos son:

- La interferencia electromagnética en la recepción de señales de telecomunicaciones que, exceptuando en áreas de uso militar donde existen zonas donde se prohíbe expresamente la ubicación de aerogeneradores por razones de seguridad nacional debido a las incertidumbres ocasionadas en las pantallas de los radares de vigilancia, en general son fácilmente remediadas, sobre todo en las de TV, mediante la instalación de discriminadores de frecuencias.
- La afección en la navegación aérea, ya sea por el obstáculo que representan en sí mismos los aerogeneradores o por su influencia sobre las instalaciones radioeléctricas de ayudas a la navegación. El Decreto 584/1972 de servidumbres aeronáuticas en su artículo 8º establece que deberán considerarse como obstáculos los que se eleven a una altura superior de 100 metros sobre planicies o partes prominentes del terreno o nivel del mar dentro de aguas jurisdiccionales, y que las construcciones que sobrepasen tal altura, al igual que para todas las situadas en las zonas de Servidumbres Aeronáuticas (definidas para cada aeropuerto o instalación radioeléctrica), deberán ser comunicadas a la Dirección General de Aviación Civil, para que por ésta se adopten las medidas oportunas a fin de garantizar la seguridad en la navegación aérea. Recientemente, el Ministerio de Fomento ha aprobado las normas para señalamiento e iluminación de aerogeneradores.



5.2 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

Para poder a finales de 2004 satisfacer la demanda del 6,5% de la energía consumida en España a partir del viento, se han tenido que fabricar antes e instalar por todo el territorio más de 11.000 aerogeneradores, algunos de ellos de tamaño gigantesco. Como es de suponer, esto no ha sido tarea fácil y ha requerido de un nuevo tejido industrial capaz de manejar una tecnología avanzada y con potencialidad para desarrollarla a gran escala. Un tejido industrial que no existía hace muy pocos años. Así pues, la energía eólica no es solo buena para la economía y la sociedad española porque reduce la dependencia exterior de energías como el petróleo o el gas natural, también lo es porque fomenta la creación de empresas y de empleo.

Hoy en día, son más de medio millar de empresas las que trabajan en el ámbito de la energía eólica en el país. Y, por lo general, a un gran nivel. No en vano, dos compañías españolas estaban en 2004 entre los diez mayores fabricantes de aerogeneradores del mundo: Gamesa, en el segundo puesto (por detrás de la danesa Vestas), y Ecotècnia, en el noveno. Juntas cubrieron el 20% de la demanda mundial de turbinas.

Las instalaciones fabriles se extienden por toda España:

- Ensamblaje de góndolas: Pamplona (Navarra), Medina del Campo (Valladolid), Buñuel (Navarra), Viveiro (Lugo), Tauste (Zaragoza), Agüimes (Las Palmas de Gran Canaria), Noblejas (Toledo), Barásoain (Navarra)...
- Palas: Ponferrada (León), Alsasua (Navarra), Puentes de García Rodríguez (La Coruña), Miranda de Ebro (Burgos), Tudela (Navarra), Albacete, Cuenca...



2 compañías españolas estaban en el 2004 entre los diez mayores fabricantes de aerogeneradores del mundo

- Torres: Olazagutía (Navarra), Arteijo (La Coruña), Cadrete (Zaragoza), Coreses (Zamora), Lacunza (Navarra), Carreño (Asturias)...
- Multiplicadores: Paterna (Valencia), Sant Fruitós de Bages (Barcelona), Asteazu (Guipúzcoa), Bergondo (La Coruña)...



- Generadores eléctricos: Beasain (Guipúzcoa), Reinoso (Cantabria), Ólvega (Soria), Berango (Vizcaya)...
- Metal-Mecánica: Ferrol (La Coruña), Langreo (Asturias), Maliaño (Cantabria), Cizurquil (Guipúzcoa), Zaragoza...
- Equipamiento eléctrico: Sant Quirze del Vallés (Barcelona), Getafe (Madrid), Munguía (Vizcaya)...
- Pequeños aerogeneradores: Montblanc (Tarragona), Castalla (Alicante), Yecla (Murcia)...

Una de nuestras compañías eléctricas, Iberdrola, ocupaba al finalizar el tercer trimestre de 2005 el primer lugar dentro de la promoción eólica mundial con 3.000 MW; Acciona supera los 1.500 MW (tras la adquisición a

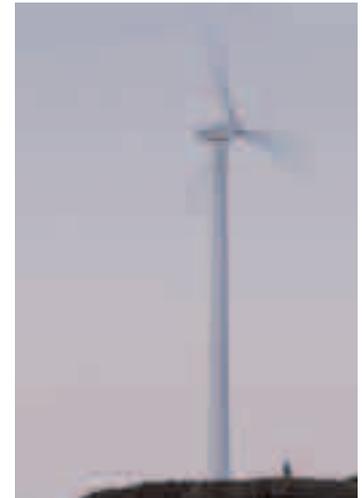
principios de 2006 de 500 MW a Corporación Eólica Cesa) y Endesa ronda los 1.000 MW, situándose ambas empresas entre las 5 primeras promotoras del planeta. La lusa EdP, participada en un 5,7 % por Iberdrola, después de la adquisición de 274 MW al grupo Nuon, supera los 500 MW operativos en España. Otra serie de empresas disponen de más de 200 MW en operación en territorio español: Enel-Unión Fenosa, Elecnon y Samca.

Esto se ha visto también reflejado en el empleo y, a finales del mismo año, la energía eólica ocupaba en España a unas 30.000 personas en el diseño, fabricación e instalación de aerogeneradores (7.500 empleos directos y 22.500 indirectos) y a otros 1.630 en la operación

y mantenimiento (O&M) de los parques eólicos. Lo cual significa que por cada 5 megavatios que giran en España (8.155 MW) se necesita un puesto de trabajo estable para la O&M de las máquinas. Si tenemos en cuenta todos los aerogeneradores instalados en España, la cifra acumulada de hombres-año (una equivalencia que mide el trabajo realizado por una persona durante las 1.800 horas laborales que como media tiene un año) ha ascendido a 106.000 (a razón de 13 hombres-año por cada MW, un 25% empleo directo), la mayor parte en los últimos 8 años. Dichas cifras representan empleo creado; si la energía eólica sirviese para sustituir a otras fuentes (hecho que no se ha dado en España en los últimos años, con un incremento anual medio de la demanda de energía primaria en el período 1998-2004 del 3,7%) habría que restar los puestos de trabajo que se perderían en el resto de sectores. La realidad nos demuestra que el empleo neto creado es muy superior al de cualquier otra forma convencional de producción eléctrica.

Como se ve, la energía eólica genera empleo, pero sobre todo en la construcción de las instalaciones, no tanto en su mantenimiento. Es previsible que se siga manteniendo el empleo como consecuencia de los ambiciosos objetivos de crecimiento de esta tecnología en el país. Pero también plantea una pregunta: ¿Qué pasará cuando se hayan alcanzado las metas de desarrollo fijadas? Las previsiones del sector apuntan a que la industria se mantendrá gracias a la renovación de las máquinas y al mercado exterior de la energía eólica.

Gamesa Eólica, líder indiscutible de los fabricantes nacionales de aerogeneradores, como consecuencia de la fuerte expansión internacional llevada a cabo desde principios de 2003, ha conseguido exportar 700 MW, fundamentalmente a Italia, China, Francia y Portugal. También existen instalaciones con sus máquinas en Estados Unidos, Alemania, Japón y Marruecos, por citar sólo algunos ejemplos. Recientemente, ha suscrito varios acuerdos con clientes extranjeros para el suministro de aerogeneradores por importe de varios cientos de millones de euros. Concretamente en Estados Unidos y la República Popular China ha anunciado la construcción de varias fábricas conexas a los suministros citados.





¿Qué se queda en los municipios eólicos?

La energía eólica no sólo contribuye a la creación de un nuevo tejido industrial con una importante tasa de empleo, sino también al desarrollo de muchas zonas rurales del país. Como se ha visto, una vez instalados los aerogeneradores los parques eólicos tampoco suponen muchos puestos de trabajo, porque requieren de poco mantenimiento. Aunque en algunas poblaciones estos empleos pueden representar mucho, como ocurrió en Higuera (Albacete), un municipio con 1.350 habitantes que vio cómo los cinco parques eólicos situados en su jurisdicción daban trabajo a 30 de sus jóvenes.

Aun así, los mayores beneficios dejados por un parque eólico para los municipios de la comarca no suelen contarse en número de empleos, sino directamente en cantidad de euros que reciben en concepto de impuestos (Actividades Económicas, Bienes Inmuebles), concesión de licencias municipales (Actividad, Obras) y alquiler de los terrenos donde se colocan los aerogeneradores.

La localidad de Higuera, por ejemplo, percibe unos 500.000 euros al año gracias a los 243 aerogeneradores instalados en su término municipal. Esta cifra puede ser mayor o menor, dependiendo de las negociaciones del alquiler de las fincas y de si éstas son propiedad del municipio o de particulares. En todo caso, la energía eólica se ha convertido en una fuente de dinero y de desarrollo para muchas zonas rurales. La lista de municipios más favorecidos es larga: La Muela, Tarifa, Muras, Higuera, Borja, Lubbán, Leoz, Autol...

Subyace, no obstante, un sentimiento en muchos Ayuntamientos: dentro de su municipio existe un recurso que motiva inversiones millonarias pero que no proporciona

unos beneficios económicos suficientes. Esto ha supuesto que muchos promotores lleguen a acuerdos particulares con los municipios mediante los cuales se pagan tasas adicionales a las establecidas, ya sea en forma de un pago único con la puesta en marcha del parque eólico o escalonadamente mediante pagos anuales durante la vida operativa de la instalación. En ocasiones los promotores llegan a abonar cantidades para realizar trabajos de mejoras en caminos o edificaciones de propiedad municipal, ajenos al propio negocio eólico. Suele ser normal durante la fase de explotación del parque patrocinar equipos deportivos, ferias o festejos, incluso en algunos casos se realizan actividades de mecenazgo (fundaciones).

Finalmente, no se debe olvidar la recaudación del impuesto de sociedades, implícita al beneficio económico del aprovechamiento de los recursos eólicos, ingresada en Hacienda por las empresas productoras para que revierta solidariamente en proyectos de todo tipo a lo largo y ancho de nuestra geografía nacional.





6

Instalaciones eólicas más representativas



6

Instalaciones eólicas más representativas

Presentamos a continuación una selección de algunos de los proyectos eólicos más representativos del país. Esta lista es solo una muestra de los más de 400 parques y otras muchas instalaciones eólicas que funcionan en España. No pretende ser una selección exhaustiva, sino presentar una visión general de las diversas tecnologías existentes y mostrar los aspectos más interesantes de este tipo de construcciones, a través de 19 ejemplos recogidos por todas aquellas comunidades autónomas en las que giran hoy en día las palas de los aerogeneradores.



1	Planta de Ensayos de prototipos de Monte Ahumada (Andalucía)	88
2	Complejo Eólico en Higuera (Castilla-La Mancha)	90
3	Parque Eólico de Tea (Galicia)	92
4	Prototipo de aerogenerador en Barrax (Castilla-La Mancha)	94
5	Parque Eólico Experimental de Sotavento (Galicia)	96
6	Parque Eólico en la Sierra del Madero (Castilla y León)	98
7	Parque Eólico de Padornelo (Castilla y León)	100
8	Parques Eólicos Experimentales de La Plana I e I+D La Plana (Aragón)	102
9	Parque Eólico de Moncayuelo (Navarra)	104
10	Parque Eólico de Penouta (Asturias)	106
11	Parque Eólico de Lomo El Pozo (Islas Canarias)	108
12	Parque Eólico de Raposeras (La Rioja)	110
13	Parque Eólico Experimental de Granadilla (Islas Canarias)	112
14	Parque Eólico de Badaya (País Vasco)	114
15	Parque Eólico de La Florida (Islas Canarias)	116
16	Parques Eólicos de Los Cerros, La Campaña y La Fraila (Navarra)	118
17	Miniparque eólico de la Universidad de Murcia (Murcia)	120
18	Instalación eólico solar en Alicante (Comunidad Valenciana)	122
19	Instalación eólico solar para bombeo en Barcelona (Cataluña)	124



1 Planta de Ensayos de prototipos de Monte Ahumada (Andalucía)

Uno de los primeros parques en Tarifa, aún en activo.

Identificación

Término municipal:	Tarifa
Provincia:	Cádiz
Año(s) de puesta en marcha:	1988, 1989, 1994, 1996 y 2000
Propietario:	Made (adquirida por Gamesa Eólica en 2003)
Actividad principal:	Experimentación, certificación de prototipos y generación eléctrica

Descripción general

Este parque eólico fue uno de los primeros en España en experimentar con aerogeneradores y todavía hoy sigue poniendo a prueba la tecnología de la empresa Made. Ubicado dentro del Parque Natural de Los Alcornocales, en un área denominada El Palancar, en un principio los terrenos fueron utilizados por Sevillana de Electricidad para ensayar aerogeneradores de eje vertical de la marca Cenemesa (1988). Luego pasó a convertirse en banco de pruebas para la investigación y el desarrollo de las turbinas diseñadas y fabricadas por Made en su factoría de Medina del Campo (Valladolid).

El emplazamiento se caracteriza por tener una velocidad media de viento alta, así como una gran turbulencia y “rafagosidad”, lo que resulta especialmente útil para validar el funcionamiento de las máquinas en condiciones de carga muy desfavorables.



En la actualidad, esta instalación cuenta con una potencia conectada a la red de 2,1 MW, compuesta por una turbina Made AE52 de 800 kW y una AE61 de 1.320 kW, ambas instaladas en el año 2000. La primera de paso variable y la segunda de paso fijo. No obstante, junto a estos aerogeneradores modernos continúan en pie diversos modelos antiguos que permiten recorrer la historia del parque y comprobar el rápido desarrollo de la tecnología eólica en España. Entre estas máquinas, se puede ver una AE20 de 150 kW instalada en 1989, una AE30 de 300 kW de 1994 y una AE41 de 500 kW de 1996.

El desarrollo tecnológico, la fabricación, la instalación, la puesta en marcha y la certificación del prototipo Made AE52 fueron financiados en un 40% por IDAE, como resultado de un Convenio de Colaboración suscrito con Made en el año 1999.

Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento¹²: 9,2 m/s

Potencia nominal instalada: 2,12 MW

Producción estimada neta anual: 6.800 MWh

Horas anuales equivalentes: 3.200 h

Composición de la instalación:

1 x 800 kW de Made (M52-50h)

1 x 1.320 kW de Made (M61-60h)



¹² A la altura del buje o, cuando existen varias máquinas, a una altura media representativa de la totalidad del parque; generalmente obtenida en una de las torres meteorológicas de referencia de la instalación.

2 Complejo Eólico en Higuera (Castilla-La Mancha)

El complejo eólico más grande del país

Identificación

Término municipal:	Higuera
Provincia:	Albacete
Año(s) de puesta en marcha:	1999 y 2000
Propietario:	Iberdrola Energías Renovables de Castilla-La Mancha
Actividad principal:	Generación de energía eléctrica

Descripción general

Conjunto de cinco parques que conforman el mayor complejo eólico del país, propiedad de un mismo promotor, en un único término municipal: Higuera, Virgen de los Llanos I, Virgen de los Llanos II, Cerro de la Punta y Malefátón. Están situados en la zona central de la Sierra de Higuera, que tiene una orientación predominante oeste-este, aunque con lomas alineadas hacia el suroeste y laderas de pendientes suaves y, en algunos casos, moderadas. Los parques están instalados a una altitud de entre 1.040 y 1.240 metros sobre el nivel del mar, con los aerogeneradores dispuestos en alineaciones nordeste-suroeste enfrentados a los vientos predominantes (NO-SE).

La potencia instalada entre los cinco parques es de 160 MW: Higuera (37,6), Virgen de los Llanos I (26,4), Virgen de los Llanos II (23,1), Cerro de la Punta (24,4), Malefátón (48,8). Las aeroturbinas generan la energía a una tensión de 690 V, que es transformada a 20 kV en la base de la torre. Desde ahí, circuitos subterráneos de cada parque conducen la energía a una subestación (SET) donde se eleva la tensión hasta 132 kV y desde allí, mediante una línea aérea de



40 kilómetros de longitud, es transportada hasta la SET de Romica, en las inmediaciones de la ciudad de Albacete.

Los cinco parques tienen instalados aerogeneradores convencionales tripala, de eje horizontal, paso y velocidad variables de 660 kW de potencia nominal unitaria, fabricados por Gamesa. El diámetro del rotor es de 47 metros. La altura de las torres oscila entre los 45 y los 55 metros. La pala empleada es fabricada por Fiberblade (Gamesa).

Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 7,3 m/s

Potencia nominal instalada: 160,38 MW

Producción estimada neta anual: 390.000 MWh

Horas anuales equivalentes: 2.430 h

Composición de la instalación:

243 x 660 kW de Gamesa (G47-55h/45h)



3 Parque Eólico de Tea (Galicia)

Un parque de 48 MW al sur de Galicia

Identificación

Términos municipales:	Covelo (PO), Avión (OR), Melón (OR) y Carballeda de Avia (OR)
Provincias:	Pontevedra y Orense
Año(s) de puesta en marcha:	2003
Propietario:	Eurovento
Actividad principal:	Generación de energía eléctrica

Descripción general

El parque eólico de Tea está ubicado en el sur de Galicia, entre las provincias de Pontevedra y Orense. Sus turbinas están instaladas a una altitud de entre 910 y 1.150 metros y capturan vientos situados en el 1^{er} y 3^{er} cuadrante (NE y SO).

La sociedad promotora, Eurovento, está participada al 50% por Grupo Corporación Eólica, recientemente adquirido por el Grupo Acciona, y por Eurus. El parque cuenta con 37 turbinas de 1,3 MW de Navantia-Siemens, que totalizan una potencia instalada de 48,1 MW. La energía producida es conducida a través de la red interna del parque a 30 kV, siendo elevada a 220 kV en la SET de Suido.

Los aerogeneradores tienen un diámetro de rotor de 62 metros y una altura de buje de 55 metros. El modelo comercial de pala empleado es LM 29.

Los aerogeneradores están equipados con un generador eléctrico asíncrono de doble devanado que gira a dos velocidades fijas, distintas en función de la velocidad del viento incidente. La regulación de potencia se realiza mediante “*active stall*”, técnica consistente en la modificación del



ángulo de paso de la pala, permitiendo la entrada en pérdida sucesiva e independiente de los perfiles, una vez alcanzada la potencia nominal del generador.

Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 8,2 m/s

Potencia nominal instalada: 48,10 MW

Producción estimada neta anual: 133.600 MWh

Horas anuales equivalentes: 2.775 h

Composición de la instalación:

37 x 1.300 kW de Navantia-Siemens (S62-55h)



4 Prototipo de aerogenerador en Barrax (Castilla-La Mancha)

El aerogenerador de mayor potencia: 3,6 MW

Identificación

Término municipal:	Barrax
Provincia:	Albacete
Año(s) de puesta en marcha:	2002
Propietario:	General Electric Wind Energy
Actividad principal:	Experimentación, certificación de prototipos y generación de energía eléctrica

Descripción general

En el kilómetro 16 de la carretera entre La Roda y Barrax, en un terreno llano a 710 metros de altitud, está instalado el que es el aerogenerador de mayor potencia nominal de todo el país: 3,6 MW. Se trata de un prototipo *offshore* de la empresa General Electric, que fue montado en tierra para su certificación en 2002. Cuando se instaló entonces no solo era el de mayor potencia de España, sino de todo el mundo.

Tras su validación en Barrax, siete de estas máquinas gigantes fueron puestas a prueba en el mar, en el parque eólico marino Arklow Bank de Irlanda (25,2 MW), a diez kilómetros de la costa irlandesa. Curiosamente, este parque ha sido el primero marino —y de momento único— en el que ha participado una empresa española, EHN (filial de Acciona), que es titular del 50% de la sociedad promotora de la instalación (Zeusford) y dispone de una opción de compra del resto del capital.



El aerogenerador dispone de un diámetro de rotor de 104 metros y la superficie barrida es de 8.495 metros cuadrados. La altura de la torre mide 100 metros y se compone de una parte de hormigón de 70 metros y otra de acero de 30 metros. La pala que monta ha sido fabricada por LM y su longitud es de 50 metros.

Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 7,1 m/s

Potencia nominal instalada: 3,60 MW

Producción estimada neta anual: 7.000 MWh

Horas anuales equivalentes: 1.950 h

Composición de la instalación:

1 x 3.600 kW de General Electric (GE104-100h)



5 Parque Eólico Experimental de Sotavento (Galicia)

Un parque gallego con nueve tipos de máquinas distintas

Identificación

Términos municipales:	Germade (LU) y Monfero (C)
Provincias:	Lugo y La Coruña
Año(s) de puesta en marcha:	2000
Propietario:	Sotavento Galicia
Actividad principal:	Generación de energía, experimentación, divulgación y formación

Descripción general

El parque Eólico de Sotavento se configura como el Centro de Excelencia para la innovación tecnológica de la industria eólica gallega. Al mismo tiempo, se ha convertido en un marco de referencia obligado para cualquier iniciativa que se lleve a cabo en el campo educacional relativa a la promoción de las energías renovables y a la conservación del medio ambiente en nuestro país.

Sotavento está participada en un 51% por tres entidades de carácter público: Sodiga Galicia Sociedad de Capital Riesgo, el Instituto Energético de Galicia e IDAE. El resto del capital pertenece a filiales de las principales compañías eléctricas con presencia en la Comunidad: Unión Fenosa, Endesa, Iberdrola y Engasa.

En el parque coexisten 5 tecnologías diferentes, con 9 modelos de aerogeneradores distintos, siendo 4 de ellos prototipos (2 de los cuales han sido desarrollados íntegramente en España



por Made). Durante los primeros 4 años completos de funcionamiento la instalación ha generado 141.100 MWh, con una disponibilidad técnica acumulada superior al 97%.

Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 7,0 m/s

Potencia nominal instalada: 17,56 MW

Producción estimada neta anual: 35.500 MWh

Horas anuales equivalentes: 2.020 h

Composición de la instalación:

- 4 x 750 kW de Vestas (V48-45h)
- 4 x 660 kW de Gamesa (G47-45h)
- 4 x 660 kW de Made (M46-46h)
- 4 x 600 kW de Navantia-Siemens (S44-40h)
- 4 x 640 kW de Ecotènia (E44-45h)
- 1 x 900 kW de Vestas (V52-45h)
- 1 x 800 kW de Made (M52-50h)
- 1 x 1.320 kW de Made (M61-60h)
- 1 x 1.300 kW de Navantia-Siemens (S62-49h)



6 Parque Eólico en la Sierra del Madero (Castilla y León)

99 MW en la sierra soriana del Madero

Identificación

Términos municipales:	Suellacabras, Narros, Aldehuela, Trévago, Fuentestrún, Matalebreras, Villar del Campo, Valdegeña y Magaña
Provincia:	Soria
Año(s) de puesta en marcha:	2004
Propietario:	Danta de Energías
Actividad principal:	Generación de energía eléctrica

Descripción general

Situado al norte de Soria, el parque eólico de la Sierra del Madero está compuesto por dos sub-parques: Luna y Juno. Los dos juntos cuentan con 66 aerogeneradores de 1.500 kW de Vestas.

La sociedad promotora, Danta de Energías, está participada al 50% por Preneal y Prodenergías-2. Como particularidades, el parque dispone de capacidad para hacer frente a los huecos de tensión y fue uno de los primeros en Castilla y León en acogerse a la opción de “mercado” en su retribución.

La integración de la potencia generada en ambos parques a la red de 220 kV de ENDESA se realiza a través de la SET Trévago, donde se entrega a la red de transporte y desde este punto se conecta con la SET Magallón de 400 kV, propiedad de Red Eléctrica de España, a través de la línea de 220 kV Oncala-Trévago-Magallón.



Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 8,2 m/s

Potencia nominal instalada: 99,00 MW

Producción estimada neta anual: 262.350 MWh

Horas anuales equivalentes: 2.650 h

Composición de la instalación:

66 x 1.500 kW de Vestas (V72-62h)



7 Parque Eólico de Padornelo (Castilla y León)

Las turbinas instaladas a mayor altitud: 1.650 metros

Identificación

Término municipal:	Lubián
Provincia:	Zamora
Año(s) de puesta en marcha:	2004
Propietario:	Parque Eólico Padornelo
Actividad principal:	Generación de energía eléctrica

Descripción general

Los aerogeneradores de Padornelo conforman el parque eólico construido a mayor altitud del país: 1.650 metros. La instalación está situada en las estribaciones de la Sierra Segundera, en cimas de montañas con suaves pendientes. Las máquinas siguen distintas alineaciones nort-sur y aprovechan vientos distribuidos con predominancia del rumbo suroeste.

Este parque ha sido promovido por Ibereólica y cuenta con una potencia instalada de 31.450 kW. En conjunto, dispone de un total de 37 aerogeneradores G58 de Gamesa Eólica, con una potencia unitaria de 850 kW.

Estas máquinas son tripala, de paso variable y con generador asíncrono. El diámetro del rotor es de 58 metros y la altura de las torres varía entre 45 y 55 metros. El fabricante de las palas es también Gamesa.



Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 7,0 m/s

Potencia nominal instalada: 31,45 MW

Producción estimada neta anual: 79.400 MWh

Horas anuales equivalentes: 2.525 h

Composición de la instalación:

37 x 850 kW de Gamesa (G58-45h/55h)



8 Parques Eólicos Experimentales de La Plana I e I+D La Plana (Aragón)

Dos parques en el municipio con más MW del país: La Muela

Identificación

Término municipal:	La Muela
Provincia:	Zaragoza
Año(s) de puesta en marcha:	2000, 2001 y 2002
Propietario:	Sistemas Energéticos La Plana
Actividad principal:	Generación de energía, experimentación y certificación de prototipos

Descripción general

Instalaciones integradas en un grupo de parques denominados La Plana, todos ellos emplazados en La Muela, que es el término municipal que aglutina más potencia eólica del país, con más de 220 MW. Terreno llano en una gran meseta (“muela”) elevada respecto al entorno circundante. Las turbinas están instaladas a 600 metros de altitud y alineadas frente al viento predominante, un cierzo de dirección norte-noroeste.

La sociedad promotora, Sistemas Energéticos La Plana, está participada en un 90% por Gamesa Energía y en un 10% por IDAE.

Los parques eólicos evacuan la energía a través de LAAT 132 kV a la red de ENDESA en la SET de Los Vientos (Muel). En su conjunto, La Plana I e I+D La Plana cuentan con 6,15 MW de potencia conectados entre sí. La Plana I dispone de dos aerogeneradores V66-1.650 y uno G52-850. I+D La Plana tiene una turbina G80-2000 (en realidad cuenta con una segunda ya en



funcionamiento, pero es propiedad de Gamesa Eólica y no de Sistemas Energéticos). Entre estos aerogeneradores destaca justamente el G80 de 2.000 kW por ser esta la potencia nominal más alta de las turbinas instaladas por Gamesa. El diámetro del rotor de estas máquinas de paso y velocidad variables es de 80 metros y su área barrida de 5.027 metros cuadrados. La torre mide 67 metros de alto y el juego de palas empleado es suministrado por Fiberblade.

Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 6,9 m/s

Potencia nominal instalada: 6,15 MW

Producción estimada neta anual: 12.500 MWh

Horas anuales equivalentes: 2.030 h

Composición de la instalación:

2 x 1.650 kW de Vestas (V66-60h)

1 x 850 kW de Gamesa (G52-55h)

1 x 2.000 kW de Gamesa (G80-67h)



9 Parque Eólico de Moncayuelo (Navarra)

Turbinas de colores en armonía con el paisaje navarro

Identificación

Término municipal:	Falces
Provincia:	Navarra
Año(s) de puesta en marcha:	2004
Propietario:	Energía Hidroeléctrica de Navarra
Actividad principal:	Generación de energía eléctrica

Descripción general

El parque eólico de Moncayuelo es distinto de cualquier otro. Situado a una altitud de entre 440 y 480 metros sobre el nivel del mar, tiene una particularidad muy llamativa: los colores de las torres de los aerogeneradores fueron especialmente seleccionados por el pintor local Pedro Salaberry dentro de una gama entre el verde y el ocre para lograr una mayor integración con las tonalidades de los paisajes de cada estación del año.

Los aerogeneradores están dispuestos en 5 alineaciones, con una distancia entre ellos en cada hilera de 240 metros. El viento predominante de la zona es de dirección norte-noroeste. Esta instalación pertenece a EHN (filial del Grupo Acciona), empresa que cuenta con una veintena de plantas en la región.

Este parque fue el primero en el que se instalaron de forma exclusiva los aerogeneradores de 1.500 kW de potencia nominal de Ingetur (hoy Acciona Wind Power), unas máquinas de tecnología nacional ensambladas en la planta que el grupo tiene en Barásain (Navarra).



Todas las turbinas son tripala, de paso y velocidad variables, con un generador asíncrono que genera a media tensión para reducir pérdidas. De todas ellas, 30 máquinas están diseñadas como clase III (con 77 metros de diámetro de rotor), una clase II (70) y otra clase I (70). La altura de la torre es de 77 metros y el modelo comercial de la pala utilizado es LM 37.3 P.

Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 7,3 m/s

Potencia nominal instalada: 48,00 MW

Producción estimada neta anual: 132.000 MWh

Horas anuales equivalentes: 2.750 h

Composición de la instalación:

32 x 1.500 kW de Ingetur (177/170-77h)



10 Parque Eólico de Penouta (Asturias)

Una instalación que vierte a la red energía “verde” certificada

Identificación

Término municipal:	Boal
Provincia:	Asturias
Año(s) de puesta en marcha:	2004
Propietario:	Parque Eólico Penouta
Actividad principal:	Generación de energía eléctrica

Descripción general

Las medidas de viento en el emplazamiento se iniciaron en mayo de 1998. En febrero de 1999 se instrumentó otra torre de 25 m de altura y en junio de 2000 una torre adicional, de 60 m, con registro de datos a 20, 40 y 60 m. Como efecto del resultado favorable del análisis del potencial y del estudio de viabilidad técnico-económico correspondiente, se consideró el área del Alto de Penouta como zona de interés desde el punto de vista del aprovechamiento del recurso eólico y el promotor decidió construir y operar un parque eólico con el fin de verter la energía producida a la red de la compañía eléctrica local.

El cliente contactó con IDAE a finales de 1999 con el objeto de estudiar la posibilidad de que el Instituto interviniera en el proyecto. Fruto de la negociación, en noviembre de 2001, se acordó la participación de IDAE bajo la modalidad “Financiación por Terceros”. IDAE elaboró las especificaciones técnicas de compra del parque, con la colaboración del cliente, que fueron incluidas en una ulterior petición pública de oferta. Tras la comparación de ofertas se adjudicó



el suministro, construcción, montaje y puesta marcha del parque a Gamesa Eólica, bajo la modalidad “llave en mano”.

La ejecución del proyecto comenzó en septiembre de 2003, una vez obtenidas las preceptivas autorizaciones para el inicio de la obra y resuelta la interconexión con la red de evacuación. Los aerogeneradores comenzaron a producir energía en mayo de 2004. La recepción provisional de la instalación tuvo lugar en julio del mismo año, iniciándose entonces la garantía de la instalación por un período de dos años y la recuperación de la inversión por parte de IDAE, mediante el cobro mensual al cliente de un porcentaje de la facturación eléctrica, hasta alcanzar un nº de MWh equivalentes, pactado en la financiación, a partir del cual el cliente podrá ejercer una opción de compra, abonando una cantidad testimonial, y la instalación pasará a su propiedad.

La promotora está participada al 100% por Electra Norte, una compañía asturiana especializada en la comercialización de electricidad certificada como “energía verde”.

Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento:	7,5 m/s
Potencia nominal instalada:	5,95 MW
Producción estimada neta anual:	15.000 MWh
Horas anuales equivalentes:	2.520 h
Composición de la instalación:	7 x 850 kW de Gamesa (G52-55h)



11 Parque Eólico de Lomo El Pozo (Islas Canarias)

El parque que funciona más horas del año a máxima potencia

Identificación

Término municipal:	Arinaga
Provincia:	Las Palmas
Año(s) de puesta en marcha:	2000
Propietario:	Socaire
Actividad principal:	Generación de energía eléctrica

Descripción general

El parque eólico Lomo El Pozo (también conocido como “Lomo El Cabezo”) es una de las instalaciones eólicas de España y, posiblemente del hemisferio norte, que funciona más horas del año a potencia nominal equivalente: más de 4.500. Situado sobre una loma a 4 kilómetros de distancia del municipio grancañario de Arinaga y a una altitud de 180 metros sobre el nivel del mar, este parque cuenta con tres turbinas alineadas perpendicularmente al viento predominante de dirección nornordeste.

En este emplazamiento existían anteriormente 3 aeroturbinas oleohidráulicas que fueron desmanteladas a mediados de los noventa.

La instalación consta de tres aerogeneradores diseñados y fabricados por la firma alemana Enercon, modelo E-40, una máquina robusta y fiable, de velocidad y paso variables, sin etapa de multiplicación, dotada de un generador eléctrico multipolar y cuyo rotor monta 3 palas de excelente fineza aerodinámica, que convierten al conjunto en una de las máquinas más eficientes del mercado.



Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 10,5 m/s

Potencia nominal instalada: 1,80 MW

Producción estimada neta anual: 8.300 MWh

Horas anuales equivalentes: 4.600 h

Composición de la instalación:

3 x 600 kW de Enercon (EN40-45h)



12 Parque Eólico de Raposeras (La Rioja)

39 MW en el paraje riojano de Raposeras

Identificación

Término municipal:	Calahorra
Provincia:	La Rioja
Año(s) de puesta en marcha:	2004
Propietario:	Energía y Recursos Ambientales
Actividad principal:	Generación de energía eléctrica

Descripción general

Este parque está localizado en una meseta cercana al municipio de Calahorra, a unos 350 metros de altitud. Los aerogeneradores están dispuestos en forma de V y aprovechan los persistentes vientos del valle del Ebro.

La sociedad promotora, Energía y Recursos Ambientales, es una filial del grupo ACS.

La instalación está formada por 26 turbinas de 1.500 kW de General Electric, totalizando 39 MW. La energía generada se evacua a través de la subestación de Quel, propiedad de Iberdrola.

Las máquinas son convencionales, tripala de paso y velocidad variables y generador asíncrono de doble alimentación. El diámetro del rotor es de 77 metros. La altura de la torre que lo soporta es de 61 metros.



Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 7,5 m/s

Potencia nominal instalada: 39 MW

Producción estimada neta anual: 110.000 MWh

Horas anuales equivalentes: 2.800 h

Composición de la instalación:

26 x 1.500 kW de General Electric (GE77-61h)



13 Parque Eólico Experimental de Granadilla (Islas Canarias)

Un complejo de investigación tecnológica en Tenerife

Identificación

Término municipal:	Granadilla
Provincia:	Santa Cruz de Tenerife
Año(s) de puesta en marcha:	1990 a 1994
Propietario:	Instituto Tecnológico de Energías Renovables
Actividad principal:	Experimentación y generación de energía eléctrica

Descripción general

Instalado en el Polígono Industrial de Granadilla, junto al mar, el complejo experimental de Granadilla es uno de los tres parques eólicos con los que cuenta el Instituto Tecnológico de Energías Renovables (ITER): uno de 4,8 MW (año 1996), otro de 5,5 MW (1998) y este, experimental, de 2,4 MW. Existe además un aerogenerador Enercon E-30, de 230 kW, conexo a una planta desalinizadora, operativo desde 1996.

Esta plataforma experimental se creó para investigar el funcionamiento de distintos tipos de aerogeneradores y fue financiada por ITER, el Cabildo de Tenerife, el Gobierno de Canarias, ENDESA y la Unión Europea. La energía eléctrica proveniente de los tres parques es vendida a la compañía ENDESA para su distribución en la isla de Tenerife, siendo esta la principal fuente de ingresos del Instituto y con la que se ha contratado al 80% del personal del mismo.

La instalación cuenta con un aerogenerador de eje vertical Cenemesa F-19, con un diámetro de rotor de 19 metros y una potencia de 300 kW; tres turbinas de Enercon: dos de 500 y una de



330 kW; una turbina de Vestas de 200 kW; otra de Ecotècnia de 150 kW; y, por último, dos de Made: una de 150 y otra de 300 kW.

El primigenio parque de Granadilla, desmantelado a principios de los noventa, contó con la participación de IDAE en su financiación. Fue el primero de los cinco construidos con el objetivo de promover la tecnología nacional de aerogeneradores de baja potencia (junto con La Muela (Zaragoza), Estaca de Bares (La Coruña), Ontalafia (Albacete) y Tarifa (Cádiz)) en entrar en operación en el año 1986. El parque, de 300 kW, contaba con 10 máquinas diseñadas y fabricadas por Aerogeneradores Canarios (2), Ecotècnia (4) y GESA (4).

Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 8,0 m/s

Potencia nominal instalada: 2,43 MW

Producción estimada neta anual: 7.000 MWh

Horas anuales equivalentes: 2.880 h

Composición de la instalación:



14 Parque Eólico de Badaya (País Vasco)

Un parque que cubrirá el 50% de la demanda doméstica de Álava

Identificación

Descripción general

Subiendo desde la localidad de Nanclares de la Oca, en la Sierra Brava de Badaya, se construye el parque eólico del mismo nombre, que se espera esté listo para operar en octubre de 2005. Los aerogeneradores se están montando a una altitud de entre 900 y 1.040 metros, en una altiplanicie kárstica donde pastan reses de ganado. Dispuestos al tresbolillo, aprovecharán vientos de clase II-B.

La sociedad promotora está compuesta al 50% por Iberdrola Energías Renovables y el Ente Vasco de la Energía (EVE), siendo este parque resultado del Plan Territorial Sectorial, que dictaminó los emplazamientos que podían albergar una instalación de este tipo.

Todas las líneas eléctricas se han soterrado, tanto en el parque como en los 8 kilómetros necesarios para la evacuación, y los transformadores se han colocado en el interior de las torres, quedando un parque cuyas únicas infraestructuras visibles son los aerogeneradores y un pequeño centro de seccionamiento con estética de borda de montaña.



El parque eólico contará con una potencia instalada de 50 MW, y generará suficiente electricidad para suministrar el 50% de la demanda doméstica actual de la provincia. Junto al veterano parque de Elguea-Urquilla cubrirá el 100% de la demanda doméstica de electricidad de toda Álava. El conjunto está formado por 30 aerogeneradores suministrados por la firma catalana Ecotècnia.

Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 6,8 m/s

Potencia nominal instalada: 50,10 MW

Producción estimada neta anual: 125.000 MWh

Horas anuales equivalentes: 2.500 h

Composición de la instalación:

30 x 1.670 kW de Ecotècnia (E80-60h)



15 Parque Eólico de La Florida (Islas Canarias)

Una instalación eólica para desalar agua de mar

Identificación

Descripción general

Ubicado a escasos metros del mar y cerca del aeropuerto de Gando (Gran Canaria) el parque eólico de autoconsumo de “La Florida-Vargas” abastece de energía eléctrica a la primera planta desalinizadora de agua de mar de España que, desde su concepción, incorpora como apoyo una instalación generadora de estas características.

La electricidad producida mediante el aprovechamiento de los extraordinarios, desde el punto de vista energético, vientos alisios (nordeste) se suma a la proveniente de la red eléctrica local para alimentar a la planta desalinizadora, que a través de un proceso de ósmosis inversa permite obtener hasta 5.000 metros cúbicos diarios de agua dulce destinados al riego del área de cultivo adyacente.

La instalación eólica contó con la financiación del programa PYME´s gestionado por IDAE, con fondos, al 50%, del propio Instituto y del Fondo Europeo para el Desarrollo Regional (FEDER). IDAE se encargó de la compra de los equipos y de la supervisión del montaje y puesta en marcha, así



como de la dirección del proyecto. Por su parte, el cliente, una vez aceptada la instalación, se encarga de su explotación, devolviendo el préstamo concedido mediante el abono de cuotas trimestrales a tipo de interés bonificado variable, revisable anualmente, durante un período de 8 años.

Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento:	9,0 m/s
Potencia nominal instalada:	2,64 MW
Producción estimada neta anual:	10.500 MWh
Horas anuales equivalentes:	4.000 h
Capacidad de desalación diaria:	5.000 m ³
Composición de la instalación:	4 x 660 kW de Gamesa (G47-40h)



16 Parques Eólicos de Los Cerros, La Campaña y La Fraila (Navarra)

Tres pequeños parques de 4,95 MW de potencia cada uno

Identificación

Descripción general

Los parques de Unzué (Los Cerros, 2003), Pueyo (La Campaña, 2004) y Olite (La Fraila, 2004) responden a un concepto diferente de instalación eólica: en lugar de construir grandes parques alejados de los centros de consumo, se instalan unas pocas turbinas cerca de las poblaciones y se conectan directamente a la red de distribución. Así se ha hecho en estos tres municipios navarros, donde se han implantado en cada uno tres aerogeneradores en hilera. En Unzué, a 600 metros de altitud; en Pueyo, a 540 metros; y en Olite, a 440 metros. Es lo que se conoce como generación distribuida.

La composición de los tres parques es la misma: tres aerogeneradores Torres Wind Turbine (TWT) de 1.650 kW diseñados y fabricados por M. Torres, que suman una potencia en cada una de las instalaciones de 4,95 MW.

El modelo TWT 1.650 de M. Torres, en cuyo desarrollo participó el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, es un aerogenerador tripala, de velocidad variable, dotado de un



generador síncrono multipolar, con un diámetro de rotor de 70 metros y una altura de buje de 60 metros. Asimismo, IDAE aportó el 90% de la financiación necesaria para la construcción del parque de Olite, mediante una compra-venta aplazada de los equipos.

Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 7,5 (U), 7,0 (P), 6,7 (O) m/s

Potencia nominal instalada: 4,95 (cada parque) MW

Producción estimada neta anual: 12.625 (U), 11.400 (P), 10.900 (O) MWh

Horas anuales equivalentes: 2.550 (U), 2.300 (P), 2.200 (O) h

Composición de la instalación:

3 x 1.650 kW de M. Torres (MT70-60h)



17 Miniparque Eólico de la Universidad de Murcia (Murcia)

Un miniparque en pleno campus universitario de Murcia

Identificación

Descripción general

Un parque eólico en mitad de un centro urbano. Eso sí, de tamaño mini. La Universidad de Murcia ha instalado en su campus de Espinardo uno de los primeros miniparques eólicos del país, una instalación que podría llegar a disponer de 20 pequeños aerogeneradores de 5 kW de potencia.

Esta iniciativa pionera en nuestro país ha sido posible gracias a la colaboración de la Agencia de Gestión de la Energía de la Región de Murcia (ARGEM), la Universidad de Murcia, el Ayuntamiento de esta ciudad, la empresa Solsureste y el fabricante murciano de turbinas Windeco.

De momento, se han instalado 9 aerogeneradores, pero está previsto incluir en una segunda fase 11 más, con lo que se alcanzaría una potencia de 100 kW. En lo que respecta a la primera fase, la inversión ha alcanzado los 300.000 euros y se ha contado con una ayuda directa de ARGEM, una subvención del Ayuntamiento y una financiación, a tipo de interés bonificado, de la línea ICO-IDAE.



Todas las máquinas son del modelo Vento 5000. Unas turbinas tripala, de paso fijo y generador síncrono de imanes permanentes, con una potencia nominal de 5 kW. El diámetro del rotor es de 5 metros y la torre que lo sostiene de 15 metros. Las palas están también diseñadas y fabricadas en Yecla por Windeco Tecnología Eólica.

Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 5,0 m/s

Potencia nominal instalada: 45 (+ 55 en 2ª fase) kW

Producción estimada neta anual: 70 (+ 85) MWh

Horas anuales equivalentes: 1.555 h

Composición de la instalación:

9 (+ 11) x 5 kW de Windeco (W5-15h)



18 Instalación eólico solar en Alicante (Comunidad Valenciana)

Una instalación mixta para una vivienda aislada en Alicante

Identificación

Descripción general

Una vivienda aislada de un particular en San Vicente muestra cómo se puede conseguir suministro eléctrico lejos de la red con tan sólo un pequeño aerogenerador en combinación con placas solares fotovoltaicas, una instalación montada por Bornay.

La empresa familiar de los valencianos Bornay, creada a principios de los años setenta, ha instalado ya sus pequeños aerogeneradores en más de 1.800 instalaciones repartidas por todo el mundo, incluidas algunas utilizadas en misiones españolas en La Antártida.

En el caso de San Vicente, la instalación mixta está compuesta por un aerogenerador J. Bornay Inclín 1.500 neo, de 1,5 kW de potencia nominal, y placas solares de 1 kW de potencia pico. Además, cuenta también para el almacenamiento de la energía producida con un grupo de baterías, y de un inversor a 220 voltios de una potencia de 3 kW para el suministro eléctrico de la vivienda.

La miniturbina es una máquina bipala, equipada con alternador trifásico de imanes permanentes. El diámetro del rotor es de 3 metros y la altura de la torre que lo soporta de 12 metros.



Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento: 5,0 m/s

Potencia nominal instalada: 1,5 eólico (+ 1 solar) kW

Producción estimada neta anual: 2,4 (+ 1,2) MWh

Horas anuales equivalentes: 1.600 (+ 1.200) h

Composición de la instalación:

1 x 1,5 kW de Bornay (B3-12h)



19 Instalación eólico solar para bombeo en Barcelona (Cataluña)

Multipalas con 18 aspas para bombear agua

Identificación

Descripción general

Esta instalación, situada a 500 metros sobre el nivel del mar en las áreas conocidas como Puig dels Jueus (1999) y Sot dels Pradals (2002), está concebida para bombear agua subterránea con la que regar las aproximadamente tres hectáreas de zonas verdes del municipio de Vic. Se trata de un sistema híbrido compuesto por aerogeneradores multipala de bombeo y por un conjunto de placas solares fotovoltaicas (1.000 Wp), promovido por el Ayuntamiento de Vic.

Los molinos de bombeo utilizados son tres turbinas multipala fabricadas por Molins de Vent Tarragó, modelo M5015. Estas máquinas tienen una rueda de cinco metros de diámetro, con 18 palas, montada sobre una torre de 15 metros de altura y base cuadrangular de tres metros de lado.

La intensidad de la velocidad mínima del viento es de 3 m/s en verano y la máxima puede alcanzar los 11 m/s. Los molinos aprovechan este viento para extraer del suelo, mediante bombas de accionamiento mecánico, conjuntamente con una bomba eléctrica (350 W) alimentada por las placas solares, unos 85.000 m³ anuales.



Ficha técnica

Velocidad media anual estimada del viento:	5,5 m/s
Potencia equivalente nominal instalada:	9 kW
Producción equivalente estimada neta anual:	13,5 MWh
Horas anuales equivalentes:	1.500 h
Volumen anual de agua bombeada:	85 millones de litros
Composición de la instalación:	3 x M5015 de Molins de Vent Tarragó (T5-15h)





Perspectivas futuras



7

Perspectivas futuras

7.1 EL PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES

El pasado mes de agosto de 2005 el Gobierno aprobaba el Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010, un nuevo texto que revisaba el anterior Plan de Fomento de las Energías Renovables 1999-2010, para reconducir los esfuerzos estatales por alcanzar un objetivo común en la Unión Europea: que las fuentes renovables contribuyan con un mínimo del 12% al consumo nacional bruto de energía en 2010 (tal y como propuso en 1997 el Libro Blanco de las energías renovables de la Comisión Europea).

La revisión de la planificación anterior venía justificada, en la mayoría de los casos, por el insuficiente desarrollo de las fuentes renovables logrado hasta la fecha, pero no así con la eólica, donde se daba justo el extremo opuesto: con el sector de los aerogeneradores era necesario replantearse los objetivos fijados para el 2010, simplemente porque seis años antes de llegar a esa fecha prácticamente estaban conseguidos. En concreto, el Plan de Fomento de las Energías Renovables 1999-2010 se proponía lograr que en 2010 la energía eólica alcanzase una

Se podría evitar la emisión a la atmósfera de un mínimo de 16,9 millones de toneladas de CO₂

producción anual media de 1.852.000 toneladas equivalentes de petróleo (tep), pero a finales de 2004 ya proporcionaba para un año medio 1.683 ktep.

Con la aprobación del Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010, el objetivo ahora es sumar en los próximos cinco años 12.000 nuevos megavatios instalados a los 8.155 que ya había acumulados en el país hasta finales de 2004, es decir, llegar en 2010 a los 20.155 MW, una meta impensable hace no mucho. Por comunidades autónomas, los objetivos más ambiciosos para los próximos seis años son los fijados para Andalucía (1.850 megavatios nuevos), Comunidad Valenciana (1.579), Galicia (1.570), Aragón (1.246), Castilla y León (1.157) y Castilla La Mancha (1.066).

En cuanto a la energía eólica marina, el PER considera “improbable” que los proyectos existentes hasta hoy puedan pasar del papel a la realidad en el período 2005-2010. No obstante, el documento especifica que, si se avanza pronto en la resolución de las barreras que impiden su implantación, las aguas españolas podrían acumular en el horizonte de 2010 varios cientos de MW eólica marina.



Si se consiguiese el objetivo de 20.155 MW marcado por el PER, en 2010 el parque eólico español generaría unos 45.500 GWh anuales de energía eléctrica y evitaría la emisión a la atmósfera de entre un mínimo de 16,9 y un máximo de 43,7 millones de toneladas de CO₂, según la materia prima utilizada (ciclo combinado con gas natural o central térmica de carbón, respectivamente). Para ello, el documento gubernamental calcula que se necesitará una inversión acumulada en moneda corriente de 11.756 millones de euros para el período 2005-2010, que se espera procedan en su totalidad de la iniciativa privada, ya sea como financiación propia o ajena (en su mayor parte), dado el grado de madurez y los resultados demostrados por este sector.

7.2 BARRERAS

El Plan de Energías Renovables 2005-2010 también identifica una serie de obstáculos para continuar con el desarrollo de la energía eólica en España y alcanzar el objetivo de 20.155 MW. De forma esquemática, estas barreras que deberá superar el sector de los aerogeneradores son las siguientes:

Barreras en el aprovechamiento del recurso eólico y en la gestión de la producción:

- Incertidumbre en la valoración del potencial energético eólico en el mar.
- Dimensionado insuficiente de infraestructuras eléctricas de evacuación.
- Complejidad en la gestión de la producción eléctrica de origen eólico.
- Paulatino envejecimiento del parque tecnológico.

Barreras tecnológicas:

- Si existe generando una potencia significativa de procedencia eólica conectada a la red de distribución y/o transporte, perturbaciones de origen atmosférico suelen provocar inestabilidad sobre la misma, pudiendo afectar a la seguridad del sistema a gran escala si no se dispone de una reserva de potencia suficiente (lo que es habitual). Se necesitará, pues, para evitar estos inconvenientes adaptar en lo posible



las instalaciones existentes y los nuevos parques eólicos que entren en servicio, mediante la incorporación de dispositivos que ayuden a cumplir con los procedimientos operacionales vigentes del sistema.

- Necesidad de mantener e incrementar en el tiempo, mediante los apoyos necesarios, el ritmo inversor en Investigación, Desarrollo e Innovación tecnológica para mejorar la competitividad de nuestra industria eólica en el contexto internacional.
- Incrementar ostensiblemente la fiabilidad de las herramientas de predicción eólica. Algo muy difícil de conseguir en horizontes temporales de más de 30 horas.
- Favorecer el desarrollo tecnológico mediante el apoyo a la construcción de prototipos



de aerogeneradores *offshore* para experimentación, con el objetivo de permitir a medio plazo instalar parques eólicos mar adentro que ofrezcan una alta disponibilidad técnica, y por ende una elevada producción y unos costes de operación razonables. Facilitar, a corto plazo, la implementación de los prototipos de instalaciones demostrativas de primeras series de aerogeneradores, a pequeña escala, en el mar.

- Concienciar a los promotores sobre las ventajas de impulsar la calidad en todos los procesos relacionados con el aprovechamiento de esta fuente de energía. Instalación de aerogeneradores que cuenten con certificación de tipo concedida por entidad homologadora acreditada. **Certificación del proyecto** en su conjunto.

Barreras normativas:

- Falta de armonización en el desarrollo normativo de ámbito regional.

- Normativa de conexión, acceso a la red y condiciones de operación obsoletas.
- Regulación de la garantía de origen de la electricidad con fuentes renovables.
- Existencia de un límite de primas y tarifas actuales hasta los 13.000 MW.
- Inexistencia de una regulación específica para las instalaciones eólicas en el mar.

Barreras económicas y sociales:

- Rentabilidad insuficiente, en general, de las instalaciones eólicas ubicadas en el mar en comparación con el promedio de las de tierra.
- Importante contestación social a la implantación de parques eólicos en el mar.

7.3 MEDIDAS

Aunque en el punto anterior se ha hecho referencia a algunas de las medidas a adoptar en el futuro para superar las barreras detectadas y alcanzar los objetivos anunciados, a continuación se muestra de forma esquemática el conjunto de ellas, los órganos responsables y la fecha prevista de implementación.



Barreras	Medidas	Responsable	Calendario
Infraestructuras de evacuación insuficientes	Desarrollo de redes de transporte	REE	2006-2010
	Revisión de la Planificación de los Sectores de Gas y Electricidad	REE y Ministerio de Industria	2006
Gestión inadecuada de la producción eléctrica de origen eólico	Establecimiento de un centro único de operaciones para el Régimen Especial	REE y Ministerio de Industria	2005-2006
	Desarrollo de centros de coordinación de parques eólicos que agrupen instalaciones de una misma empresa o de un determinado ámbito territorial	REE y operadores	2006-2007
	Ampliación del plazo de aplicación del incentivo para la transformación de aerogeneradores antiguos	Ministerio de Industria	2005
Apoyo insuficiente a la innovación tecnológica	Participación pública más activa en I+D+i, para el desarrollo de la tecnología nacional	Ministerio de Industria/ IDAE y Ministerio de Ciencia y Tecnología	2005-2010
Fiabilidad de las herramientas de predicción eólica	Desarrollo de herramientas de predicción con fiabilidad suficiente	Agentes del Sector	2005-2006
Falta de regulación específica para instalaciones eólicas en el mar	Desarrollo de legislación específica	Ministerios de Industria y Medio Ambiente	2005-2006

Barreras	Medidas	Responsable	Calendario
Falta de tecnología para los parques eólicos marinos, e inexistencia de parques en el mar	Desarrollo de aerogeneradores nacionales adaptados a condiciones marinas, e implantación de parques de demostración en el mar	Tecnólogos e IDAE	2006-2008
Penalizaciones por desvíos en la venta al distribuidor a tarifa regulada	Modificación del RD 436/2004, eliminando desvíos para las instalaciones acogidas a la tarifa regulada	Ministerio de Industria	2005
Falta de armonización en el desarrollo normativo de ámbito regional	Homogeneización de procedimientos administrativos en las CC. AA., sobre todo medioambientales	CC. AA., Ministerios de Industria y Medio Ambiente	2005-2010
	Eliminación de moratorias de tramitación en algunas regiones	CC. AA.	2005-2006
Normativa de conexión, acceso a red y condiciones de operación obsoleta (O. M. 05/09/1985)	Nuevo Real Decreto sobre Conexión de instalaciones en el régimen especial	Ministerio de Industria	2006
Regulación de la garantía de origen de la electricidad con fuentes renovables	Transposición de la Directiva 2001/77/CE, sobre garantía de origen	Ministerio de Industria	2005
Limitación de las primas y tarifas actuales hasta alcanzar los 13.000 MW	Modificación del RD 436/2004, incrementando el límite de potencia eólica para el régimen económico establecido	Ministerio de Industria	2005



8

Saber más



8

Saber más

8.1 ORÍGENES DE LA ENERGÍA EÓLICA EN ESPAÑA

Fueron unas conferencias impartidas en 1951 por el insigne matemático inglés Milne-Thomson, en el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial Esteban Terradas (INTA), las que trajeron por primera vez a España el interés por el aprovechamiento del viento con fines energéticos. Este interés se materializó cuatro años más tarde en la publicación del informe *“La energía del viento en España y su aprovechamiento”*, realizado por Barasoain y Fontán. Un documento en el que a su vez se basaría, más de dos décadas después, José Luis Cardona para redactar en 1981 *“Energía eólica y aeroturbinas. Posibilidades de utilización en España”*, donde se identificaron ya diversas zonas con potencial eólico importante: el noroeste peninsular, el Valle del Ebro, el Cabo de Creus, el Estrecho de Gibraltar y algunos emplazamientos en La Mancha y las Islas Canarias. Este último estudio concluyó que para analizar de forma rigurosa estas áreas se necesitaban prospecciones eólicas más detalladas y ofreció una estimación de la potencia eléctrica de origen eólico que podría instalarse en España.

Por otro lado, y también a principios de los años 80, el INTA llevó a cabo otro análisis con los datos eólicos disponibles que permitió trazar un mapa del potencial existente y seleccionar el emplazamiento nacional con un mayor recurso contrastado: Tarifa. Y allí mismo, en el Cerro del Cabrito, sería donde en 1982 se instalaría el que fue el primer aerogenerador de tamaño considerable y tecnología avanzada de España: el “*mazinguer*”. Una turbina experimental de diseño y construcción nacional de 100 kW de potencia, con un rotor de 20 metros de diámetro y una torre metálica de 20 metros de altura. Se trataba del resultado de un programa de investigación puesto en marcha tres años antes por el Centro de Estudios de la Energía del Ministerio de Industria y Energía; sin embargo, no llegó a funcionar de forma satisfactoria hasta 1985, y después de revisar y modificar todos sus sistemas.

También por esas fechas, en 1984 y bajo el paraguas de la Ley 80/82 sobre Conservación de la Energía, se conectó a la red el primer parque eólico del país en El Ampurdán (Gerona), una instalación que contaba con cinco aerogeneradores de 24 kW de potencia nominal desarrollados gracias al Programa Energético UNESA-INI (PEUI) iniciado en los años setenta. Y, de nuevo aquí, los vientos no fueron muy favorables, pues pocos años después el parque era desmontado debido a las más que exigentes condiciones de la zona y a los problemas técnicos encontrados.



A pesar de estos primeros pasos inseguros, la incipiente industria eólica española siguió caminando mientras diseñaba y probaba con diversa fortuna máquinas de variada potencia. Los mayores avances no llegaron de la mano de la tecnología sino de la administración, con la aprobación de importantes programas nacionales para impulsar los proyectos de aplicación y demostración, como los Planes de Energías Renovables de 1986 y 1989. Así fue como se construyeron los parques eólicos de Granadilla (Canarias), La Muela (Aragón),

Estaca de Bares (Galicia), Ontalafia (Castilla-La Mancha), Tarifa (Andalucía) y Cabo de Creus (Cataluña). Corría entonces el año 1990, España tenía ya instalados 6,6 MW de potencia eólica y la industria nacional estaba ya preparada para construir parques grandes con máquinas de 150 kW y 180 kW. Un año después fue aprobado un nuevo Plan Energético Nacional (PEN), con un Plan de Ahorro y Eficiencia Energética (PAEE) que contemplaba aumentar la producción de



La macro turbina de 144 palas del norteamericano Charles F. Brush

La historia moderna del aprovechamiento energético del viento puede comenzar a contarse por la construcción en 1888 en Cleveland (Ohio) de la que se piensa que fue la primera turbina eólica para generación de electricidad, a manos del norteamericano Charles F. Brush (1849-1929). Esta máquina tenía poco que ver con los aerogeneradores actuales, pues a pesar de tener una potencia de solo 12 kW, debía cargar con un enorme rotor de madera compuesto por 144 palas.

A partir de ahí, la historia da un salto a Dinamarca, donde las aeroturbinas irán adoptando progresivamente su apariencia moderna, gracias a la contribución de personas como Poul la Cour (1846-1908). Otros países como EE. UU., Alemania, Francia, Rusia o Reino Unido verían nacer prototipos muy distintos a lo largo del siglo XX. No obstante, se acabaría imponiendo el concepto danés de tres palas con rotor a barlovento. La pega era que estas máquinas eran demasiado caras para permitir su implantación a gran escala y entonces fue cuando estalló la crisis del petróleo en 1973, lo que obligó a avivar el ingenio como nunca para poner a punto otras fuentes de energía alternativas. El salto definitivo se produjo a principio de los años ochenta, con la instalación masiva de pequeños aerogeneradores de 55 kW de potencia en California.

Fue en 1984 cuando se conectó en España a la red eléctrica nacional el primer parque eólico

las energías renovables en casi 1,2 millones de toneladas equivalentes de petróleo durante el período 1991-2000. Como consecuencia de ello, en 1995 la potencia eólica acumulada había aumentado hasta los 115 MW. Las máquinas ya no tenían nada que ver con el “mazinguer” de Tarifa y los inversores comenzaban a fijarse en la energía del viento. En 1996, la potencia subió a 211 MW. En 1997, a 440. En 1998, a 834. En 1999, a 1.476. Y ya en el año 2000 a 2.292, es decir, 13 veces más que la potencia prevista para dicho año según el PAEE (175 MW). La realidad había superado con creces las optimistas estimaciones del PAEE realizadas 10 años antes.



8.2 CURIOSIDADES

- Las referencias históricas más antiguas que se tienen del aprovechamiento del viento por parte del ser humano son unos dibujos datados en unos 50.000 años a.C., en los que se ve una embarcación a vela navegando por el Nilo.
- Hay diversas tesis sobre el origen de los molinos de viento. Unas sitúan la invención de estos ingenios en la Grecia clásica, en los primeros siglos de nuestra era; otras defienden que es una invención asiática, que pudieron llegar a Europa con las Cruzadas o las invasiones árabes.
- Existe una rica mitología alrededor del viento. En la Grecia clásica, el Dios padre de los doce vientos era Eolo (que da nombre a esta energía). En la Odisea de Homero, Eolo entrega a Ulises estos vientos dentro de un odre para que le ayuden en su viaje de regreso a Ítaca. Pero sus compañeros abren el odre cuando está dormido y desencadenan una terrible tempestad.
- La mención más antigua de molinos de viento aparece en una obra de Al-Mas'udi, que vivió entre los años 912 y 957 de la era cristiana, y sitúa estos ingenios en Sijistán, entre

lo que hoy es Irán y Afganistán. Se trataba de construcciones muy artesanales que sujetaban en su interior unas aspas de caña de eje vertical.

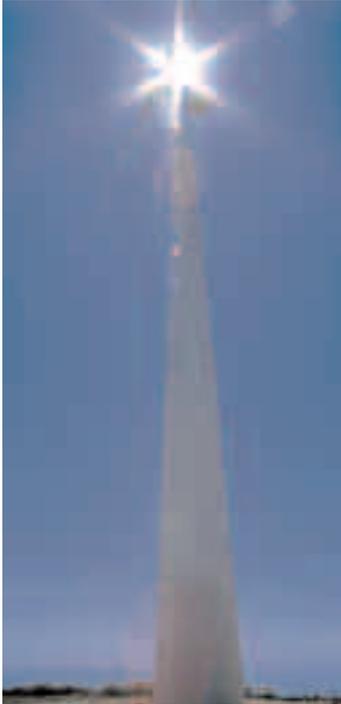
- Los molinos de viento no llegan a Europa hasta la Edad Media, distinguiéndose tres tipos: el “molino de poste” y el “molino sobre machones”, en los países nórdicos; y el “molino de torre”, en los países del sur.
- Las referencias más antiguas en España corresponden a los tiempos del Califato de Córdoba, en el siglo X. Otros textos hablan también de molinos de viento en Tarragona entre el siglo XIII y XIV, construidos por “los antiguos”.
- Los expertos creen que “los treinta o cuarenta molinos de viento” contra los que Cervantes hace luchar a Don Quijote podían ser los de Mota del Cuervo (Cuenca) o los del Campo de Criptana (Ciudad Real).

8.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS

Actuaciones (*performance*): Conjunto de características funcionales del aerogenerador en función de parámetros operacionales y variables ambientales.

Aerobomba (*wind turbine pump*): Aeroturbina en la que la potencia mecánica desarrollada se transforma en fuerza impulsora, mediante accionamiento directo de una bomba de pistón, para extraer generalmente agua dulce del subsuelo.





Aerogenerador (*wind turbine generator system*): Aeroturbina en la que la energía mecánica producida se transforma en energía eléctrica. Se compone de torre, góndola y rotor.

Aeroturbina (*wind turbine*): Máquina giratoria para la obtención de energía mecánica a partir de la energía del viento. Existen de eje horizontal o vertical, según la orientación del eje del rotor. En nomenclatura anglosajona a veces aparece con el acrónimo WECS (wind energy conversion system) aunque dicha acepción es más extensa.

Ángulo de ataque (*aerodynamic angle of attack*): Ángulo que forma la cuerda del perfil con la corriente de aire incidente relativa al perfil.

Área barrida (*swept area*): Superficie del círculo cuyo radio es el semidiámetro del rotor especificado en la ficha de características técnicas de la aeroturbina. Se utiliza para adimensionalizar.

Barlovento (*upwind*): Parte de donde viene el viento, respecto a un punto o lugar determinado.

Borde de ataque (*leading edge*): Punto anterior del perfil sobre el cual incide la corriente aérea.

Borde de salida (*training edge*): Punto posterior del perfil sobre el cual abandona la corriente aérea.

Buje (*hub*): Elemento de la aeroturbina en el que van fijadas las palas y que conecta con el sistema de transmisión. La altura del buje se toma como referencia en una aeroturbina para calcular, entre otras variables, velocidades de viento.

Cambio de paso (*pitch change*): Variación del ángulo de ataque de las palas con el objeto de regular la potencia suministrada por las aeroturbinas de paso variable.

Coefficiente de potencia (*power coefficient*): Coeficiente que mide la eficiencia de la aeroturbina. Se obtiene dividiendo la potencia suministrada por la aeroturbina entre la energía eólica por unidad de tiempo (potencia eólica contenida en la corriente incidente sin perturbar) que atraviesa una superficie equivalente al área barrida por el rotor.

Cortadura (*wind shear*): Variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo. Se representa mediante el perfil vertical de viento.

Cuerda (*chord*): Línea recta imaginaria que une el borde de ataque y el borde de salida de un perfil.

Curva de potencia (*power curve*): Representación gráfica de la potencia neta, corregida por densidad atmosférica, en función de la velocidad de viento incidente sin perturbar a la altura del buje, promediadas ambas variables simultáneamente cada 10 minutos.

Distribución de Weibull (*Weibull probability distribution*): Función de probabilidad, representada mediante una curva, que muestra en tanto por ciento la distribución de la velocidad de viento (a una altura sobre el nivel del suelo dada) a lo largo de un período de tiempo en un lugar determinado. En muchos casos la curva aproxima fielmente la distribución real de viento y es representativa del emplazamiento si el período de tiempo analizado es suficientemente largo (más de 10 años).

Disponibilidad (*availability*): Porcentaje de tiempo en un período determinado que una máquina ha estado lista para funcionar.

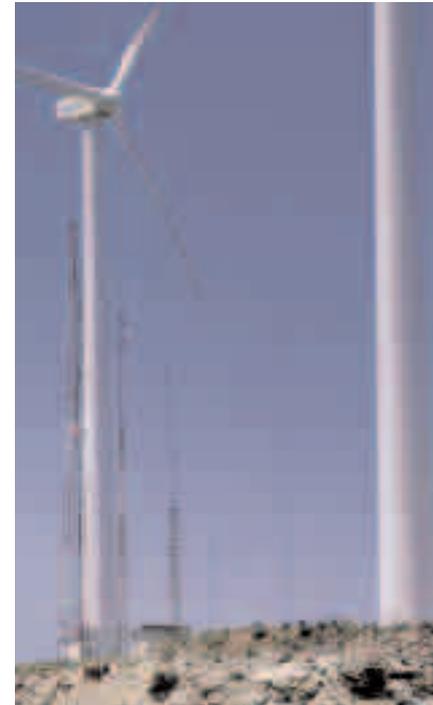
Disposición en planta (*lay-out*): Representación gráfica de la localización relativa de los equipos de una instalación industrial. Constituye los planos de implantación.

Envergadura (*span*): Longitud de la pala.

Estela (*wake*): Zona situada a sotavento de la aeroturbina cuyo campo fluido se encuentra perturbado por la presencia de esta.

Extradós (*suction face, upper section*): Parte superior del perfil.

Factor de capacidad (*capacity factor*): Relación entre el número de horas equivalentes y el número de horas totales del período considerado. Se expresa en tanto por ciento.



Fatiga (*fatigue*): Mecanismo de fallo de los materiales que aparece como consecuencia de la aplicación de cargas repetidas. Las grietas originadas por fatiga, si no se controla su crecimiento, pueden provocar fallos catastróficos inesperados, ocasionando la destrucción del equipo directamente afectado o la disminución generalizada de seguridad que puede llevar al colapso del sistema en su integridad. Para evitarlo, los componentes se diseñan y construyen con criterios de “vida segura a fatiga” que garantizan que durante un período de tiempo determinado no van a fallar por fatiga.

Góndola (*nacelle*): Plataforma cubierta soportada por la torre del aerogenerador cuya estructura se denomina chasis o bastidor y en la que se sitúan generador eléctrico, multiplicadora y demás equipos auxiliares. No incluye al rotor.

Guiñada (*yawing*): Giro de la góndola alrededor del eje de la torre con el objeto de enfrentar en todo momento, en operación normal, el rotor al viento incidente.

Horas equivalentes (*equivalent-hours*): Número de horas que un aerogenerador tendría que haber estado funcionando a la potencia nominal para producir la misma cantidad de energía en el período de tiempo considerado (por lo general un año). Se calcula dividiendo la energía generada en ese período entre la potencia nominal.

Larguero (*spar*): Es la parte que confiere resistencia estructural a la pala. Se construye de una pieza y abarca toda la envergadura, desde la raíz (*root*) hasta la punta (*tip*). Los más ligeros y resistentes, aunque más costosos, se fabrican con fibra de carbono.



Intradós (*pressure face, lower section*): Parte inferior del perfil.

Límite de Betz (*Betz limit*): Máximo valor del coeficiente de potencia alcanzable por el rotor de una aeroturbina. Fue establecido por el físico alemán Albert Betz en el año 1919 y su valor es el 59,3%.

Mantenimiento correctivo (*corrective maintenance*): El que se lleva a cabo una vez producido el fallo mediante la reparación o sustitución de la pieza averiada.

Mantenimiento preventivo (*preventive maintenance*): El que se lleva a cabo de forma periódica o programada de acuerdo con una planificación previa, establecida generalmente en el manual de mantenimiento de los equipos. Permite normalmente anticiparnos al fallo evitando males mayores.

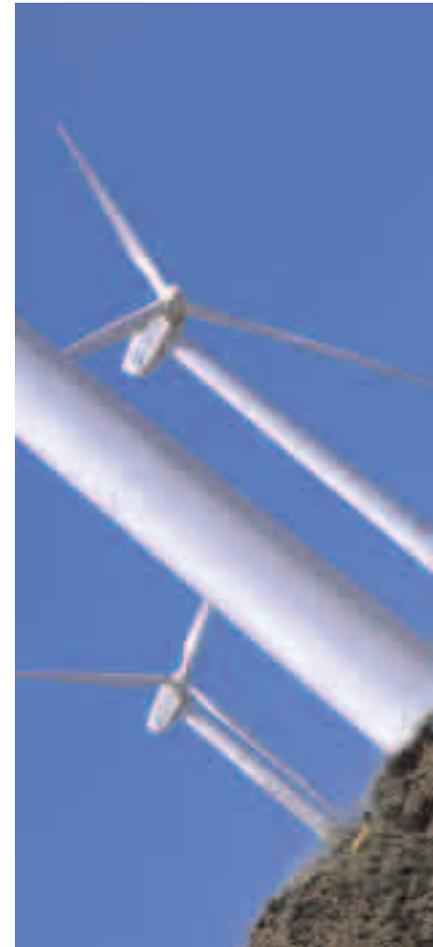
Mantenimiento predictivo (*on-condition maintenance*): El que se realiza basándose en el seguimiento continuo de la vida de los equipos, aplicando generalmente ensayos no destructivos mediante el análisis exhaustivo de las series temporales, previamente registradas y almacenadas, de las variables más significativas del funcionamiento del sistema. Permite aumentar la vida de los equipos y evitar la paralización de la actividad. En ocasiones se aplican técnicas de inteligencia artificial (redes neuronales, *fuzzy logic*).

Mantenimiento productivo total (*total productive maintenance*): Es aquel que busca maximizar la eficacia de los equipos durante toda su vida mediante el compromiso hacia la mejora continua del personal involucrado en el mismo. Es costoso y lento de implementar, aunque los resultados a la larga suelen ser sorprendentemente satisfactorios. Su lema es: “cero averías en los equipos, cero defectos en la producción y cero accidentes laborales”.

Mapa eólico (*wind map*): Mapa en donde se representan sobre un determinado territorio velocidades medias del viento, direcciones predominantes, ráfagas, etc. Las líneas del mapa que unen puntos de igual velocidad media se denominan isoventas.

Pala (*blade*): Elemento del rotor con forma aerodinámica que produce las fuerzas necesarias para mover el rotor y producir potencia.

Parque eólico (*wind farm*): Instalación, de titularidad única, compuesta por dos o más aerogeneradores agrupados, que vierte la energía producida en un mismo punto de la red eléctrica.





Parque eólico marino (*offshore wind farm*): Parque eólico situado mar adentro.

Parque eólico terrestre (*onshore wind farm*): Parque eólico situado en tierra firme.

Pérdida aerodinámica (*stall*): Separación física de la capa límite fluida (*boundary layer*) de una superficie aerodinámica cuando se supera un determinado ángulo de ataque, provocando una caída brusca de sustentación (*lift*) y un aumento de resistencia aerodinámica (*drag*). Este fenómeno se utiliza para regular la potencia suministrada en aeroturbinas de paso fijo y en algunas de paso variable (*active stall*).

Perfil (*Airfoil profile*): Cada una de las secciones transversales que conforman la pala, perpendiculares al larguero de la misma. Su forma se puede simular mediante la superposición de la línea media del perfil (*centre line*), curvatura (*camber*) y distribución de espesor (*thickness*).

Posición de bandera (*feathering*): Posición de seguridad de las palas del rotor, prácticamente perpendicular al plano del mismo, de tal manera que no se produce sustentación, ni consecuentemente par motor, ni giro apreciable del rotor. Se emplea como método de parada normal de la aeroturbina.

Potencia neta (*net power*): Potencia eléctrica suministrada por el aerogenerador en la cual están descontadas las potencias eléctricas de los equipos auxiliares necesarios para su correcto funcionamiento (regulación, control, iluminación, etc.). Se suele medir en baja tensión, en la base de la torre antes de la conexión al transformador de media tensión.

Potencia nominal (*rated power*): Potencia neta especificada por el fabricante en la placa de características del aerogenerador. Coincide con la máxima potencia neta del aerogenerador en régimen de funcionamiento permanente.

Ráfaga (*gust*): Viento fuerte, repentino y de corta duración.

Revestimiento (*skin*): Es la parte de la estructura de la pala que le confiere su forma aerodinámica.

Su función es captar lo más eficientemente posible la energía cinética del viento. Su acabado superficial debe ser extraordinariamente fino.

Rosa de vientos (*wind rose*): Representación mediante un diagrama polar del porcentaje de ocurrencia del viento según la dirección de incidencia hacia el observador. Se suelen representar 16 direcciones.

Rotor (*wind turbine rotor*): Sistema de captación de la energía cinética del viento. Se compone de palas y buje.

Sotavento (*downwind*): La parte opuesta a aquella de donde viene el viento con respecto a un punto o lugar determinado.

Torre (*tower*): Estructura que sostiene la góndola y el rotor de la aeroturbina. Existen dos tipos: tubulares y de celosía. Las torres tubulares se fabrican de acero u hormigón o de una combinación de ambos. Junto con la cimentación constituye la estructura soporte de la aeroturbina.

Torsión (*geometrical twist*): Ángulo geométrico que forma la cuerda de un perfil determinado con la cuerda del perfil situado en punta de pala.

Turbulencia (*turbulence*): Variación temporal y espacial de la velocidad del viento.

Velocidad de arranque (*start-up wind speed*): Velocidad de viento más baja a la altura del buje a la cual la aeroturbina inicia su movimiento rotacional. Es inferior a la velocidad de acoplamiento.

Velocidad de acoplamiento (*cut-in wind speed*): Velocidad de viento diezminutal mínima a la altura del buje a la cual la aeroturbina produce energía.

Velocidad nominal (*rated wind speed*): Velocidad de viento diezminutal mínima a la altura del buje a la cual la aeroturbina produce la potencia nominal.





Velocidad de desconexión (*cut-out wind speed*): Velocidad de viento diezminutal máxima a la altura del buje de funcionamiento de la aeroturbina. Por encima de ella, mediante el accionamiento de ciertos mecanismos, el rotor deja de suministrar potencia al eje motor.

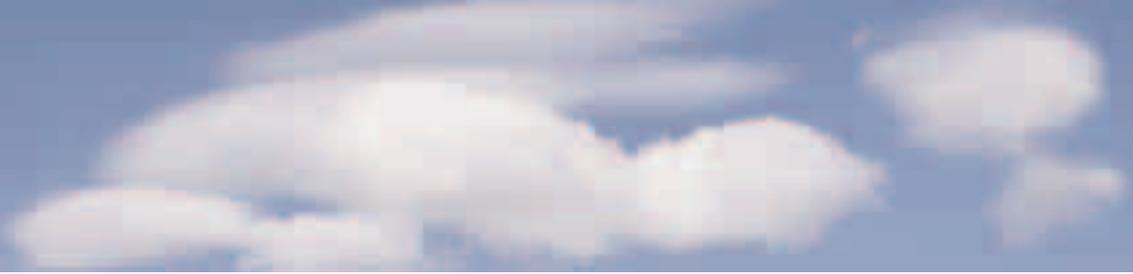
Velocidad de parada (*shutdown wind speed*): Velocidad de viento a la altura del buje a la cual el sistema de control de la aeroturbina provoca la parada del rotor, usualmente mediante la puesta en bandera de las palas.

Velocidad de referencia (*reference wind speed*): Velocidad de viento más alta a la altura del buje, promediada en períodos de 10 minutos, que se puede presentar en un período de recurrencia de 50 años y que se utiliza para definir, según la normativa, la “Clase” de un aerogenerador. Por ejemplo, para un aerogenerador Clase I la velocidad de referencia es 50 m/s (180 km/h).

Velocidad de viento extrema (*extreme wind speed*): Velocidad de viento más alta a la altura del buje, promediada en períodos de 3 segundos, que la aeroturbina o sus elementos está(n) diseñada(os) para soportar. Para aerogeneradores Clase I dicho valor es 70 m/s (252 km/h).

Velocidad de punta de pala (*tip-speed*): Velocidad lineal del extremo de la pala. Se calcula multiplicando la velocidad de rotación del rotor (*rotor speed*) por el radio de la aeroturbina. Un aerogenerador de 50 m de diámetro cuyo rotor gire a 30 r.p.m. obtiene una velocidad punta de pala de 78 m/s (283 km/h) mientras que otro de 100 m de diámetro que gire a 18 r.p.m. alcanza 94 m/s (339 km/h), este último para ubicación mar adentro.

Vida de diseño (*design lifetime*): Período de tiempo durante el cual se garantiza el funcionamiento seguro y fiable de una aeroturbina diseñada según normas, siempre y cuando se siga el programa de Operación y Mantenimiento recomendado por el fabricante. Cualquier aerogenerador de características no especiales (*offshore*, vientos extremos,...) diseñado siguiendo la normativa IEC 61.400-1 deberá operar de forma segura y fiable durante al menos 20 años.



Anexos



Anexos

ANEXO I. LEGISLACIÓN Y NORMATIVA

AI.1 Legislación internacional y europea

- Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad.
- COM(97) 599 final, noviembre de 1997. *“Energía para el futuro: fuentes de energía renovables. Libro Blanco para una estrategia y un plan de acción comunitarios”*.
- Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, del 11 de diciembre de 1999.
- Directiva 2004/101/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre, por la que se establece

un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad con respecto a los mecanismos de proyectos del Protocolo de Kioto.

- COM(2005) 265 final, junio de 2005. Libro Verde sobre eficiencia energética o cómo hacer más con menos.
- COM(2005) 627 final, diciembre de 2005. Comunicación de la Comisión sobre el apoyo a la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables.

Al.2 Legislación nacional

- Real Decreto-Ley 3/2006, de 24 de febrero, por el que se modifica el mecanismo de casación de las ofertas de venta y adquisición de energía presentadas simultáneamente al mercado diario e intradiario de producción por sujetos del sector eléctrico pertenecientes al mismo grupo empresarial (BOE nº 53, 03/03/2006).
- Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero (BOE nº 59, 10/03/05).
- Real Decreto 2392/2004, de 30 de diciembre, por el que se establece la tarifa eléctrica para 2005 (BOE nº 315, 31/12/04).
- Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial (BOE nº 75, 27/03/04).
- Real Decreto 1432/2002, de 27 de diciembre, por el que se establece la metodología para la aprobación o modificación de la tarifa eléctrica media o de referencia (BOE nº 313, 31/12/02).

- Ley 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del Real Decreto legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental (BOE nº 111, 09/05/01).
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica (BOE nº 310, 27/12/00).
- Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico (BOE nº 285, 28/11/97).
- Orden de 5 de septiembre de 1985, por la que se establecen normas administrativas y técnicas para funcionamiento y conexión a las redes eléctricas de centrales hidroeléctricas de hasta 5000 kVA y centrales de autogeneración eléctrica (BOE nº 219, 12/09/85).
- Decreto 584/1972, de 24 de febrero, de Servidumbres Aeronáuticas (BOE nº 69, 21/03/1972).

Al.3 Administraciones autonómicas

Andalucía

- Resoluciones de 5 de junio de 2003, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por las que se delimitan las Zonas Eléctricas de Evacuación (ZEDE) y se realizan convocatorias de acceso y conexión a sus redes eléctricas para evacuar la energía de las instalaciones de producción acogidas al régimen especial (BOJA nº 116, 19/06/03).
- Orden de 30 de septiembre de 2002, por la que se regula el procedimiento para priorizar el acceso y conexión a la red eléctrica para evacuación de energía de las instalaciones de generación contempladas en el Real Decreto 2818/1998 (BOJA nº 124, 24/10/02).

Aragón

- Orden de 6 de julio de 2004, del Departamento de Industria, Comercio y Turismo, por la que se desarrolla el procedimiento de toma de datos para la evaluación del potencial eólico en el procedimiento de autorización de las instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de la energía eólica, en Aragón (BOA nº 84, 20/07/04).
- Decreto 348/2002, de 19 de noviembre, del Gobierno de Aragón, por el que se suspende de la aprobación de nuevos Planes Eólicos Estratégicos (BOA nº 140, 27/11/02).
- Orden de 30 de noviembre de 2000, del Departamento de Industria, Comercio y Desarrollo, por la que se dispone el procedimiento de asignación de conexiones a la Red Eléctrica para instalaciones de generación, en el ámbito del Plan de Evacuación de Régimen Especial en Aragón 2000-2002 (PEREA).
- Decreto 93/1996, de 28 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se regula el procedimiento de autorización de instalaciones de innovación y desarrollo para el aprovechamiento de la energía eólica en Aragón (BOA nº 67, 10/06/96).
- Decreto 279/1995, de 19 de diciembre, de la Diputación General de Aragón, por el que se regula el procedimiento para la autorización de las instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de la energía eólica en Aragón ((BOA nº 1, 03/01/96).

Asturias

- Decreto 31/2003, de 30 de abril, de prórroga de la moratoria para la tramitación de nuevas solicitudes de instalación de parques eólicos (BOPA 09/05/03).
- Decreto 13/1999, de 11 de marzo, por el que se regula el procedimiento para la instalación de parques eólicos en el Principado de Asturias (BOPA 09/04/99).

Canarias

- Decreto 32/2006, de 27 de marzo, por el que se regula la instalación y explotación de los parques eólicos en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias (BOC nº 61, 28/03/06).
- Orden de 21 de septiembre de 2001, por la que se regulan las condiciones técnico-administrativas de las instalaciones eólicas ubicadas en Canarias (BOC nº 137, 19/10/01).
- Ley 11/1997, de 2 de diciembre, de regulación del Sector Eléctrico Canario (BOC nº 21, 28/01/98).

Cantabria

- Decreto 41/2000, de 14 de junio, por el que se regula el procedimiento para la autorización de parques eólicos en Cantabria (BOC nº 119, 20/06/00).

Castilla y León

- Resoluciones de 25 de enero, 31 de marzo, 4, 5, 6, 12 y 18 de abril de 2000, de la Consejería de Medio Ambiente, por la que se hacen públicos los Dictámenes Medioambientales sobre el Plan Eólico de Castilla y León.
- Decreto 189/1997 de 26 de septiembre, por el que se regula el procedimiento para la autorización de las instalaciones de producción de energía eólica (BOC y L. nº 187, 30/09/97).

Castilla-La Mancha

- Orden de 7 de febrero de 2000, del Consejero de Agricultura y Medio Ambiente, por la que se establece la relación de lugares que no resultan adecuados para la instalación de parques eólicos por motivos de sensibilización ambiental (DOCM nº 12, 15/02/00).
- Decreto 58/1999, de 18 de mayo, por el que se regula el aprovechamiento de la energía eólica a través de parques eólicos en Castilla-La Mancha (DOCM nº 33, 21/05/99).

Cataluña

- Decreto 174/2002, de 11 de junio, regulador de la implantación de la energía eólica en Cataluña (DOGC nº 3.664, 26/06/02).

Ceuta

- Reglamento regulador de las instalaciones de aerogeneradores en la Ciudad Autónoma de Ceuta (BOCCE Nº 4.183, 17/01/03).

Comunidad Valenciana

- Resolución de 25 de febrero de 2003, del Consejero de Industria, Comercio y Energía, sobre convocatoria para el desarrollo y ejecución del Plan Eólico de la Comunidad Valenciana (DOGV nº 4.449, 27/02/03).
- Orden de 31 de julio de 2001, de la Consejería de Industria y Comercio, por la que se realiza la convocatoria pública para el desarrollo y ejecución del Plan Eólico de la Comunidad Valenciana (DOGV nº 4.056, 02/08/01).

Extremadura

- Decreto 192/2005, de 30 de agosto, por el que se regula el procedimiento para la autorización de parques eólicos en Extremadura (DOE nº 104, 06/09/05).

Galicia

- Orden de 17 de diciembre de 2004, por la que se abre el plazo de presentación de solicitudes de autorización para la instalación de parques eólicos singulares (DOG nº 5, 10/01/05).
- Decreto 302/2001, de 25 de octubre, por el que se regula el aprovechamiento de la energía eólica en Galicia (DOG nº 235, 05/12/01).

La Rioja

- Decreto 25/2002, de 3 de mayo, por el que se establece una moratoria para la planificación de nuevos parques eólicos en La Rioja (BOR nº 55, 07/05/02).
- Decreto 48/1998, de 24 de julio, por el que se regula el procedimiento para las instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de la energía eólica en La Rioja (BOR nº 90, 28/07/98).

Navarra

- Decreto Foral 71/2005, de 25 de abril, por el que se modifica el Decreto Foral 68/2003 (BON nº 59, 18/05/05).
- Orden Foral 634/2004, de 21 de junio, del Consejero de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda, por la que se establece el procedimiento para llevar a cabo modificaciones en parques eólicos por motivos medioambientales (BON nº 95, 09/08/04).
- Decreto Foral 200/2004, de 10 de mayo, por el que se regulan las modificaciones en los parques eólicos por motivos medioambientales (BON nº 65, 31/05/04).
- Decreto Foral 68/2003, de 7 de abril, por el que se dictan normas para la implantación y utilización de instalaciones de generación de energía eólica para autoconsumo o con fines experimentales (BON nº 71, 06/06/03).
- Decreto Foral 685/1996, de 24 de diciembre, por el que se suspende la aprobación de nuevos parques eólicos (BON nº 6, 13/01/97).
- Decreto Foral 125/1996, de 26 de febrero, por el que se regula la implantación de los parques eólicos (BON nº 32, 13/03/96).

País Vasco

- Decreto 104/2002, de 14 de mayo, por el que se aprueba definitivamente el Plan Territorial Sectorial de la Energía Eólica en el País Vasco (BOPV nº 105, 05/06/02).
- Decreto 115/2002, de 28 de mayo, por el que se regula el procedimiento para la autorización de los parques eólicos en el País Vasco (BOPV nº 108, 10/06/02).



ANEXO II. DIRECCIONES DE INTERÉS

All.1 Direcciones de Internet

Internacional

Agencia Internacional de la Energía
www.iea.org

Consejo Mundial de la Energía
www.worldenergy.org

Unión Europea

Dirección General de Energía y Transportes (DG XVII)
www.europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/index_es.html

España

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
www.idae.es

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
www.ciemat.es

Ente Regulador del Sector Energético

Comisión Nacional de la Energía
www.cne.es

Operador del Sistema Eléctrico

Red Eléctrica de España, S.A.
www.ree.es

Operador del Mercado Eléctrico

Operador del Mercado Ibérico de Energía - Polo Español, S.A.
www.omel.es

Apoyo y Fomento de la Investigación Técnica

Programa de Fomento de la Investigación Técnica.
Programa Nacional de Energía
www.mityc.es/profit

Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial
www.cdti.es

Red CORDIS. VI Programa Marco
www.cordis.lu/sustdev/energy

Centros de Excelencia Tecnológica

Centro Nacional de Energías Renovables (España)
www.cener.com

Riso National Laboratory (Dinamarca)
www.risoe.dk

Deutsches Windenergie-Institut (Alemania)
www.dewi.de

National Renewable Energy Laboratory (EE. UU.)
www.nrel.gov

Swiss Federal Institute of Technology (Suiza)
www.ethz.ch

Mantenimiento y Calidad Total

Asociación Española de Mantenimiento
www.aem.es

Asociación Española para la Calidad
www.aec.es

Normalización

Asociación Española de Normalización y Certificación
www.aenor.es

Comité Electrotécnico Internacional
www.iec.ch

Acreditación

Entidad Nacional de Acreditación
www.enac.es

Certificación de Aerogeneradores

Germanischer Lloyd
www.gl-group.com/industrial/glwind/3780.htm

Det Norske Veritas
www.dnv.dk/windturbines

Medición y Ensayos en Aerogeneradores

Measuring Network of Wind Energy Institutes
www.measnet.com

Instituto Ignacio Da Riva
www.idr.upm.es

Prospectiva Tecnológica

Observatorio de Prospección Tecnológica Industrial
www.opti.org

Predicción Climatológica

Anemos Project
<http://anemos.cma.fr>

Energía Eólica Marina

Offshore Windenergy Europe
www.offshorewindenergy.org

Desalinización

Instituto Tecnológico de Canarias
www.itccanarias.org

Instituto Tecnológico y de Energías Renovables
www.iter.es

Asociación Internacional de Desalinización
www.idadesal.org

Hidrógeno y Pilas de Combustible

Asociación Española del Hidrógeno
<http://aeh2.org>

Los Alamos National Laboratory
www.lanl.gov/orgs/ee/fuelcells/

Comercio de Emisiones

Oficina Española del Cambio Climático
www.mma.es/oecc

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el
Cambio Climático
<http://unfccc.int>

CO₂-Solutions
www.co2-solutions.com

Certificados Verdes

Renewable Energy Certification System
www.recs.org

Formación

Escuela de Organización Industrial
www.eoi.es

Instituciones Académicas

Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías
Energéticas
www.upco.es/catedras/crm

Centro de Investigación de Recursos y Consumos
Energéticos
<http://circe.cps.unizar.es>

Internacionalización de la empresa española

Instituto de Comercio Exterior
www.icex.es

Compañía Española de Seguros de Crédito
a la Exportación
www.cesce.es

Cooperación Internacional

Agencia Española de Cooperación Internacional
www.aeci.es

Instituciones Financieras

Instituto de Crédito Oficial
www.ico.es

Banco Europeo de Inversiones
www.eib.eu.int

Asociaciones empresariales nacionales

Asociación de Productores de Energías Renovables
www.appa.es

Asociación Empresarial Eólica
www.aeeolica.org

Asociación Española de la Industria Eléctrica
www.unesa.es

Asociaciones especializadas

Club Español de la Energía
www.enerclub.es

Institute of Electrical and Electronics Engineers
www.ieee.org

Asociaciones eólicas internacionales

European Wind Energy Association
www.ewea.org

American Wind Energy Association
www.awea.org

Global Wind Energy Council
www.gwec.net

World Wind Energy Association
www.wwindea.org

Asociaciones Ecologistas

Amigos de la Tierra
www.tierra.org

Greenpeace
www.greenpeace.org

WWF/Adena
www.wwf.es

Ecologistas en Acción
www.ecologistasenaccion.org

Seo/BirdLife
www.seo.org

Energía y Medio Ambiente

Agencia Europea de Medio Ambiente
www.eea.eu.int

ExternE
www.externe.info

Environmental and Energy Study Institute
www.eesi.org

Organizaciones No Gubernamentales

Energía sin Fronteras
www.energiasinfronteras.org

The Climate Group
www.theclimategroup.org

Worldwatch Institute
www.worldwatch.org

Información y Promoción

Agores
www.agores.org

Eufores
www.eufores.org

Divulgación

Danish Wind Industry Association
www.windpower.org/en/core.htm

Parque Eólico Experimental Sotavento
www.sotaventogalicia.com

Center for Renewable Energy and Sustainable
Technology
www.crest.org

Periodismo Ambiental

Asociación de Periodistas de Información Ambiental
www.apiaweb.org

All.2 Agencias de energía

Agencia de gestión de la energía de ámbito nacional

IDAE

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
C/ de la Madera, 8
28004 Madrid
Tel.: 914 564 900
Fax: 915 230 414
comunicacion@idae.es
www.idae.es

Asociación de agencias de energía de ámbito nacional, regional, provincial y local

EnerAgen

Asociación de Agencias Españolas de Gestión de la
Energía
C/ de la Madera, 8
28004 Madrid
Tel.: 914 564 900
Fax: 915 230 414
comunicacion@idae.es
www.idae.es

Agencias de energía españolas

Andalucía

AAE

Agencia Andaluza de la Energía
C/ Isaac Newton, s/n. (Pabellón Portugal)
Isla de la Cartuja
41092 Sevilla
Tel.: 954 786 335
Fax: 954 460 628
informacion.aae@juntadeandalucia.es
www.agenciaandaluzadelaenergia.es

Castilla-La Mancha

AGECAM, S.A.

Agencia de Gestión de la Energía de Castilla-La Mancha, S.A.
C/ Tesifonte Gallego, 10 -1º
02002 Albacete
Tel.: 967 550 484
Fax: 967 550 485
agecam@agecam.jccm.es
www.agecam.es

Castilla y León

EREN

Ente Regional de la Energía de Castilla y León
Avda. Reyes Leoneses, 11
24008 León
Tel.: 987 849 393
Fax: 987 849 390
eren@cict.jcyl.es
www.eren@jcyl.es

APEA

Agencia Provincial de la Energía de Ávila
C/ Los Canteros, s/n
05005 Ávila
Tel.: 920 206 230
Fax: 920 206 205
apea@diputacionavila.es
www.apea.com.es

Canarias

ITC

Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
C/ Cebrián, 3
35003 Las Palmas de Gran Canaria
Tel.: 928 452 000
Fax: 928 452 007
itc@itccanarias.org
www.itccanarias.org

Cataluña

ICAEN

Instituto Catalán de la Energía
Avda. Diagonal, 453 bis, Atic.
08036 Barcelona
Tel.: 936 220 500
Fax: 936 220 501
icaen@icaen.es
www.icaen.net

AEB

Agencia de Energía de Barcelona
C/ Nil Fabra, 20 bajos
08012 Barcelona
Tel.: 932 374 743
Fax: 932 370 894
agencia@barcelonaenergia.com
www.barcelonaenergia.com

Comunidad de Madrid

CAEEM

Centro de Ahorro y Eficiencia Energética
de la Comunidad de Madrid
C/ Valentín Beato, 16
28037 Madrid
Tel.: 91 327 27 36
Fax: 91 327 19 74
lab.caem@clysims.com
www.madrid.org

Comunidad Foral de Navarra

AEMPA

Agencia Energética Municipal de Pamplona
C/ Mayor, 20 bajo
31001 Pamplona
Tel.: 948 229 572
Fax: 948 212 679
agencia.energetica@ayto-pamplona.es
www.aempa.com

Comunidad Valenciana

AVEN

Agencia Valenciana de la Energía
C/ Colón, 1. Planta 4ª
46004 Valencia
Tel.: 963 427 906
Fax: 963 427 901
info_aven@gva.es
www.aven.es

Extremadura

AGENEX

Agencia Extremeña de la Energía
C/ Sor Agustina, s/n
06002 Badajoz
Tel.: 924 262 161
Fax: 924 258 421
agenex@dip-badajoz.es
www.dip-badajoz.es/organismos/eae/actividades.htm

Galicia

INEGA

Instituto Energético de Galicia
Rúa Ourense, 6. A Rosaleda
15701 Santiago de Compostela (La Coruña)
Tel.: 981 541 500
Fax: 981 541 515
info@inega.es
www.inega.es

País Vasco

EVE

Ente Vasco de la Energía
C/ San Vicente, 8 - Edificio Albia I - Planta 14
48001 Bilbao (Vizcaya)
Tel.: 944 035 600
Fax: 944 249 733
publicaciones@eve.es
www.eve.es

Principado de Asturias

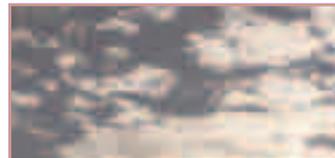
FAEN

Fundación Asturiana de la Energía
C/ Fray Paulino, s/n
33600 Mieres (Asturias)
Tel.: 985 467 180
Fax: 985 453 888
faen@faen.info
www.faen.info

Región de Murcia

ARGEM

Fundación Agencia Regional de Gestión de la Energía
de Murcia
C/ Pintor Manuel Avellaneda (antigua Montijo), 1-1º izda
30001 Murcia
Tel.: 968 223 831
Fax: 968 223 834
info@argem.regionmurcia.net
www.argem.regionmurcia.net



ANEXO III. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Referencias consultadas

- *Plan de Energías Renovables en España 2005-2010*. IDAE, 2005.
- *Energía Eólica en España. Panorámica 2004*. Asociación Empresarial Eólica, 2005.
- *Informe sobre las ventas de energía del Régimen Especial en España 2004*. Comisión Nacional de la Energía, 2005.
- *Key World Energy Statistics 2004*. International Energy Agency, 2005.
- *Offshore Wind Experiences*. International Energy Agency, 2005.
- *Renovalia*. Centro Nacional de Energías Renovables, 2005.
- *Wind Energy in Spain 2004. Current Status and Prospects*. IDAE, 2005.
- *Sea Wind Europe*. Greenpeace, 2004.
- *Wind Energy - The Facts. An analysis of wind energy in the EU-25*. EWEA, 2004.
- *Eólica. Colección Energías renovables para todos*. Haya Comunicación, 2003.
- *External Costs. Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport*. European Commission, 2003.
- *Estudio de la viabilidad técnico-económica de la desalación de agua de mar por ósmosis inversa en España*. Martínez, D. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente de la Región de Murcia, 2003.
- *Manual Didáctico de la Energía Eólica. Proyecto Aeolus*. Programa Leonardo da Vinci de la Comisión Europea, 2002.
- *Viento Fuerza 12*. Greenpeace/EWEA/APPA, 2002.
- *Wind Energy and Aviation Interests. ETSU W/14/00626/REP*. Department of Trade & Industry of United Kingdom (DTU), 2002.
- *Energías renovables, sustentabilidad y creación de empleo. Una economía impulsada por el Sol*. Menéndez, E. Los Libros de la Catarata, 2001.
- *Wind Energy Fact Sheets*. DTU, 2001.
- *Especial Energía Eólica 2000. Revista Energía*. Editorial Alción, 2000.

- *Energía Eólica Práctica. Una guía para instalación y uso de pequeños sistemas eólicos.* Gipe, P. Progenisa, 2000.
- *Impactos ambientales de la producción eléctrica. Análisis de Ciclo de Vida de ocho tecnologías de generación eléctrica.* IDAE, 2000.
- *Las energías renovables en España. Balance y Perspectivas 2000.* IDAE, 1999.
- *Energías Renovables en España: Anuario de proyectos 1997.* IDAE. Edición Especial Cinco Días, 1998.
- *Energías alternativas y tradicionales. Sus problemas ambientales.* Lucena, A. Talasa Ediciones, 1998.
- *Energías renovables. Aproximación a su estudio.* Piorno, A. y Ordaz, F. Amarú Ediciones, 1997.
- *The energy balance of modern wind turbines.* Danish Wind Turbine Manufacturers Association, 1997.
- *Energía eólica. Manuales de energías renovables/2.* IDAE. Cinco Días, 1996.
- *Historia de los molinos de viento, ruedas hidráulicas y norias.* Caro Baroja, J. IDAE, 1995.
- *Basic aspects for application of wind energy.* IDAE, 1994.
- *Mapa Eólico Nacional. Resúmenes energéticos por comunidades autónomas.* Instituto Nacional de Meteorología (INM), 1994.
- *Energía eólica. Manuales de energías renovables/4.* IDAE. Cinco Días, 1992.
- *European Wind Atlas.* Riso National Laboratory (Denmark). Commission of the European Communities, 1989.
- *Mapa Eólico Nacional. Análisis de viento para aprovechamiento energético.* INM, 1988.
- *El poder del viento.* Puig, J., Meseguer, C. y Cabré, M. Ecotopía Ediciones, 1982.
- *Energía eólica y aeroturbinas. Posibilidades de utilización en España.* Cardona, J.L. Instituto Nacional de Industria, 1981.
- *La energía del viento en España y su aprovechamiento.* Barásoain, J.A. y Fontán, L. Comisión Nacional de Energía Eólica, 1955.
- *Conferencias sobre aprovechamiento de la energía eólica.* Milne-Thomson, L.M. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, 1951.

Bibliografía

- *IEA R&D Wind Energy. Annual Reports.* International Energy Agency, 1990-2005.
- *IEC 61.400-1 Ed.3. Wind turbine generator systems-Part 1: Design requirements.* International Electrotechnical Commission, 2005.
- *Principios de Conversión de la Energía Eólica.* Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), 2004.
- *Aerogeneradores.* López-Ruiz, J.L. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos (ETSIA). Universidad Politécnica de Madrid, 2002.
- *Guidelines for design of wind turbines.* Det Norske Veritas, 2002.
- *Aerodynamics of wind turbines: rotors, loads and structures.* Jansen, M.O.L. James & James, 2000.
- *Large wind turbines: design and economics.* Harrison, R., Hau, E. y Snel, H. John Wiley and Sons, 2000.
- *Estado del arte de la tecnología de Pequeños Aerogeneradores.* CIEMAT, 1999.
- *Aerodinámica I.* Da Riva, I. ETSIA, 1996.
- *Wind Characteristics. An Analysis for the generation of wind power.* Rohatgi, J. y Nelson, V. Alternative Energy Institute, 1994.
- *Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP).* Mortensen, N., Landberg, L., Troen, I. y Petersen, E. Riso National Laboratory, 1993.
- *Historia de las Máquinas Eólicas.* Deleito, J.C. ENDESA, 1992.
- *Wind Energy Conversion Systems.* Freris, L.L. Prentice-Hall, 1990.
- *Wind Turbine Engineering Design.* Eggleston, D.M. y Stoddard, F.S. Van Nostran Reinhold, 1987.
- *Wind Energy Systems.* Johnson, G.L. Prentice-Hall, 1985.
- *Energía Eólica. Teoría, concepción y cálculo práctico de instalaciones.* Le Gouriérès, D. Editorial Masson, 1983.
- *Vent et performances des éoliennes.* Justus, C.G. SCM, 1980.
- *Theory of Wind Sections.* Abbott, I.A. y Von Doenhoff, A.E. Dover, 1959.

Publicaciones periódicas especializadas

Energy Policy (Elsevier).

Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.

Power & Energy (IEEE).

Wind Energy (Willey and Sons).

Wind Engineering (Multi-Science).

Wind Stats Newsletter.

Revistas de actualidad energética

Energía (Alción).

Energías Renovables (Haya Comunicación).

Energía y Empresa (Montané Comunicación).

Infopower (T&F InformaNews Iberia).

Neue Energie (German Wind Energy Association).

Project Finance (Euromoney).

Wind Power Monthly.

Wind-kraft und Natürliche Energien.





c/ Madera, 8 - 28004 Madrid
Tel.: 91 456 49 00. Fax: 91 523 04 14
comunicacion@idae.es
www.idae.es