



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Facultad de Ciencias Experimentales

EVOLUCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE ENERGÍA EÓLICA EN ESPAÑA. PERSPECTIVAS DE FUTURO.

Alumno: Isabel M^a Mañas Sánchez

Julio, 2014



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Facultad de Ciencias Experimentales

EVOLUCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE ENERGÍA EÓLICA EN ESPAÑA. PERSPECTIVAS DE FUTURO.

Alumno: Isabel M^a Mañas Sánchez

Julio, 2014

Índice

1. RESUMEN	4
1.1 Abstract	4
2. INTRODUCCIÓN	4
2.1. Introducción histórica	6
3. OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	10
4. AEROGENERADORES	10
4.1. Clasificación	10
4.1.1 Eje vertical	10
4.1.2 Eje horizontal.....	12
4.1.2. Según potencia	13
4.2. Partes del aerogenerador.....	13
4.2.1 Rotor.....	15
4.2.2 Palas.....	15
4.2.3 Buje.....	16
4.2.4 Nariz.....	16
4.2.5 Góndola	16
4.2.6. Caja variadora de velocidad	17
4.2.7 Sistemas de orientación del rotor	17
5. INSTRUMENTOS DE MEDIDA.....	17
5.1 Anemómetros.....	18
6. SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS.....	18
7. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL.....	19
7.1 Impacto visual.....	19
7.2 Impacto sonoro	19
7.3 Impacto erosión.....	20
7.4 Impacto sobre la fauna.....	20
7.5 Impacto socioeconómico	21
8. VENTAJAS E INCONVENIENTES.....	21
8.1 Ventajas.....	21
8.2 Inconvenientes	22

9. REPRESENTACION ESTADÍSTICA DEL VIENTO	23
9.1. La rosa de los vientos	24
10. OTROS USOS.....	26
10.1. Parques eólicos marinos (off shore).....	26
10.1.1 Ventajas.....	26
10.2 Generación eléctrica a pequeña escala.....	27
10.2.1 Ventajas.....	29
10.3 Vehículos eléctricos.....	29
11. MATERIALES USADOS.....	29
12. PREDICCIÓN Y SEGUIMIENTO.....	31
13. EÓLICA EN ESPAÑA.....	32
13.1. Mapa eólico.....	35
13.2. Evolución de la eólica en España.....	37
14. LEGISLACIÓN.....	41
14.1 Normativa Autonómica	42
14.2. Normativa nacional	42
14.3. Reforma energética de 2013.....	43
15. COSTES.....	43
16. CONCLUSIONES	45
17. BIBLIOGRAFÍA	45
17.1 Páginas web.....	45
17.2 Libros	46
17.3 Artículos.....	46
17.4 Otros.....	47

1. RESUMEN

Las energías renovables son una alternativa energéticamente inagotable para un futuro cada vez más dependiente de los combustibles fósiles. Debido a ello, merece la pena su estudio, en este caso de la energía eólica, usada desde la antigua China, y cuyo desarrollo ha seguido hasta hoy en día. Se abordará su evolución, sus características así como sus componentes y su papel en España

1.1 Abstract

Renewable energies are an inexhaustible alternative for a future that will be more dependent of fossil fuels. For this reason, it deserve the attention for his study, in this case the wind energy, which is used from ancient China until nowadays, with a constant technological development. It will be study his evolution, his characteristics as well as his parts and his role in Spain.

2. INTRODUCCIÓN

La energía eólica forma parte de las energías renovables, aquellas que con un uso y tecnología adecuada su utilización es ilimitada. El Sol es la principal fuente de energía renovable, su energía nos llega en forma de radiación infrarroja, ultravioleta y luz visible. Del total de la energía solar que llega a la Tierra el 0,25% que alcanza las capas inferiores de la atmósfera se transforma en viento.

El viento como energía se ha usado durante años por su carácter gratuito y no contaminante, siendo algunos ejemplos los barcos de vela y los molinos de viento. Actualmente obtenemos energía eléctrica con origen eólico a través de los aerogeneradores dispuestos en los parques eólicos.

Tras la crisis energética de los 70 el interés por esta energía aumentó, debido a ello Estados Unidos creó en 1980 por primera vez un programa para desarrollar sistemas de energía eólica, algunos proyectos consistían en granjas eólicas experimentales en zonas conocidas por vientos fuertes.

A medida que la tecnología ha evolucionado, la eficacia y los costes de electricidad generada por el viento se han vuelto más competitivos. Entre 1983 y 2003 debido a

estos avances la energía eólica recortó gastos en un 85%, debido a ello la potencia instalada en diversas partes del mundo creció de manera notable.

Actualmente la energía eólica supone una fuente de energía renovable capaz de competir con las energías tradicionales, sufriendo desde los años 90 una rápida expansión y desarrollo.

La siguiente gráfica muestra la capacidad generadora de electricidad de origen eólico por países. La barra superior muestra lo instalado en 1994, y la inferior lo previsto para el 2000, previsión que se ha visto superada.

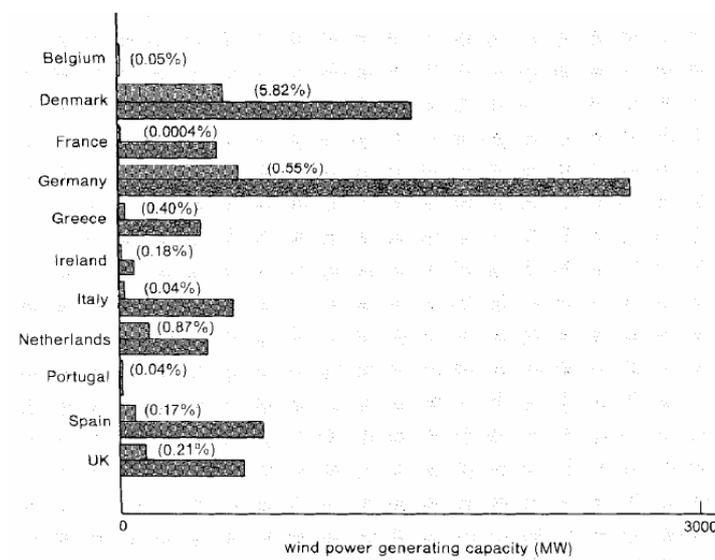


Figura 2.a. Capacidad de producción de energía eléctrica originada por eólica.

Tomada de *LA ENERGÍA EÓLICA: Principios básicos y tecnología*.

La Asociación Europea de Energía del Viento (European Wind Energy Association) estima que para el año 2030 el 10% de la electricidad en la Unión Europea será de origen eólico.

Considerando costes ocultos (no produce contaminación atmosférica) la energía eólica puede considerarse menos costosa que las energías convencionales.

La fabricación de turbinas eólicas constituye una industria floreciente, Dinamarca exportó en 1994 turbinas por valor de 40 mil millones de pesetas.

El tamaño unitario ha aumentado desde los 100 kW de potencia nominal y 20 m de diámetro a los 600 a 1 500kW y 40 a 60 m de diámetro.

2.1. Introducción histórica

Hasta la aparición de la máquina de vapor en el siglo XIX las energías de origen no animal provenían del agua y el viento, los egipcios ya se aprovechaban del viento para la navegación de sus barcos.

Los datos históricos sitúan al pueblo de Babilonia como uno de los primeros en aprovecharse del viento para extraer agua de los pozos. Cabe a destacar el molino persa de eje vertical en Sijistán usado para moler grano.

En China hay referencias de molinos de rotor vertical con palas a base de telas y usados para el bombeo de agua, estos molinos eran conocidos como panémonas, y fueron los precursores de los molinos persas.

En la Europa de la Edad Media los molinos de viento se extendieron por Grecia, Italia, Francia y gran parte del mediterráneo. En el sur de Europa predominaban los molinos mediterráneos, de eje horizontal, usados para moler grano y bombear agua.

En el siglo XVIII Holanda disponían de 20.000 molinos proporcionando 20kW por molino. Eran usados tanto para extraer agua como para moler grano o extraer aceites de semillas.

En 1724 Leopold Jacob proyecta un molino de ocho palas que mueve una bomba de pistón.

En 1883 Steward Perry diseña el multipala americano, de un diámetro de 3 metros usado para bombeo, convirtiéndose en el más vendido de la historia.

Charles F. Brush (1849-1929), uno de los fundadores de la compañía eléctrica americana, construyó el primer aerogenerador para generar electricidad, cuyas dimensiones eran: diámetro de rotor de 17 m y 144 hojas de rotor de madera de cedro. Funcionó 20 años y su potencia era de 12 kW.

En 1892 destaca como precursor de los aerogeneradores actuales la aeroturbina danesa, capaz de desarrollar hasta 25 kW.

En las primeras décadas del siglo XX se desarrolló la teoría de la aerodinámica, que permitió la comprensión del comportamiento de las fuerzas que actúan sobre las palas de las turbinas. Fue desarrollada por los científicos Joukowsky, Dreliford, Sabin, Prandtl, Betz, Constantin, Enfield.... Que establecieron los requisitos básicos que tenían que cumplir las generaciones próximas de turbinas eólicas.

Poul la Cour (1846-1908), padre de la energía eólica moderna. Debido a la escasez de combustible tras la primera guerra mundial se instalaron sus aerogeneradores comerciales. Fundó la primera academia de energía eólica

En 1910 Dinamarca poseía una potencia eólica instalada de 200 MW.

Durante los años 20 se aplican a los rotores eólicos los perfiles aerodinámicos diseñados previamente para las alas y hélices de los aviones.

En 1927 A.J,Dekker construye el primer rotor con palas de sección aerodinámica, con la capacidad de alcanzar velocidades en punta de pala cinco veces superiores al viento incidente.

En 1927 en Berlín, con el artículo de Albert Betz "Die Windmuhlen im lichte neverer Forschung" demostró que el rendimiento de las turbinas aumentaba con la velocidad de rotación y que los sistemas eólicos sólo aprovechaban el 60% de la energía del viento.

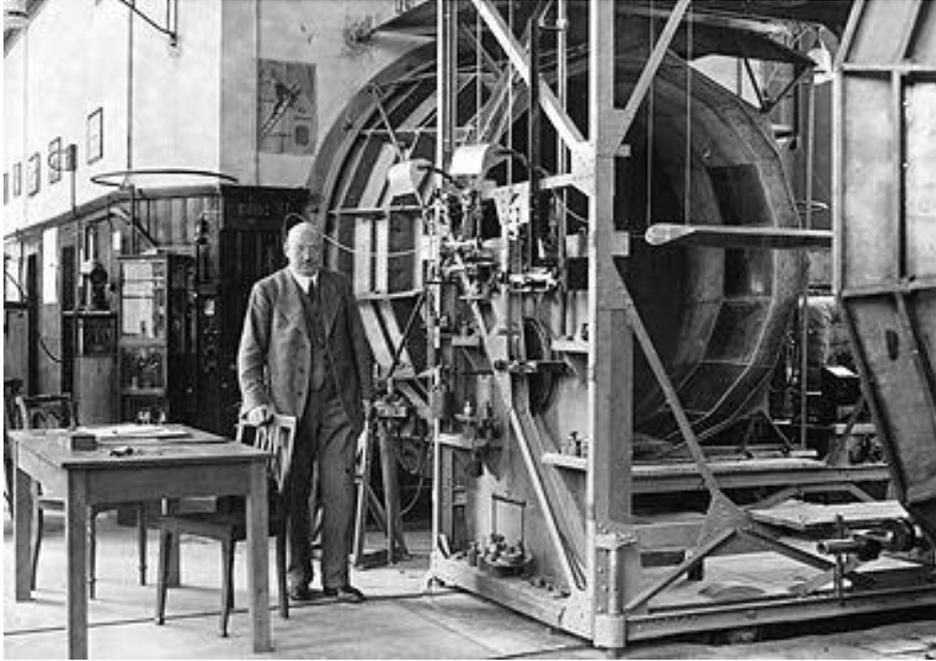


Figura 2.1.a Betz junto a su generador.

Tomada de *DLR-Archiv Göttingen*

La teoría también demostró que a mayor velocidad de rotación menor importancia en el número de palas, por lo que las turbinas modernas podían funcionar correctamente con una sola pala.

Los combustibles fósiles comienzan a imponerse, pero debido a la dependencia generada entre los países por el petróleo se adoptaban políticas de apoyo a los recursos autónomos.

Con una fuerte expansión de la electricidad las turbinas eólicas se desarrollaron siguiendo dos vías, por una parte evolucionó hacia aerogeneradores de baja potencia capaces de surtir de energía a pequeñas poblaciones, y por otro hacia grandes plantas eólicas con capacidad a gran escala. Este apoyo a los recursos de energía autóctona seguida tras la guerra se mantuvo durante los años 30, como consecuencia de la política proteccionista dada por los países occidentales tras la crisis de 1929.

Durante este periodo se hicieron numerosos trabajos en plantas eólicas sobre la evaluación de los recursos disponibles, elaboración mapas eólicos, localización de emplazamientos entre otros aspectos.

Palmer Cosslett Putnam (1910-1986), ingeniero americano, desarrolló en 1941 el aerogenerador Smith Putman, de 1,25 MW. Funcionó hasta 1945.

Tras la Segunda Guerra Mundial los países europeos elaboraron programas nacionales para elegir emplazamientos adecuados para la instalación de grandes plantas eólicas.

Ulrich W Hüttner (1910-1990), ingeniero alemán. Construyó el aerogenerador StGW-34 en el año 1957.

Johannes Juul (1887-1969), ingeniero danés. Construyó el primer aerogenerador para corriente alterna de 200 kW en 1957. Considerado como el predecesor de los aerogeneradores actuales.

En los años cincuenta la energía eólica sufre un impulso hasta mediados de los 70, que acaba perdiendo interés al no ser competitiva frente al precio del petróleo, cerrando su desarrollo en 1973. Los altos precios del petróleo se prolongaron hasta 1986, lo que fomentó el desarrollo de aerogeneradores a modo de energía alternativa, ofreciendo electricidad a precios competitivos.

Según la Agencia Internacional de Energía a finales de 1991 el número de aerogeneradores instalados superaba los 21.000, con una potencia total de 2.200 MW, lo que equivale a dos centrales nucleares de gran potencia. La mitad de ellos estaban emplazados en los parques eólicos de California. La potencia de origen eólica equivalía al 2.3% del consumo del país.

Alemania tenía una potencia instalada de 100 MW, Holanda con 80 MW mientras que en España con el Plan de Energías Renovables se alcanzó los 100 MW a finales de 1995.

El Plan de Energías Renovables en España 2005-2010 aprobado en 2005, preveía una contribución de las fuentes renovables del 12.1% para el 2010. Se estima que para el 2040 se consigan 100.000 MW por parte de la energía eólica.

Cada kWh eólica ahorra un kilogramo de CO2 emitido a la atmósfera.

3. OBJETIVOS DEL TRABAJO

Revisar de una forma histórica y funcional la evolución de la energía eólica desde sus inicios hasta los días actuales, teniendo en cuenta los factores que han envuelto su desarrollo, su papel como energía renovable, y el lugar que ocupará en el futuro.

4. AEROGENERADORES

Dispositivo mecánico de rotación o rotor, provisto de palas impulsadas por el viento que mueven un generador eléctrico que está conectado al sistema motriz.

4.1. Clasificación

4.1.1 Eje vertical

Debido a su simetría vertical, no necesitan sistemas de orientación para alinear el eje de la turbina con la dirección del viento, su mantenimiento es más sencillo, dada su poca altura con respecto al suelo y en el caso de que se trabaje a velocidad constante, no es necesario incorporar ningún mecanismo de cambio de paso, menor coste de instalación. Pero necesitan un motor de arranque, presentan menor velocidad de giro y su rendimiento es menor que el de las máquinas de eje horizontal a igual potencia.

Aerogenerador con rotor Savonius: Inventado en el año por el ingeniero finlandés 1922 Sigurd J. Savonius su principal ventaja consiste en trabajar con velocidades de viento muy bajas. Además no es necesaria la torre, poco viento para arranque y estructura compacta.

Aprovechamiento del viento en cualquier dirección, es un modelo simple, que consiste en dos semicilindros de igual diámetro situados paralelamente al eje vertical de giro. La fuerza que el viento ejerce en las caras de los cilindros (cara cóncava y cara convexa) es distinta, por lo que las hace girar alrededor del eje. Este sistema presenta buenas características aerodinámicas para el autoarranque y la autorregulación. Su campo de aplicación está en la producción autónoma de electricidad o el bombeo de agua.

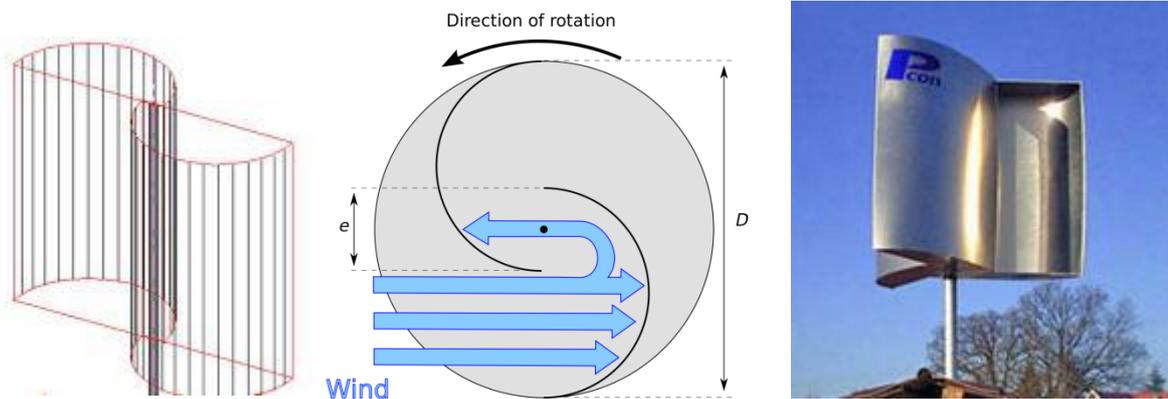


Figura 4.1.1 a. Aerogeneradores Savonius.

Tomadas de *Wikipedia*

Aerogenerador con rotor Darrieus: Patentado por el académico francés G.J.M. Darrieus en 1931. Consta de un eje vertical asentado sobre el rotor, con dos o tres finas palas ovaladas unidas al eje por los dos extremos, el diseño de las palas es simétrico. Debido a esta curvatura, las aspas o palas experimentan menos resistencia cuando se mueven contra el viento que cuando se mueven a favor de él. Los laboratorios Sandia construyó en 1974 un primer prototipo de 5 m de diámetro. Su potencia es pequeña y aunque su aplicación es similar a los aerogeneradores rápidos de eje horizontal, están poco implantados.



Figura 4.1.1b Aerogenerador Darrieus

Tomadas de Tipo de aerogeneradores <http://opex-energy.com/>

Aerogenerador con rotor Giromill: También fue patentado por r G.J.M. Darrieus. Palas verticales unidas al eje por unos brazos horizontales. Las palas verticales cambian su orientación a medida que se produce el giro del rotor para un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento.



Figura 3.1.1.c Aerogenerador Giromill

Tomadas de Tipo de aerogeneradores <http://opex-energy.com/>

Windside. Patentado por empresa finlandesa del mismo nombre. Es capaz de producir 50 kW y tiene la tarea de climatizar un centro comercial de Turku (Finlandia). Su rendimiento es similar a los aerogeneradores de eje horizontal, es aplicada para abastecer pequeños consumos

4.1.2 Eje horizontal

Aerogeneradores de eje horizontal o HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine). El eje de rotación es paralelo a la dirección del viento, se pueden clasificar, según su velocidad de giro, en:

Aerogeneradores lentos: Constituidos por un número alto de palas, multipalas, que cubren casi toda la superficie del rotor. Pueden ponerse en marcha con velocidades de viento muy bajas. Debido a su baja velocidad de rotación hace que sean poco útiles para la producción de electricidad, siendo su uso más frecuente para el bombeo de agua.

Aerogeneradores rápidos: Requieren velocidades de viento del orden de 4 a 5 m/s. La mayoría poseen tres palas y se utilizan para la producción de electricidad, a

través de su acoplamiento con un alternador. Gama de potencias amplia, desde modelos de 1 kW, usados en instalaciones autónomas, a modelos de gran potencia.

Aerogeneradores de velocidad intermedia: Tienen entre 3 y 6 palas y se utilizan cuando las condiciones de viento no son muy favorables y en general son de pequeña potencia. Su aplicación principal es en equipos autónomos para producción de electricidad.

4.1.2. Según potencia

- **Equipos de baja potencia:** Asociados a utilización mecánica como bombeo de agua, proporcionan potencias alrededor del rango de 50 KW, aunque pueden utilizarse varios equipos adyacentes para aumentar la potencia total suministrada. Hoy en día se utilizan en grupo y junto con sistemas de respaldo como motores de gasolina para suministro de energía de zonas rurales o edificios.
- **Equipos de media potencia:** Rango de producción de energía de 150 KW.
- **Equipos de alta potencia:** Producción de energía de forma comercial, conectados a la red. Su producción llega hasta el orden del gigavatio.

4.2. Partes del aerogenerador

Aerogeneradores de eje horizontal para producción eléctrica

Los aerogeneradores de eje horizontal (HAWT) se utilizan para la producción eléctrica. Tienen de una a tres palas, siendo el tripala el más usado.

La potencia de los HAWT ha aumentado progresivamente, en 1997 potencia media unitaria era de 409 kW, en 2009 alcanzó 1854 kW.

En 1980 un aerogenerador de potencia 30 kW tenía un diámetro aproximado de 15 m, hoy en día un aerogenerador de 5000 kW tiene un diámetro de 125 m.

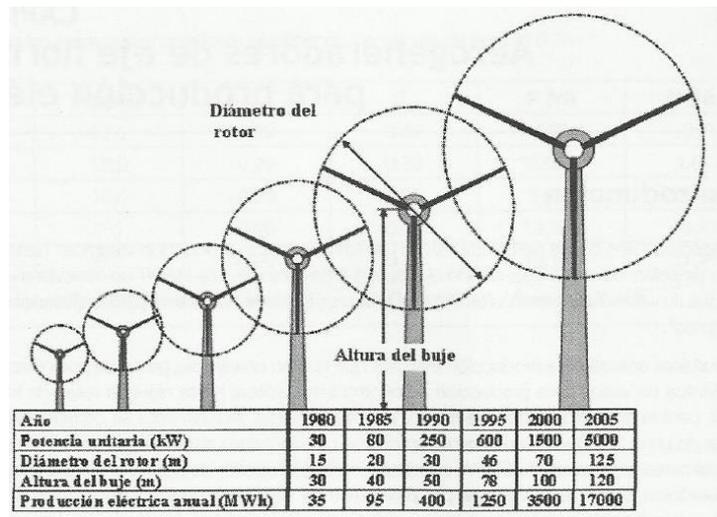


Figura 4.2.a Evolución de las dimensiones de los aerogeneradores.

Tomada de *Guía completa de la energía eólica*

Elementos principales:

1. Base y cimientos.
2. Punto de conexión a la estación transformadora de baja a alta tensión.
3. Torre de sustentación.
4. Escalera interior para acceso a la góndola.
5. Sistema de orientación del rotor hacia el viento.
6. Góndola.
7. Generador eléctrico.
8. Anemómetro y veleta.
9. Freno para fijación del rotor.
10. Caja multiplicadora de velocidad.
11. Pala de rotor.
12. Inserción de la pala en el buje.
13. Buje.

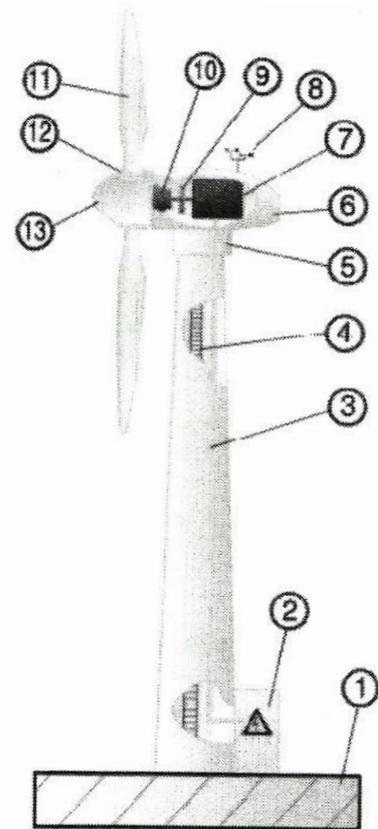


Figura 4.2.b. Partes señaladas de un aerogenerador.

Tomada de *Guía completa de la energía*

4.2.1 Rotor

Convierte la energía cinética del viento en energía cinética de rotación en su eje. Formado por palas, buje y nariz.

4.2.2 Palas

El rotor suele ser tripala, tienen menos oscilaciones y un mejor equilibrio de las fuerzas giroscópicas y produce menor impacto sonoro. Los tripala dominan el mercado mundial.

Las palas tienen un diseño aerodinámico y están construidas con materiales ligeros y resistentes como fibra de vidrio recubiertas de resinas epóxicas. En grandes aerogeneradores las palas pueden tener una longitud de 50 m. Se insertan en el buje.

Para que cuando la velocidad del viento alcance un determinado valor el perfil empiece a entrar en pérdida aerodinámica las palas se pueden proyectar con un ángulo de ataque fijo y un perfil aerodinámico apropiado.

La velocidad de giro de los rotores tripala está comprendida entre 10 y 60 rpm, siendo más pequeña a mayor tamaño del rotor. Por eso en grandes eólicas las velocidades comunes oscilan de 10 a 20 rpm.

Los materiales de las palas deben ser resistentes, de baja densidad, de fabricación sencilla y resistencia a inclemencias meteorológicas.

Los factores principales para la selección del material son su coste económico y la relación resistencia/peso.

Además las palas se someten a varios ensayos:

1. Ensayo estático. Durante 10-15 s la pala se le aplica una carga extrema, flexionándose en dos direcciones.

2. Ensayo dinámico: Se aplican oscilaciones con frecuencias iguales a la de la pala. Las deformaciones se controlan con galgas extensiométricas y cámaras infrarrojas para localizar microroturas.
3. Ensayo de roturas: Se aplica una carga que produzca una rotura, para después proceder a su análisis.

4.2.3 Buje

Elemento en el que se insertan las palas. A través de él se capta la potencia eólica por el rotor y se transmite a la caja variadora de velocidad.

En los rotores tripala el buje es rígido y está formado por una estructura metálica hueca.

4.2.4 Nariz

Es la cubierta metálica con forma cónica que se encara al viento y lo desvía hacia el tren motor, Posee una forma aerodinámica para evitar la creación de turbulencias.

4.2.5 Góndola

Cubículo donde se ubica el generador eléctrico, la caja multiplicadora de velocidad de rotación y los sistemas de control, regulación, orientación y frenado. Formada por una estructura metálica, construida con placa y perfiles de acero colocada en la parte superior de la torre. Está recubierta con una capa protectora.

La masa de la góndola varía con el diámetro del rotor según: $m(\text{kg}) = 2,6D(\text{m})^{2,4}$

En la parte inferior de la góndola se encuentra el anemómetro y la veleta. Sus mediciones se usan en el controlador electrónico para dar órdenes al aerogenerador como el paro del rotor cuando se alcanza la velocidad de corte (alrededor de 25 m/s).

4.2.6. Caja variadora de velocidad

En tripala o bipala la caja de engranajes es un multiplicador de velocidad para aumentar la velocidad desde valores del orden de algunas decenas de rpm a valores de 1000 a 1500 rpm requeridos por el generador eléctrico.

En multipala, el variador de velocidad es un reductor de velocidad.

El variador de velocidad destaca por su relación de transformación; relación entre la velocidad de giro del eje de entrada y la del eje de salida.

4.2.7 Sistemas de orientación del rotor

Para optimizar el aprovechamiento el plano de rotación del rotor debe mantenerse perpendicular a la dirección del viento. Respecto a la torre de sustentación pueden disponerse de dos formas:

1. Delante de la torre, a barlovento (upwind). Reduce las cargas de fatiga. Provoca menores oscilaciones y reduce el ruido. Pero debe tener implantado algún sistema de orientación.
2. Detrás de la torre, a sotavento (downwind). Es autoorientable. Produce más ruido y aumenta las cargas de fatiga.

5. INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Los instrumentos de medida necesarios en energía eólica son:

1. Anemómetros, para la velocidad del viento.
2. Veleta, para saber la dirección.
3. Termómetro, para conocer la temperatura ambiente del aire.
4. Barómetros para la presión atmosférica ambiental.

Las señales provenientes de los instrumentos de medida están conectadas a sistemas de registro, como pueden ser un dispositivo de integración, un indicador o un dispositivo de grabación.

5.1 Anemómetros

Los anemómetros se clasifican en función de su principio de operación:

- Anemómetro de Rotación
Los de rotación pueden ser de cazoleta o de hélice. Los de cazoleta consisten en tres o cuatro cazoletas ancladas a un eje vertical. El viento la hace girar, esta rotación se puede medir por el número de revoluciones, o conectando el eje a un generador y medir el voltaje. Los más usados son los anemómetros de tres cazoletas
- Anemómetro de Presión. Midiendo los efectos de las variaciones de presión que ejerce el aire cuando se mueve. Midiendo la magnitud y velocidad del viento.
- Anemómetro de hilo caliente. Miden la velocidad a través de los efectos de enfriamiento del viento. Son equipos muy delicados.
- Basados en efecto sónico.
- Otros

6. SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS

El objetivo más importante en la adecuada selección de los emplazamientos es lograr la máxima eficiencia en captación de energía, y así reducir el coste de producción.

Los emplazamientos deben de poseer tres características principales:

- Elevada velocidad media, buena exposición y carencia de obstáculos
- Variaciones aceptables de la velocidad del viento
- Variaciones aceptables de turbulencia y vientos extremos ya que influirá en la vida útil del aerogenerador

Para la búsqueda de emplazamientos hay que recurrir a los Mapas de Vientos Oficiales para seleccionar zonas que en principio la velocidad de viento sea >6 m/s.

En España esta acción la lleva a cabo el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), que pone a disposición pública el Atlas Eólico de España.

- Ya identificadas las zonas apropiadas se buscan:
- Llanuras elevadas
- Cimas montañosas de adecuada posición
- Pasos entre montañas
- Largos valles descendiendo de cadenas montañosas

Se comprueban que estas zonas no tienen problemas ambientales y que no se encuentran alejadas de la red eléctrica <35 km, que sean posiciones accesibles y que la construcción es viable en éstos terrenos.

7. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

El impacto medioambiental de la energía eólica dependerá de la zona elegida para su implantación, sus características geográficas, la dimensión que alcanzará y la distancia a núcleos urbanos.

7.1 Impacto visual

Este impacto es meramente subjetivo, sin embargo dependerá del número de molinos, su distribución y sus dimensiones. Así como la cercanía a los núcleos poblacionales y vías de transporte. Es preferible que las turbinas sean de torre tubular, rotor de tres palas y que las pinturas usadas no sean llamativas. Además a ser posible deben asentarse en zonas humanizadas por agricultura o ganadería o tierras estériles.

En el caso de la construcción de edificios y zonas de acceso la remoción de tierra deberá ser mínima, restableciendo las cubiertas vegetales originales.

7.2 Impacto sonoro

Los molinos al no encontrarse en un edificio con el correspondiente asilamiento sonoro el ruido que produzcan será directamente transportado por el viento. Sin embargo, no se han dado casos destacables de molestias por el ruido de los aerogeneradores, ya que no suelen encontrarse en zonas cercanas a las

poblaciones. El ruido que produzcan dependerá del carácter del viento, de los materiales usados para la construcción, y los elementos mecánicos de la estructura.

7.3 Impacto erosión

Enfocado en las primeras etapas de planificación del parque eólico, donde dependiendo de las características hidrológicas, geológicas y estudios de los perfiles transversales, se elegirán las zonas de construcción para accesos, edificios auxiliares y cimentaciones más adecuadas y cuyo impacto ambiental sea el más leve.

7.4 Impacto sobre la fauna

Las aves fallecen debido a la colisión contra las aspas de los aerogeneradores o por electrocución contra los tendidos eléctricos.

Las aves pasan por un periodo de adaptación y acaban desviándose de las plantas eólicas.

Se considera un mínimo impacto, evitable con la colocación de señales vistosas alrededor de las torres.

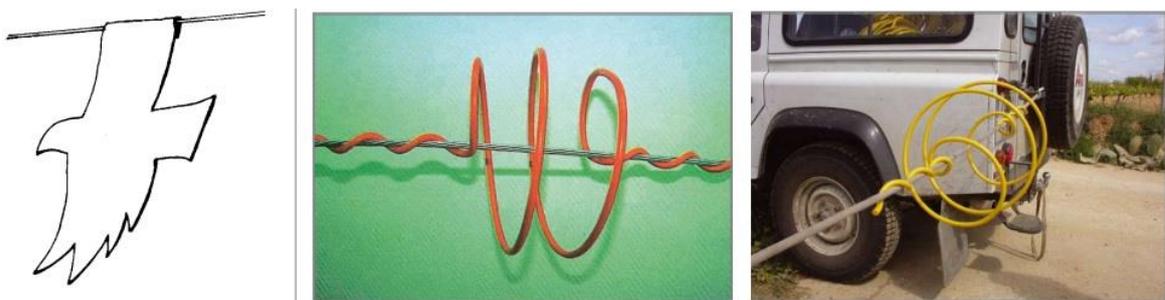


Figura 6.4 a Espirales de plástico y silueta de aves para destacar los tendidos eléctricos.

Tomada de Aves y tendidos eléctricos, del conflicto a la solución.

La gravedad del impacto dependerá de la especie, de su simbolismo y de su grado de amenaza.

Como ejemplo, en Navarra se ha seguido la acción del parque eólico en las aves. Entre 1995 y 1998 se localizaron 20 aves muertas y 2 murciélagos. Extrapolando se obtuvo entre 0.08 y 0.11% de mortalidad, siendo datos inferiores a otras actividades humanas.

Sin embargo según la Sociedad Española de Ornitología y el CSIC los parámetros seguidos para la evaluación de impacto en aves no ha sido el adecuado.

"la metodología para estimar el impacto de los parques eólicos empleada en España, que es similar a la de Europa y Estados Unidos, es inadecuada"

Investigador del CSIC Miguel Ferrer, de la Estación Biológica de Doñana.

7.5 Impacto socioeconómico

Beneficios en la economía local, aumento de la empleabilidad, formación en el ámbito de la energía renovable, y una buena imagen.

8. VENTAJAS E INCONVENIENTES

8.1 Ventajas

Medioambientalmente se evita las emisiones de gases, no producen ningún tipo de residuo que necesite un tratamiento posterior, y es una fuente inagotable.

Socialmente, la energía eólica aporta competitividad empresarial, fomenta una buena imagen, y localmente mejora la economía de la zona. Del conjunto de energías renovables, la eólica es la que más puestos de trabajo da por unidad energética producida. Como ejemplo, en el año 2000 el sector eólico dio trabajo a 50.000 personas tanto directa como indirectamente.

Según el Libro Blanco de la Comisión Europea sobre crecimiento, competitividad y empleo, la energía eólica podría contribuir en un futuro siendo parte de un modelo energético competitivo y sostenible.

Promover este tipo de energía en el entorno nacional ayudará al autoabastecimiento y evitar la dependencia energética exterior.

Se estima que en centrales geotérmicas o hidráulicas, al estar en zonas determinadas y alejadas, se pierde un 7% de energía debido al transporte. En el caso de la eólica esto se evita ya que las centrales se encuentran relativamente cerca de las zonas de consumo.

8.2 Inconvenientes

A parte del impacto ambiental ya mencionado, la energía eólica presenta otras desventajas.

El viento es inestable, pueden darse bajadas de energía que deberán de auxiliarse con otras energías.

Si el viento supera una determinada velocidad las estructuras se verán sobrepasadas y sufrirán daños, por ello el circuito se desconecta de la red.

Debido a las limitaciones tecnológicas es necesario un constante apoyo económico para su evolución.

La energía producida no es almacenable, debe ser consumida en el momento de la producción, por ello es muy importante la predicción eólica. Las compañías eléctricas compran la cantidad de energía exacta a las eólicas, si la potencia prometida no se cumple hay penalizaciones. Para conseguir un equilibrio entre la producción y el consumo en 2006 Red Eléctrica puso en marcha el Centro de control de energías renovables (Cecre), que informa en tiempo real la potencia disponible, la velocidad del viento y la energía que produce cada parque.

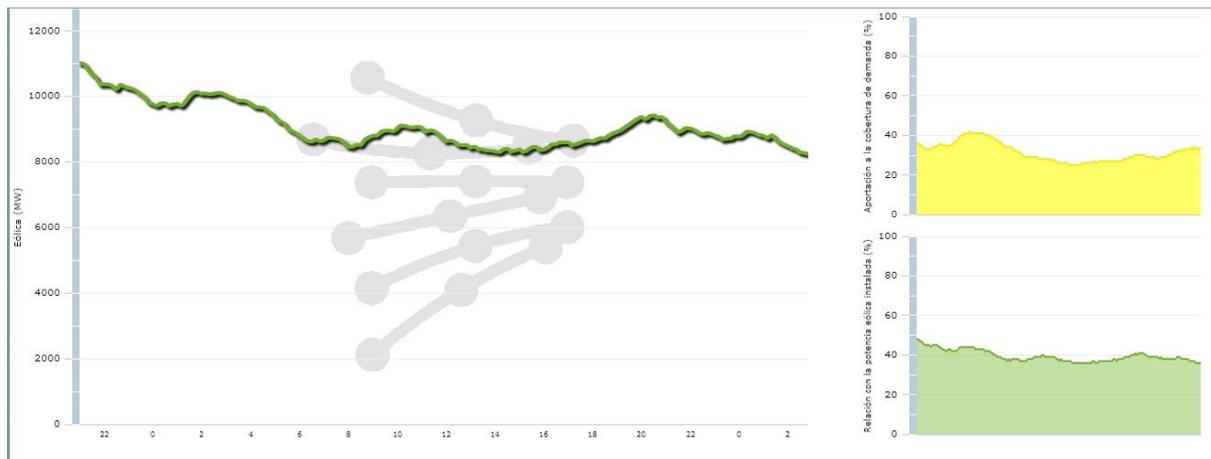


Figura 8.2.a Valor estimado de generación eólica en una fecha concreta. Con un 36% potencial eólica instalada y un 34 % de la cobertera de la demanda.

Tomada de *Red Eléctrica de España*

9. REPRESENTACION ESTADÍSTICA DEL VIENTO

Debido a las características aleatorias de la energía eólica se recurre a la estadística para estudiar los emplazamientos.

Para la evaluación del recurso eólico durante la fase de prospección en un emplazamiento específico se realizan mediante la instalación de torres anemométricas, además se registran datos históricos de estaciones meteorológicas con un número adecuado de medidas.

En las mediciones se toman los datos de velocidad y dirección del viento en intervalos de diez minutos, se toman además otros datos como la desviación estándar de la velocidad, presión atmosférica y temperatura.

La distribución de probabilidades de velocidades del viento es imprescindible para determinar el potencial eólico disponible.

La expresión analítica usada para representar la probabilidad de velocidades es la distribución de Weibull, que permite evaluar propiedades importantes del viento como por ejemplo la probabilidad que existan velocidades de viento entre dos límites de interés o la estimación de la energía producible en el punto de interés.

La fórmula general de Weibull:

$$P(v) = k/c \cdot ((v/c)^{(k-1)}) \cdot \exp(-((v/c)^k))$$

P representa la probabilidad estadística de que ocurra una determinada velocidad v.

C es el factor de escala (m/s) cuyo valor se acerca a la velocidad media.

K factor adimensional.

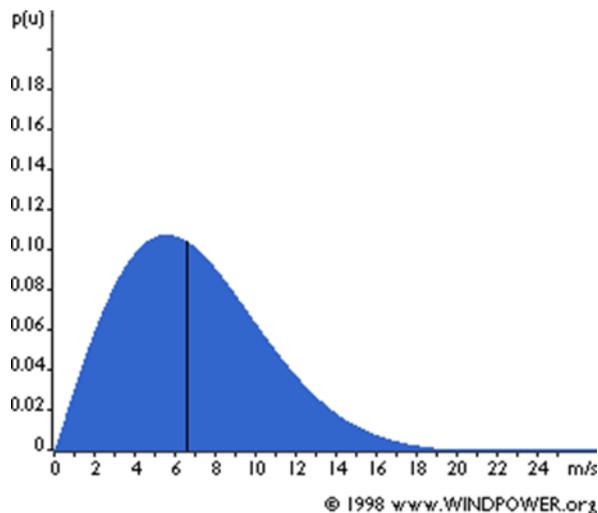


Figura 9. Distribución de Weibull

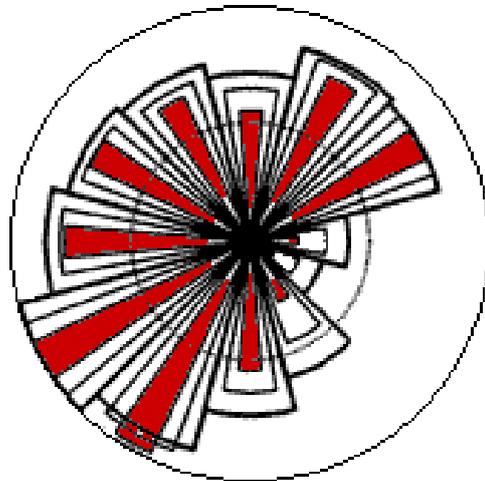
En la figura se muestra una distribución de Weibull, para un emplazamiento particular con una velocidad media del viento de 7m/s .Parte del área azul se encuentra a la izquierda de la línea negra, que indica que la mitad del tiempo el viento soplará a menos de 6,6 m/s, y la otra mitad a más de 6,6 m/s.

La velocidad del viento media es el promedio de las observaciones de la velocidad del viento del emplazamiento.

9.1. La rosa de los vientos

Los fuertes vientos tienen una dirección determinada. Para mostrar las distribuciones de velocidades del viento y la frecuencia de variación de las direcciones del viento se usa la rosa de los vientos. La rosa de los viento se basa en observaciones meteorológicas de las velocidades y direcciones del viento.

En la imagen se muestra la rosa de los vientos de Brest, en la costa Atlántica de Francia.



© 1998 www.WINDPOWER.org

Figura 9.1.a Rosa de los vientos.

La rosa está dividida en doce sectores.

El radio de las cuñas más exteriores informa sobre la frecuencia relativa de las direcciones del viento.

La segunda cuña da la misma información pero multiplicada por la media de la velocidad del viento en cada dirección particular. El resultado se normaliza sumando hasta el 100 por cien.

Esto indica la contribución de cada sector en la velocidad media del viento en una ubicación particular.

La cuña más interior (en rojo) proporciona la misma información que la primera pero multiplicada por el cubo de la velocidad del viento en cada ubicación. El resultado se normaliza sumando hasta el 100 por cien. Esto indica la contribución de cada sector en la energía contenida en el viento en nuestra ubicación particular. Indican donde encontrar una mayor potencia que impulse los aerogeneradores.

El contenido energético del viento varía con el cubo de la velocidad del viento.

En este caso podemos ver que la dirección de viento dominante es la Sudoeste.

Una rosa de los vientos proporciona información sobre las velocidades relativas del viento en diferentes direcciones, es decir, cada uno de los tres grupos de datos ha sido multiplicado por un número que asegura que la cuña más larga del grupo mide exactamente lo mismo que el radio del círculo más exterior del diagrama.

Las rosas de los vientos de áreas vecinas son similares, por lo que la de las rosas de los vientos de zonas cercanas da resultados fiables. Sin embargo si el terreno muestra irregularidades como valles o montañas los resultados no serán seguros.

Su utilidad radica en la orientación para el emplazamiento de aerogeneradores.

Si por ejemplo en una rosa de los vientos la mayor parte de la energía viene del Sudoeste, no necesitaríamos preocuparnos de los obstáculos al este y al sudeste del aerogenerador, porque apenas llegaría nada de energía desde esas direcciones.

Es conveniente tener observaciones de varios años ya que los modelos eólicos pueden variar de un año a otro, al igual que el contenido energético (10% de variación).

El Atlas Eólico Europeo contiene descripciones de cada una de las estaciones de medida.

10. OTROS USOS

10.1. Parques eólicos marinos (off shore)

Las nuevas tecnologías de cimentación y los generadores de orden de megavatios están a punto de hacer que la energía eólica en el mar sea competitiva con los emplazamientos terrestres en aguas de 15 a 20 metros de profundidad.

En los próximos 20 años 4000 MW serán instalados en mares daneses. Los costes futuros de generación serán del orden de los 4 €/Kwh haciéndola competitiva.

10.1.1 Ventajas

1. Es una buena alternativa para problemas como la ausencia de emplazamientos terrestres.
2. Mayores velocidades de viento. La diferencia de velocidad respecto a las terrestres es superior en 20%.

3. Mayor estabilidad de viento.
4. Aeroturbinas más baratas. Al tener menor rugosidad el agua hace que la velocidad vertical no varíe prácticamente. Permitiendo el uso de torres de tamaño menor.
5. Menor turbulencia que se traduce en mayor vida de la turbina. Mientras que en tierra se estima que la vida de una turbina oscila en 20 años, en el mar ascendería a los 30 o incluso 50 años.

Para la elección de la zona adecuada para instalar un parque eólico marino se tiene en cuenta la profundidad del agua, considerando como buena opción las aguas con una profundidad de 20 m, y una distancia a la costa de 45km. En España el problema son las grandes profundidades superiores a los 60 m, para solucionar esto se han estado desarrollando las plataformas flotantes, aún en fase experimental, donde el aerogenerador queda anclado al fondo con líneas de fondeo.

Además se siguen las directrices marcadas por los mapas eólicos, y se tiene en cuenta la cercanía de infraestructuras como puertos, redes navales que satisfagan las necesidades de construcción y comunicación. Sin embargo las opiniones de ecologistas, cofradías de pescadores y turismo suelen estar en contra por temor al impacto pesquero y paisajístico.

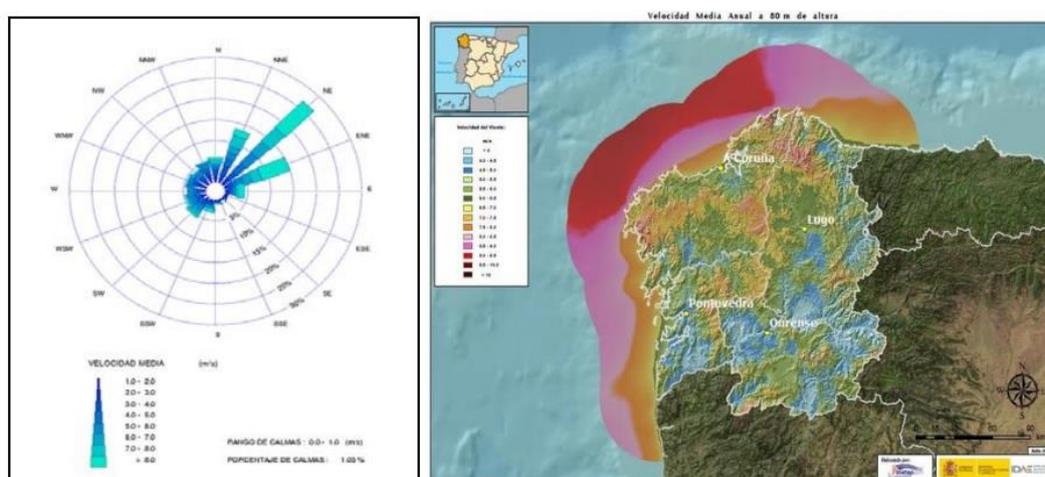


Figura 10.1.1 a Rosa de los vientos y mapa eólico de Galicia, usado para el proyecto de instalación de parque eólico marino en el litoral español.

10.2 Generación eléctrica a pequeña escala

La generación de pequeña escala consiste en las turbinas de una potencia inferior a 10 kW, que es suficiente para cubrir pequeños consumos.

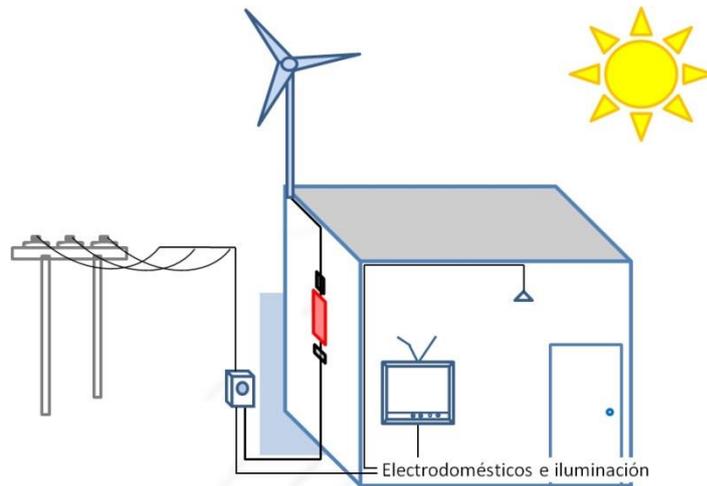


Figura 10.2.a Eólica a pequeña escala.

Tomada de www.sieeco.com.mx



Figura 10.2.b Eólica a pequeña escala.

Tomada de <http://aerogeneradores-energia-eolica.blogspot.com.es/>

10.2.1 Ventajas

- Puede suministrar electricidad en lugares asilados o alejados de la red eléctrica.
- Menor impacto visual.
- Reduce pérdidas ya que genera la energía junto a los puntos de consumo.
- No requiere estudios de viabilidad complicados y funciona con vientos moderados.

En Estados Unidos alcanzaba una potencia de 80 MW en 2008, comprendiendo unos 11500 aerogeneradores con potencias entre 0.1 y 10 kW con una facturación aproximada de 77 millones de dólares.

10.3 Vehículos eléctricos

La Asociación Empresarial Eólica presentó el proyecto de Regulación Eólica con Vehículos Eléctricos, que evalúa los obstáculos técnicos para conseguir coches eléctricos que actúen como almacén. Las baterías de los coches se podrán recargar con el excedente de la eólica. La red sería bidireccional, recargaría a los vehículos durante la noche o en tiempo de baja demanda, y los vehículos venderían electricidad a la red en las horas puntas.

11. MATERIALES USADOS

Las propiedades de los materiales que se consideran son:

- Peso específico o densidad.
- Límite de resistencia.
- Módulo de elasticidad.
- Resistencia a la ruptura relacionada con el peso específico o también llamada longitud de ruptura.
- Resistencia a la fatiga permisible después de 10⁷ a 10⁸ ciclos de carga.
- Costo.

Los primeros materiales usados fueron:

1. **Acero.** Es una aleación de hierro y carbono con propiedades mecánicas específicas para su uso en la industria metalmecánica. A mayor contenido de carbono, se incrementa la resistencia y la dureza, aunque disminuye la ductilidad.

A principios de los 80 el acero se utilizó como material de prueba para palas de grandes turbinas. Las propiedades como su resistencia lo hicieron una buena opción para la fabricación de palas. No obstante la elevada densidad causa un aumento considerable de cargas inerciales y gravitatorias sobre la turbina. Además de su susceptibilidad a la corrosión causando grietas.

2. **Aluminio,** es un material ligero con un peso específico de 2.7 kg./m³. Es maleable, y por tanto adaptable a los requerimientos específicos de su utilización. Posee una vida útil larga por su resistencia a la corrosión. Una característica importante es que es 100% reciclable y se puede utilizar indefinidamente sin perder propiedades físicas; conservando su calidad. Posee una alta conductividad eléctrica y térmica, pero una baja resistencia a la fatiga y baja densidad.
3. **Madera** posee una propiedad anisotrópica, no se comporta igual en todas las direcciones de las fibras. Como ventajas a mencionar posee una baja densidad, facilidad de mecanizado, buen comportamiento a la fatiga y desde bajo costo. Su naturaleza hace que su composición presente irregularidades causando fisuras y su capacidad de absorber agua, reduciendo sus propiedades mecánicas. La principal desventaja es su alto grado de combustibilidad y escasa vida útil. Durante los años 80 el programa americano de tecnología de palas utilizó este material en sus diseños, entre ellos está un prototipo del MOD-0. Actualmente la madera solo se emplea para la construcción de palas de pequeño tamaño (hasta 10.0 m). En 1888 Brush construyó lo que se cree la primera turbina eólica cuyas palas estaban construidas de cedro.
4. **Fibra de carbono.** Perteneciente a la clase de los polímeros. Posee alta rigidez, elevada resistencia mecánica, elasticidad elevada y baja deformación térmica. Destaca por que su rigidez es comparable a las estructuras de acero y por sus propiedades de resistencia y escasa corrosión. Sin embargo, tiene

un costo elevado y su producción es en sí cara. Se trata de un polímero sintético cuyo proceso consiste en dilatación durante meses, dependiendo de la calidad que se busque. La fibra de carbono se utiliza en combinación con la fibra de vidrio

5. **Fibra de aramida** (Kevlar). ES un nilón obtenido a partir de reactivos aromáticos. Incrementa la rigidez de la estructura, no corroe en agua salada y es incombustible. Como desventaja es higroscópica, absorben humedad, ya que puede influir en el peso, sin embargo puede paliarse con la combinación con fibra de vidrio o carbono.
6. **Fibra de vidrio**. Es el material más aplicado en la fabricación de palas de pequeña, mediana y de gran potencia. Sus propiedades mecánicas son buenas. La fibra de vidrio ofrece una superficie lisa.
7. **Alternativas**. Actualmente se están estudiando alternativas que supongan una reducción de costos y una disminución de generación de residuos, como por ejemplo la fibra de coco.

12. PREDICCIÓN Y SEGUIMIENTO

- **Predicción diaria**. Aeolis ofrece predicciones sobre la generación eólica en España.
- **Seguimiento en tiempo real**. Red Eléctrica de España permite visualizar el seguimiento en tiempo real de la producción eólica.
- **Mapa eólico nacional**. CENER cuenta con un mapa de recursos eólicos de la Península Ibérica y Baleares. Ha sido realizado mediante 5 años de simulaciones hora a hora con el modelo meteorológico SKIRON en modo no hidrostático.
- **WindTrends** es una base de datos de las condiciones meteorológicas elaborada por Meteosim Truewind que abarca los años 1997 a 2009, proporcionando una instantánea del tiempo a cada hora, a varias alturas sobre el suelo en una cuadrícula regular de puntos por cada 20 km.
- **MATRAS**. Programa implantado por la Universidad de Jaén, que permite obtener información meteorológica de Andalucía con un rango temporal de tres días. Además la estación meteorológica de la universidad permite conocer

las condiciones meteorológicas actuales, incluyendo temperatura, sensación térmica, precipitación, y por supuesto viento.

- NOAA (datos climáticos y oceánicos) y NCDC (centro nacional de datos climáticos de E.E.U.U.)



Figura 12 a. MATRAS.

Tomada de *matras.ujaen.es*

13. EÓLICA EN ESPAÑA

En España comenzó en 1978 con el programa de desarrollo de una aeroturbina de 100 kW financiado por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, que finalmente se instala en Tarifa. Se trató de un aerogenerador experimental de 100 kilovatios, formado por una turbina de eje horizontal tripala y un generador eléctrico de cuatro palas. Sus dimensiones contaban de una torre de 20 m de altura, y una turbina de 20 m de diámetro preparada para girar a 48 rpm. Para seleccionar el emplazamiento se llevó a cabo un estudio con datos de Servicio Meteorológico Nacional y por la antigua Comisión de Energías Especiales.



Figura 13.a Primer aerogenerador en Tarifa.

Los trabajos financiados por el Ministerio a través del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial, realizados entre 1981 y 1986, logran iniciar la industria nacional, tomando como base aeroturbinas de pequeño y medio tamaño.

El Plan de Energías Renovables de 1986 favoreció la instalación de los primeros parques eólicos, de unos 300 kW, creados por la colaboración entre el Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético las Comunidades Autónomas, compañías eléctricas y empresas privadas.

El segundo Plan de Energía Renovables se inicia en 1988, considerando las ventajas la eólica desde el punto de vista de política energética, autonomía de recursos y aspectos medioambientales. En esta época se instaló el aerogenerador de 1.200 kW (resultado de la colaboración hispano – alemana) en La Coruña y el parque eólico de Monteahumada (Cádiz).

El progreso de la tecnología española permitió tener en 1990 cuatro parques operativos con 15 Mw de potencia.

La industria nacional logró máquinas competitivas de 100 kW, siendo las precursoras de los actuales parques eólicos. Debido a esto España se situó en 1990 en el cuarto lugar en Europa.

Los parques actuales están siendo realizados por empresas como ENDESA, ACCIONA energía, ECOTÉCNIA y otras, con tecnología transferida de empresas extranjeras U. S. Wind Power y VESTAS a las empresas nacionales AWP y ACSA respectivamente. Nos encontramos ante un mercado industrial caracterizado por la rentabilidad económica.

El 10 de marzo de 1984 se inauguró el primer aerogenerador que se comercializó, en Vilopriu, Gerona. Fue fabricado y diseñado por la cooperativa ECOTÉCNIA.

Tuvo un coste de 17 millones de pesetas, unos 100.000 euros.

El molino constaba de tres palas, doce metros de diámetro de rotor, catorce metros de altura y con una potencia de 15 kW. Los molinos actuales constan de una potencia de tres megavatios, lo que correspondería a 200 molinos de Vilopriu, poniendo de manifiesto la evolución tecnológica sufrida en 30 años. Cabe mencionar

que debido a la nula legislación sobre eólica de la época, el aerogenerador se conectó de forma ilegal.



Figura 13.b. Foto tomada de los ingenieros en día 10 de marzo de 1984.

Tomada de *LA VANGUARDIA*



Figura 13.c. Aerogenerador de Vilopriu.

Tomada de *LA VANGUARDIA*

El 9 de abril de 1984 se puso en marcha el primer parque eólico de España, en el municipio de Garriguella. Instalación compuesta por cinco aerogeneradores de 24kW cada uno, abasteciendo hasta 60 familias. Un solo molino actual de los más potentes, de 3 MW, puede generar electricidad para 2500 hogares, los molinos instalados en Garriguella producían 125 veces menos energía que los actuales.

Actualmente no quedan residuos de los generadores instalados de Garriguella y Vilopriu, que cesaron su funcionamiento tras 20 años.

España es el cuarto país del mundo por potencia eólica instalada, tras China, Estados Unidos y Alemania.

En 2013 ha sido la primera fuente de generación eléctrica en España.

Datos de interés:

- La potencia instalada a 31 de diciembre de 2013 era de 22.959 MW.
- La eólica fue la primera tecnología en el sistema eléctrico en 2013, con una producción de 54.478 GWh y una cobertura de la demanda eléctrica del 20,9%.
- 20.000 personas trabajan en el sector en nuestro país.
- Exporta tecnología por valor de 1.933 millones de euros al año.
- Invierte en I+D alrededor de 85,5 millones de euros anuales.
- La eólica aporta directa e indirectamente 2.623 millones de euros al PIB en el que representa el 0,24%.

13.1. Mapa eólico

— El mapa eólico muestra la potencia instalada por cada comunidad autónoma, se puede acceder a él desde aee, Asociación Empresarial Eólica.

Como ejemplo, el mapa eólico de Andalucía, con una potencia instalada de 3337,73 MW:

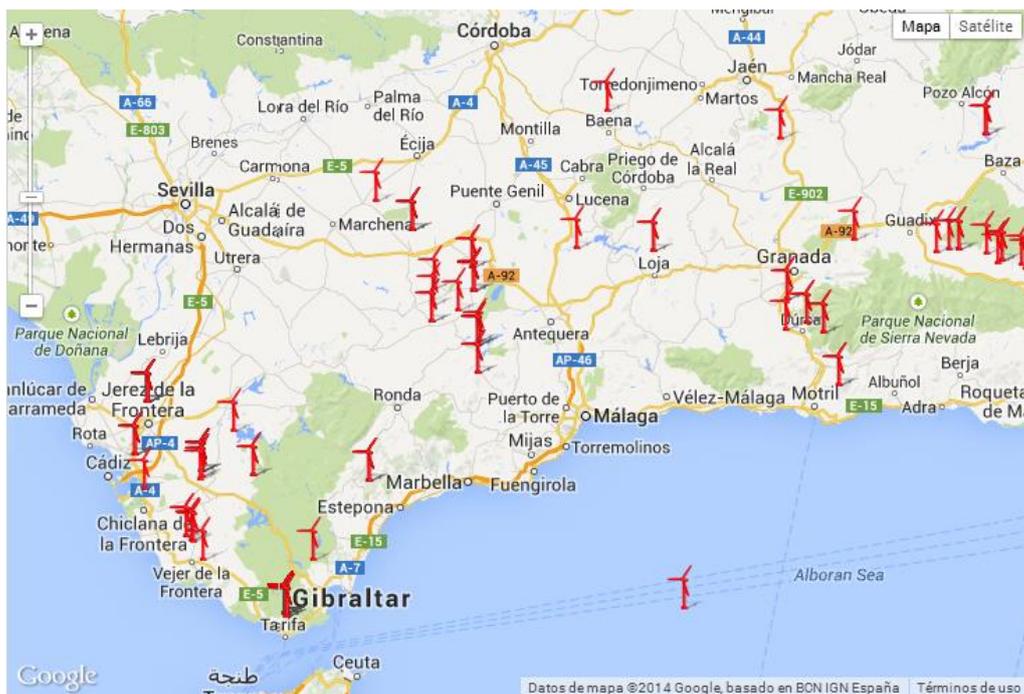


Figura 13.1 a Distribución eólica de Andalucía.

Tomada de *Asociación Empresarial Eólica*

602	El Conjuero	WINDET EÓLICA ANDALUZA	Motril y Gualchos	Granada	13,6	16	850	GAMESA	G-58	DFIG
630	Las Perdices	INGENIERÍA VARGAS, S.L.	Nacimiento	Almería	0,85	1	850	GAMESA	G-52	DFIG
631	Nacimiento	SISTEMAS ENERGÉTICOS NACIMIENTO	Nacimiento	Almería	23,8	12	2000	GAMESA	G-87	DFIG
636	Sierra del Trigo (Fase I y II)	OLIVENTO, S.L.	Noalejo	Jaén	15,18	23	660	GAMESA	G-47	DFIG 1º G
662	Cantalejos	Eólica Guadalteba, S.L.U.	Osuna	Sevilla	14	7	2000	GAMESA	G-90	DFIG

Localización	Parque eólico	Sociedad promotora	Término municipal	Provincia	Potencia instalada MW	Nº de aerogeneradores	Potencia unitaria KW	Marca del aerogenerador	Modelo	Tecnología
--------------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	-----------------------	-----------------------	----------------------	-------------------------	--------	------------

Figura 13.1 b Datos de los parques eólicos de distintas localizaciones.

Tomada de *Asociación Empresarial Eólica*

13.2. Evolución de la eólica en España

Tanto la península como Baleares están influenciadas durante la mayor parte del año por el efecto de la circulación general del Oeste de las latitudes medias del hemisferio Norte.

El mayor calentamiento de la península durante el verano induce vientos desde el mar a tierra, ocurriendo lo contrario en invierno.

- **La predominancia de los vientos por regiones es:**

En los litorales Cantábrico y Atlántico, submeseta Norte y depresión del Ebro : vientos del cuadrante Norte - Oeste.

En la submeseta Sur actúan los vientos del cuadrante Norte - Este y Sur -Oeste.

En la depresión del Guadalquivir, en invierno los del cuadrante Norte - Este y en verano los del cuadrante Sur - Oeste.

En el Mediterráneo en invierno dominan los de componente Oeste y al contrario en verano.

Debido a los efectos térmicos locales se producen corrientes adicionales que influyen sobre los valores medios, aunque no supongan una intensidad aprovechable.

Efecto de encauzamiento: valle del Ebro y estrecho de Gibraltar.

Efecto de esquina: Cuando el viento encuentra un obstáculo se alcanzan grandes velocidades en los extremos, lo que sucede en el litoral, como en los Pirineos.

Efecto ladera: Al encontrar una cadena montañosa el viento asciende y se acelera.

- **Las regiones con mayor potencial eólico son las siguientes:**

Andalucía: La zona de Tarifa posee un potencial alto en ciertas zonas, ya en explotación y medio -alto en otras, candidatas para futuras explotaciones.

Aragón: Existen zonas con velocidades medias de 6 m/s a 10 m de altura, (umbral de la rentabilidad actual).

Canarias: El potencial eólico está concentrado en las costas a causa de los alisios. El mapa eólico de Canarias muestra un dominio de los alisios del Noroeste, especialmente en verano.

Castilla y León: Amplias zonas están inmediatamente debajo del umbral de la rentabilidad, pudiendo ser rentables si bajan los costos, planteando pocos problemas por la disponibilidad del terreno, la baja densidad de población y la poca compleja orografía.

Cataluña: Las zonas de mayor potencial se encuentran en los Pirineos .

Galicia: Es la región con mayor potencial en la península.

En España podrían instalarse parques del orden de 3000 MW en condiciones de rentabilidad económica.

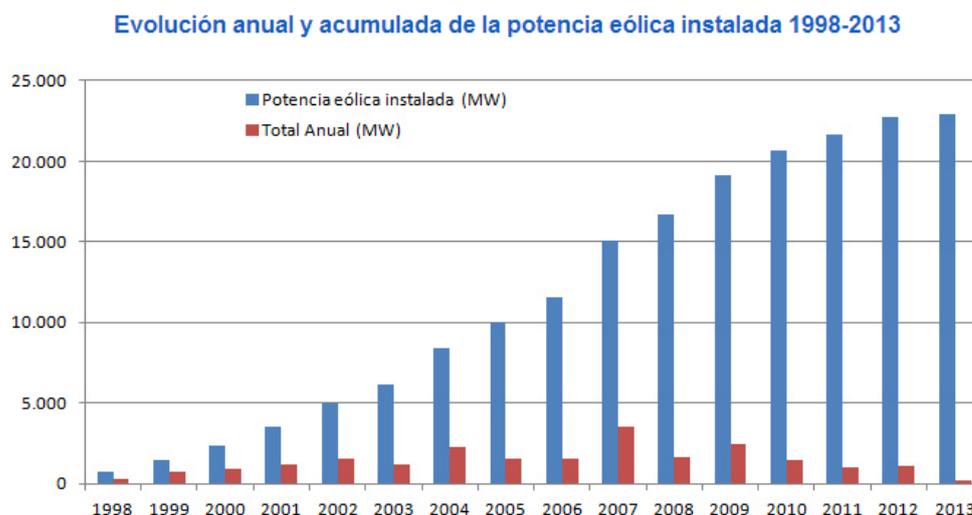


Figura 13.2.a. Incremento anual y tasa de variación de la potencia instalada.

Tomada de AEE

La producción de energía eólica española aumentó un 24.9 % desde el año 2001, produciendo 1241GWh, al 2002 con una producción de 1550 GWh. Esto fue debido

principalmente a la entrada en explotación de 6 nuevas instalaciones ubicadas tres en Castilla y León, una en Aragón, una en Canarias y otra en Galicia.

Durante el año 2009 la generación de energía de origen eólico fue superior a la del carbón convirtiéndose en la tercera fuente de energía por detrás del ciclo combinado y la nuclear.

El domingo 8 de noviembre de 2009 más del 50% de la electricidad producida en España fue generada por la energía eólica.

En el mes de marzo de 2011, la energía eólica se convirtió por primera vez en la primera fuente de generación eléctrica de España, cubriendo el 21% de la demanda total del mes.

En abril de 2012, la energía eléctrica generada de origen eólico alcanzó el 25,7% de la demanda total del mes, superando a la nuclear.

El día 6 de febrero de 2013 se produjo el máximo histórico de producción instantánea con 17.056 MW. Ese mismo día, se produjo el máximo de producción energética horaria con 16.918 MWh entre las 15.00 y las 16.00 horas.

El 16 de enero de 2013 se marcó el máximo de producción diaria con 345.011 MWh.

El 18 de abril de 2012 se alcanza otro máximo de potencia instantánea con 16.636 MW

El 24 de febrero del 2010 la energía eólica batía a las 11:20 horas un nuevo récord de producción instantánea, con 12.902 MW; y la máxima energía de generación de electricidad con 270.420 MWh producidos, gracias al fuerte viento que azotó gran parte de la península.

El día 9 de noviembre de 2010 se produjo el máximo histórico de producción instantánea hasta ese momento con 14.962 MW a las 14:46 h.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Acumulado a 31/12/2012	Potencia en 2013	Acumulado a 31/12/2013	% sobre total	Nº de parques (*)
Castilla y León	5.510,61	49,40	5.560,01	24,22%	241
Castilla-La Mancha	3.806,54		3.806,54	16,58%	139
Andalucía	3.263,23	74,50	3.337,73	14,54%	153
Galicia	3.311,47	2,65	3.314,12	14,43%	158
Aragón	1.888,81	4,50	1.893,31	8,25%	87
Cataluña	1.258,05	9,00	1.267,05	5,52%	46
Comunidad Valenciana	1.188,99		1.188,99	5,18%	38
Navarra	979,92	24,00	1.003,92	4,37%	49
Asturias	512,45	6,00	518,45	2,26%	21
La Rioja	446,62		446,62	1,95%	14
Murcia	261,96		261,96	1,14%	14
Canarias	160,11	5,00	165,11	0,72%	55
País Vasco	153,25		153,25	0,67%	7
Cantabria	38,30		38,30	0,17%	4
Baleares	3,68		3,68	0,02%	46
TOTAL	22.783,97	175,05	22.959,02		1.072

Figura 13.2.b. Reparto de la potencia instalada por Comunidad Autónoma en 2013.

Tomada de AEE

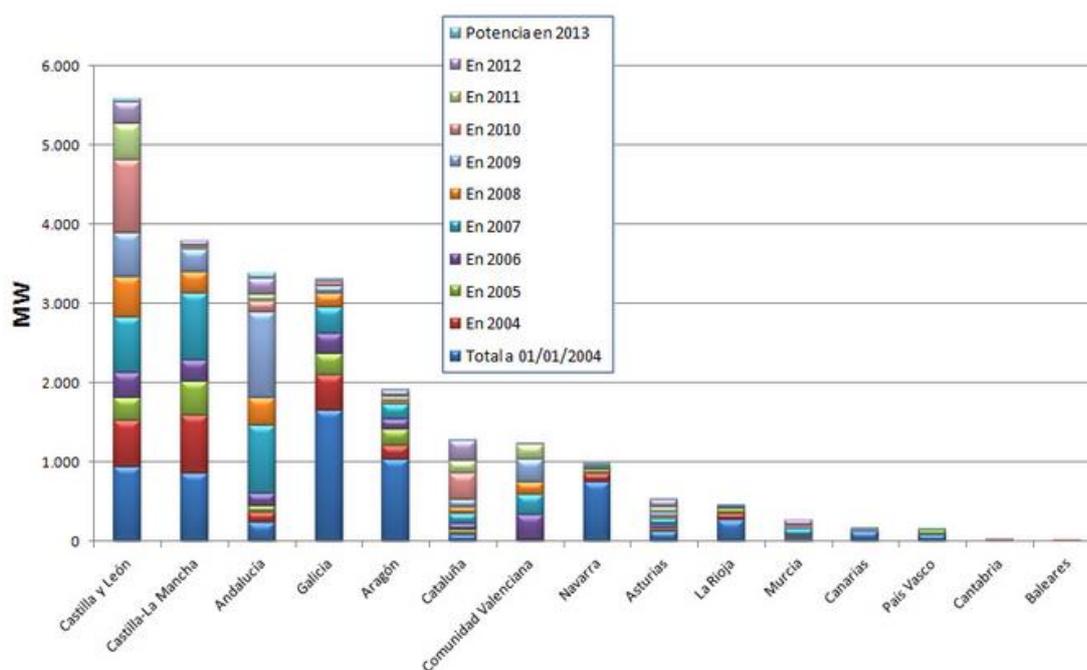


Figura 13.2.c. Evolución de la potencia por Comunidad Autónoma.

Tomada de AEE.

stilla y León es el líder nacional en potencia eólica, con sus 240 parques eólicos en funcionamiento, y 84 parques más con autorización para ser construidos. La Asociación de Promotores de Energía Eólica de Castilla y León, APECYL se encarga de los parques eólicos y del fomento de la eólica.

Andalucía, por su parte, pasó de ocupar el cuarto puesto tras Galicia a llegar al tercer puesto, con sus 153 parques eólicos. En términos de provincia, Cádiz lidera con 70 parques y 1.309,70 MW de potencia instalada.

Desde la página de la Agencia Andaluza de Energía se puede consultar la situación actualizada trimestralmente de las infraestructuras energéticas en Andalucía. Incluye información en el ámbito municipal, provincial y autonómico, sobre plantas de generación convencional y renovable, infraestructuras eléctricas y de hidrocarburos, calidad de suministro eléctrico y fabricación de biocombustibles.

Andalucía ha experimentado un importante crecimiento eólico en los últimos cinco años, en concreto, en el periodo de final de 2006 a final de 2010, lo que ha supuesto multiplicar casi por 5 la potencia instalada. La provincia de Jaén cuenta con 1 parque eólico en funcionamiento con una potencia de 15,18 MW

14. LEGISLACIÓN

La base de la legislación eólica reside en la Ley del Sector Eléctrico de 1997 y su normativa de desarrollo y posteriores modificaciones. La ley regula las actividades relacionadas con el suministro de energía eléctrica, como son la generación, comercialización, distribución, así como la gestión y el transporte.

En esta normativa destacan:

- Real Decreto 661/2007 establece los actuales niveles de retribución del sector.
- Real Decreto-Ley 6/2009 introduciendo el Registro de Preasignación.
- Real Decreto 661/2007 modificado por los Reales Decretos 1614/2010 y 1565/2010.

- Normativa nacional debe incorporar la Directiva 2009/28/EC sobre el fomento del uso de las energías de fuente renovable.
- Directiva 2009/72/EC sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y otras disposiciones vinculantes de la Unión Europea.

14.1 Normativa Autonómica

ANDALUCIA

- Plan Andaluz de sostenibilidad energética 2007-2013 (PASENER)
- Orden de 29 de febrero de 2008 (500 MW) por la que se regula el procedimiento para la priorización en la tramitación del acceso y conexión a la red eléctrica en Andalucía para la evacuación de la energía de las instalaciones de generación que utilicen como energía primaria la energía eólica, contempladas en el RD 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- BOE. Ley 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y eficiencia energética de Andalucía.

14.2. Normativa nacional

- Real Decreto 2366/1994, de 9 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones hidráulicas, de cogeneración y otras abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables.
- Real Decreto 1614/2010, de 7 de diciembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica a partir de tecnologías solar termoeléctrica y eólica.
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Real Decreto-ley 2/2013, de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero.

14.3. Reforma energética de 2013

El sistema eléctrico español se basa en una subasta eléctrica que marca el precio de la energía y una diferencia entre los costes fijos del sistema y lo que se cobra a los consumidores como término de potencia que se financia mediante créditos adquiridos por las eléctricas con aval del estado que se conoce como Déficit de Tarifa.

Aprobada 13 de julio de 2013, y conocida como RDL 9/2013 o Reforma energética. El objetivo de este decreto es atajar el Déficit Tarifario y dar estabilidad al sistema eléctrico español.

En el último año la demanda eléctrica en España fue cubierta con las energías nuclear, de carbón, eólica e hidroeléctrica, cayendo el precio del mercado de la energía a mínimos, 18 €/MWh.

El RDL 9/2013 suspende el hasta entonces vigente RD 661/2007 , que regulaba en precio y en el tiempo las primas a recibir las tecnologías acogidas al régimen especial de producción de energía eléctrica.

Se suspenden las primas que recibían las renovables, por ello los inversores que han apostado por las energías renovables no podrán hacerse cargo de las deudas contraídas.

El sistema eléctrico necesita realizar grandes inversiones, inversiones que se recuperan en un plazo de entre 10 y 20 años.

Estas inversiones aumentarán el precio global de la energía, con lo que la competitividad de las empresas españolas volverá a disminuir.

15. COSTES

Se dividen en:

Inversión inicial, o costes privados.

1. Coste de los aerogeneradores. Se estima 325 a 400 €/m² de área de rotor.
2. Otros. 25% del costo de los aerogeneradores.

Incluye las infraestructuras civiles y eléctricas, transportes, montajes y gestión y administración

Costes operativos. 2,5% de la inversión inicial.

1. Costes de operación y mantenimiento, 1,5% de la inversión.
2. Seguros, 1% de la inversión.
3. Reacondicionamiento de la infraestructura 1%.

En los proyectos de energía eólica se usa un horizonte de amortización del orden de 10 a 20 años.

1,3 M€ por MW de potencia.

Si se consideran los costes ocultos debidos a la contaminación atmosférica, costos de limpieza de los vertidos habituales y accidentales, la energía eólica puede considerársela actualmente menos costosa que las formas convencionales de producción de energía eléctrica.

La fabricación de turbinas eólicas supone una industria rentable, Dinamarca exportó en 1994 turbinas por valor de 40 mil millones de pesetas.

En 2012 España era el tercer país, tras Japón y Dinamarca, en exportación de tecnología eólica, habiendo multiplicado por diez su exportación entre 1998 y 2012, alcanzando en este último año mencionado un valor de 1.500 millones de euros.

El tamaño por unidad ha aumentado desde los 100 kW de potencia y 20 m de diámetro a los 600 a 1 500 kW y 40 a 60 m de diámetro.

El costo de la energía eólica depende del costo de adquisición del aerogenerador y su infraestructura.

Tarifas eléctricas. A las compañías eléctricas les interesa adquirir la electricidad durante las horas de máximo consumo, porque así se evitan el uso de otras energías menos eficientes. Dependiendo de la horas de día se aplicarán unas tarifas eléctricas u otras.

Crédito de capacidad. Los consumidores que quieran una gran cantidad de energía de una forma veloz, deberán pagar más, obligando a las compañías eléctricas a

adquirir más potencia de planta. Por ello algunas compañías pagan un crédito de capacidad a los propietarios de aerogeneradores.

16. CONCLUSIONES

El campo de la energía eólica ha evolucionado paralelamente a la tecnología. Con el apoyo y financiación adecuada la energía eólica será base fundamental para el desarrollo, no sólo energéticamente, sino también para la competitividad de España en el sector energético.

En los años 1999-2000 la energía de origen autóctono en España estaba entorno al 12%, actualmente, gracias a la puesta en marcha del Plan de Fomento de Energías Renovables el valor ha aumentado hasta el 24 %.

Además, no hay que olvidar su respeto por el medio ambiente, siendo una buena apuesta para el futuro.

Sin embargo, el buen camino que seguía España se verá frenado por la reciente Reforma Energética, en que la reducción de las primas restará seguridad a los inversores y los proyectos eólicos se paralizarán y ralentizarán inversiones futuras.

17. BIBLIOGRAFÍA

17.1 Páginas web

<http://www.aeeolica.org>

<http://www.ecoticias.com>

<http://www.eolicaoffshore.com/>

<http://www.eoliccat.net>

<http://geografiainfinita.com>

<http://www.ree.es/>

<http://twenergy.com>

<http://www.windpower.org>

17.2 Libros

Álvarez Clemente.(2006) *Manuales de energías renovables. Energía Eólica*. Madrid :IDEA.

Carta González J.A., Calero Pérez R., Colmenar Santos A. y Castro Gil M. A. (2009). *Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables*. Madrid: PEARSON EDUCATION

Fernández Salgado, José M.(2011). *Guía completa de la energía eólica*. Madrid: A. Madrid Vicente.

Necuona Neumann Antonio. (2002). *LA ENERGÍA EÓLICA: Principios básicos y tecnología*.

Tarbutck, Edward J.(2013). *Ciencias de la tierra : una introducción a la geología física*. Madrid: Prentice Hall, D. L.

Villarrubia López, Miguel.(2012). *Ingeniería de la energía eólica*. Barcelona: Marcombo.

17.3 Artículos

Sena Rodríguez I. *El primer experimento eólico español*.
<http://www.tarifaweb.com/aljaranda/num33/art5.htm>

2. *COSTES DE LA ENERGÍA EÓLICA*. Recuperado de
<http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/41/tema22/tema22-2.htm>

Desenmascarada la estafa! Déficit de Tarifa, 13 años las eléctricas estafando al país. Recuperado de <http://www.attacmadrid.org/?p=10305>

Energía eólica: Pasado, presente y futuro de un recurso inagotable (I). Recuperado de <http://queaprendemoshoj.com/energia-eolica-pasado-presente-y-futuro-de-un-recurso-inagotable-i/>

España es la tercera potencia europea en exportación de tecnología eólica. Recuperado de <http://www.abc.es/economia/20140404/abci-exportacion-tecnologia-eolica-201404031747.html>

Plataformas flotantes: el futuro de la eólica offshore en España. Recuperado de <http://www.energetica21.com/noticia/plataformas-flotantes-el-futuro-de-la-elica-offshore-en-espaa>

Tipos de Aerogeneradores. Recuperado de <http://opex-energy.com/> .

Veinticinco años de la energía eólica en España. Recuperado de <http://www.apecyl.com/intranet/recRevApe/inxHzKgCrDU3ZqNdz1xyi2qJeZldcm.pdf>

17.4 Otros

Barturen Antépara R., Díaz Huerta I. y Couñago Lorenzo B. *Estudio técnico-financiero sobre la construcción de un parque eólico marino flotante en el litoral español.*

Fernández Díez P. *Energía Eólica.* DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA Y ENERGETICA. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.

Ferrer M.(2012) *Aves y tendidos eléctricos, del conflicto a la solución.* Sevilla: ENDESA.S.A. y Fundacion MIGRES.