Madrid
Ahorra
con Energía

La Suma de Todos

CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA
Comunidad de Madrid
www.madrid.org

Guía sobre Tecnología Minieólica

Guía sobre Tecnología Minieólica

Madrid, 2012

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid

Energy Management Agency
Intelligent Energy Europe

www.fenercom.com

La Suma de Todos

CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA
Comunidad de Madrid
www.madrid.org

Esta Guía se puede descargar en formato pdf desde la sección de publicaciones de las páginas web:

www.madrid.org
(Consejería de Economía y Hacienda, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas)

www.fenercom.com

Si desea recibir ejemplares de esta publicación en formato papel puede contactar con:

Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid
dgtecnico@madrid.org

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid
fundacion@fenercom.com

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, respetuosa con la libertad intelectual de sus colaboradores, reproduce los originales que se le entregan, pero no se identifica necesariamente con las ideas y opiniones que en ellas se exponen y, por tanto, no asume responsabilidad alguna de la información contenida en esta publicación.

La Comunidad de Madrid y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, no se hacen responsables de las opiniones, imágenes, textos y trabajos de los autores de esta Guía.

Depósito Legal: M. 22.033-2012
Impresión Gráfica: Gráficas Arias Montano, S. A.
28935 MÓSTOLES (Madrid)

Autores

Capítulo 1. **La minieólica en España y en el mundo**
D. Beñat Sanz
Técnico de Minieólica y Marina
APPA
www.appa.es

Capítulo 2. **Evolución tecnológica de la minieólica**
D. José Ignacio Cruz
Departamento de Energía
CIEMAT
www.ciemat.es

Capítulo 3. **Marco regulatorio**
D. Beñat Sanz
Técnico de Minieólica y Marina
APPA
www.appa.es

Capítulo 4. **Investigación y desarrollo en minieólica**
D. José Ignacio Cruz
Departamento de Energía
CIEMAT
www.ciemat.es

Capítulo 5. **Nuevo modelo industrial y de negocio en el sector minieólico**
D. Francisco Javier España
Departamento de I+D
E3 EFICACIA ENERGÉTICA EÓLICA, S.L.

Capítulo 6. **Instalación de aerogenerador de 150 kW en el centro de innovación agroalimentario de la fundación Cajamar «Las Palmerillas»**
D. Pau Solanilla
D. Alvaro Ponce
Compañía Eléctrica para el Desarrollo Sostenible, S.A.
ELECTRIA
www.electria.es

Capítulo 7. **Operación y mantenimiento**
D. Alvaro García
ELECTRIA WIND
www.electriawind.com

Índice

PRESENTACIÓN 11

1. LA MINIEÓLICA EN EL MUNDO Y EN ESPAÑA 13
   1. Información General 13
   2. La minieólica en España 13
      2.1. Industria nacional 15
      2.2. Oportunidades y Perspectivas 16
      2.3. Divulgación de la energía minieólica 16
   3. Situación internaciona 17
      3.1. Figuras y cifras 19
      3.2. Perspectivas de Mercado 21

2. EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LA MINIEÓLICA 23
   1. Introducción 23
   2. Tecnología de Aerogeneradores de Pequeña Potencia 27
      2.1. Configuraciones 28
      2.2. Rotor 28
      2.3. Conversión mecánico-eléctrica: Generador eléctrico 32
      2.4. Caja multiplicadora 33
      2.5. Inversor 34
      2.6. Regulación de aerogeneradores de pequeña potencia 34
      2.7. Sistema de orientación 39
      2.8. Torre soporte 40
   3. Conclusiones 41
   4. Bibliografía 41

3. MARCO REGULATORIO 43
   1. Introducción 43
   2. ¿Qué pasos se han dado? 44
      2.1. Art. 13: Procedimientos administrativos, reglamentos y códigos 44
      2.2. Art. 16: Acceso a la red y su funcionamiento 45
      2.3. Publicación y envío del PANER 2011-2020

a la Comisión Europera, tal y como obligaba la Directiva 2009/28/CE 46
2.4. Anteproyecto de Ley de Eficiencia Energética y Energías Renovables 47
2.5. Plan de Energías Renovables 2011-2020 47
2.6. Real Decreto 1699/2011 de regulación de la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia 51
2.7. Publicación del proyecto de Real Decreto por el que se establece la regulación de las condiciones administrativas, técnicas y económicas de la modalidad de suministro de energía eléctrica con balance neto 54
3. ¿Qué falta? 54

4. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN MINIEÓLICA 57
1. Aerogeneradores para aplicaciones urbanas y semiurbanas. Evaluación del recurso eólico disponible y tecnología adecuada 62

5. NUEVO MODELO INDUSTRIAL Y DE NEGOCIO EN EL SECTOR MINIEÓLICO 69
1. Introducción 69
1.1. La directiva 2002/91/CE 69
1.2. La eficiencia energética 69
2. Resumen ejecutivo 70
2.1. Razón de ser del proyecto 70
2.2. Nacimiento del proyecto 71
2.3. Un nuevo sistema de generación eléctrica 71
2.4. ¿Por qué es sumamente interesante este nuevo sistema de generación eléctrica? 71
2.5. Sistema susceptible de ser subvencionado 72
2.6. Patentes 72
3. Descripción técnica de la propuesta 72
3.1. Breve descripción de funcionamiento 72
3.2. Memoria descriptiva 73
3.3. Características del extractor eólico 74
3.4. Funcionamiento y ejemplos de utilización 75
3.5. Instalación y montaje del extractor eólico 78
4. Eficacia del dispositivo 80
5. Oportunidad de negocio en base a la legislación actual 81

6. Nuevo e innovador modelo industrial y de negocio 82
6.1. Ejemplo de mercado potencial en el parque de viviendas de la comunidad de madrid 82
6.2. Cálculo de unidades por edificio e hipótesis de producción 83

6. INSTALACIÓN DE AEROGENERADOR DE 150 KW EN EL CENTRO DE INNOVACIÓN AGROALIMENTARIO DE LA FUNDACIÓN CAJAMAR «LAS PALMERILLAS» 87
1. Introducción 87
2. Instalación minieólica del aerogenerador Garbí 150/28 de 150 kW 88
3. Ejecución del proyecto 91
3.1. Análisis del emplazamiento 91
3.2. Datos de viento 92
3.3. Cálculo de la producción 94
3.4. Análisis económico y financiero de la viabilidad del proyecto 95
4. Solución técnica 95
4.1. Especificaciones técnicas 96
5. Montaje en campo 100
5.1. Transporte y montaje de aerogenerador 100
5.2. Cimentación 101
5.3. Montaje del aerogenerador 101

7. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO 105
1. Introducción. 105
2. Máquinas accesibles (0,1-20 kW) 107
2.1. Operación 108
2.2. Mantenimiento 108
3. Máquinas no accesibles (20-200 kW) 109
3.1. Operación 111
3.2. Mantenimiento 112

PRESENTACIÓN

La generación de electricidad a pequeña escala gracias a la energía del viento, denominada *minieólica*, es una tecnología que necesita un impulso por parte de las Administraciones y empresas, habida cuenta de los beneficios potenciales que aporta, que si bien tiene décadas de vida, su nivel de implantación es aún muy bajo, pese a que se podría instalar tanto en el sector primario, como en el industrial, en el de servicios y en el residencial.

En este contexto, la Consejería de Economía y Hacienda, en colaboración con la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid y diversas empresas e instituciones del sector energético y de servicios, han elaborado esta guía, dirigida tanto al público profesional como al ciudadano, como instrumento para dar a conocer esta fuente de energía renovable y sus posibilidades.

La guía explica en qué consiste la producción de electricidad mediante generadores eólicos de pequeña potencia y detalla los tipos de sistemas y cuáles son sus posibles aplicaciones y su nivel de compatibilidad con otros.

Si bien esta tecnología está ya en uso con instalaciones de potencias elevadas, su nivel de implantación para bajas potencias en cualquiera de los sectores es aún muy bajo.

El uso de estos dispositivos contribuye a la diversificación del abastecimiento de energía, acercando la generación al punto de consumo, muy necesario para una región como la Comunidad de Madrid en la que sólo se genera un porcentaje pequeño de la energía final consumida.

Es importante señalar que la energía minieólica que se describe en la guía puede contribuir a conseguir los fines que persigue la Comunidad de Madrid con la campaña **Madrid Ahorra con Energía**, a través de su extensa colección de publicaciones relacionadas con las energías renovables.

Esperamos que esta aportación de conocimientos sirva para mantener vivo el espíritu de la citada campaña y desde aquí ani-

mamos a consultar la serie de Guías sobre las distintas tecnologías para el uso de las Energías Renovables y de Ahorro y Eficiencia Energética.

D. Carlos López Jimeno
Director General de Industria, Energía y Minas
Consejería de Economía y Hacienda
Comunidad de Madrid

1 LA MINIEÓLICA EN EL MUNDO Y EN ESPAÑA

D. Beñat SANZ
Técnico de Minieólica y Marina
APPA
www.appa.es

1. Información General

La energía minieólica fue originalmente definida por sus características para producir poca cantidad de electricidad para cubrir el consumo de los electrodomésticos o cubrir la demanda varios hogares con poca demanda eléctrica.

Una familia estadounidense promedio utiliza 11.496 kWh de electricidad al año. Bajo esas mismas premisas, se necesitaría una turbina de unos 10 kW para cubrir el consumo total.

En comparación, un hogar promedio europeo tiene un consumo energético más ajustado, y con una turbina de 4 kW podría autoabastecerse. Una familia promedio china tendría suficiente con un aerogenerador de 1 kW.

En las últimas décadas se ha observado un creciente tamaño del promedio de las instalaciones eólicas de pequeña potencia. Este patrón es debido en gran parte al creciente interés de los grandes sistemas conectados a la red, así como a un mercado ligeramente decreciente de sistemas aislados. Sin embargo, con el fin de crear un estándar se considera aconsejable llegar a una definición internacional consensuada.

2. La minieólica en España

Históricamente en España los pequeños aerogeneradores se han venido utilizando mayoritariamente para el autoconsumo de instalaciones aisladas de la red y conectadas a baterías (para almacenamiento) como son los sistemas repetidores para radio, telefonía móvil, sistemas de vigilancia de carreteras o contra incendios, y para el su-

ministro de energía en algunas viviendas situadas en lugares remotos alejados de la red eléctrica.

Aunque el recurso es el mismo que en la gran eólica, las instalaciones minieólicas tienen características propias:

- **Generación de energía próxima a los puntos de consumo,** reduciendo las pérdidas de transporte (generación distribuida).
- **Versatilidad de aplicaciones y ubicaciones, ligado al autoconsumo,** con posibilidad de integración en sistemas híbridos, y tecnologías existentes para suelo y cubierta.
- **Accesibilidad tecnológica al usuario final,** por las relativamente bajas inversiones requeridas, con una instalación sencilla (sin apenas necesidad de obra civil), facilidad de transporte de equipamientos y montaje.
- **Funcionamiento con vientos moderados,** sin requerir complejos estudios de viabilidad.
- **Aprovechamiento de pequeños emplazamientos** o de terrenos con orografías complejas.
- Suministro de **electricidad en lugares aislados** y alejados de la red eléctrica.
- **Optimización del aprovechamiento de las infraestructuras eléctricas de distribución existentes,** a las que se conectan directamente, sin requerir infraestructuras eléctricas adicionales de evacuación.
- **Bajo coste de operación y mantenimiento y elevada fiabilidad.**
- **Reducido impacto ambiental,** por menor tamaño e impacto visual, y por su integración en entornos humanizados.

Así como la energía eólica de gran potencia ya ha demostrado su viabilidad y contribuye de manera creciente al sistema eléctrico nacional, el segmento de la energía eólica de pequeña potencia (o energía minieólica) no se ha desarrollado suficientemente y se está desaprovechando la capacidad de aportar energía renovable de forma distribuida, mediante su integración en entornos urbanos, semi-urbanos, industriales y agrícolas, especialmente asociada a puntos de consumo de la red de distribución.

No obstante, se está avanzando considerablemente en las debilidades de esta tecnología que históricamente habían limitado su prolife-

ración a zonas rurales y aisladas (ruido, vibraciones y turbulencias). A raíz de estos avances, la tecnología minieólica ha despertado un gran interés, siendo considerada como una fuente energética de generación distribuida con gran potencial de desarrollo a nivel doméstico e industrial (y por tanto a nivel de integración en la edificación).

Para permitir el despegue de las aplicaciones asociadas a la Eólica de Pequeña Potencia, primeramente se considera necesario diferenciarlas de la generación masiva de electricidad mediante parques eólicos, facilitando su tramitación administrativa y su conexión a las redes de distribución. Además, es imprescindible contar con un marco retributivo adecuado, que reconozca sus características diferenciadas en cuanto al estado de la tecnología, costes y ventajas específicas.

2.1. Industria nacional

Existe un tejido empresarial nacional pujante en el plano internacional, formado por fabricantes, promotores y productores que se han organizado en el seno de APPA para mejorar su situación en España. Existen una decena de fabricantes de aerogeneradores de pequeña potencia, con una considerable variedad de diseños y productos diferentes de aerogeneradores.

La gran mayoría han venido desarrollando aerogeneradores de eje horizontal en el rango de hasta 10kW, pero en los últimos años, se están consolidando fabricantes de aerogeneradores de eje vertical así como fabricantes de mayor rango de potencia (100kW).

Es obvio que, aunque la industria minieólica nacional se encuentra en un periodo de demostración tecnológica, las empresas españolas están bastante bien posicionadas para competir en el mercado, no sólo nacional sin también internacional.

Se está trabajando en nuevos convertidores electrónicos de alta eficiencia, diseñados específicamente para minieólica, en los que aplicamos avances y mejoras de cara a una efectiva conexión a la red.

Por otro lado, el sector lleva unos años trabajando para lograr una regulación específica que incentive el mercado y la definitiva maduración de la tecnología, al igual que ha ocurrido con otras tecnologías.

Este proceso de industrialización permitirá la rápida reducción de costes de fabricación y la mejora de rentabilidad de las instalaciones conectadas a la red. De este modo, los proyectos se rentabilizarán en un tiempo razonable, la industria responderá positivamente y el mercado español se desarrollará definitivamente y permitirá generar empleo cualificado de manera distribuida.

2.2. Oportunidades y Perspectivas

La minieólica es una energía renovable con gran potencial y que está suscitando gran interés en la sociedad actual. El sector minieólico está esperanzado porque después de varios años de trabajo, por fin, en la planificación de esta década, se contempla por primera vez la energía eólica de pequeña potencia.

Parece que empieza a vislumbrarse un horizonte en el que la energía minieólica, con su carácter de energía distribuida, pueda ser una tecnología renovable más. Con las medidas que se plantean en el PER para el despliegue de las instalaciones eólicas de pequeña potencia, se espera que la potencia en servicio aumente progresivamente desde los 5 MW en 2011 hasta unos 50 MW/año durante 2015 y los siguientes años hasta 2020. Ello totalizaría unos 300 MW en el período 2011-2020.

La industria prevé que la ejecución de estas medidas provocará una reducción de costes de la tecnología, y ésta, junto con el inevitable aumento en el precio de los combustibles fósiles, se traducirá en la penetración de sistemas minieólicos a nivel nacional.

2.3. Divulgación de la energía minieólica

Los principales actores de los sectores de las energías renovables y la instalación en España, con el apoyo y la colaboración de instituciones y organizaciones de la relevancia del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE), la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU), Greenpeace, WWF, el Ciemat o Cener, han constituido la **Plataforma para el Impulso de la Generación Distribuida y el Autoconsumo Energético.**

Bajo el lema «Consume tu propia energía», la Plataforma ha nacido con el ánimo de aunar voces y esfuerzos para defender una regula-

ción que contribuya a una mayor implantación en favor de la generación distribuida y el autoconsumo energético con Balance Neto.

Aunque los principales agentes que participan en esta iniciativa son del sector fotovoltaico, el sector minieólico también está representado (a través de APPA Minieólica) porque considera importante trasnmitir a la sociedad las bondades de la tecnología minieólica, la gran desconocida a nivel de usuarios.

Entre las primeras acciones de la Plataforma se encuentran la formación de un grupo de trabajo técnico para colaborar con las Administraciones Públicas en el desarrollo del Real Decreto de Balance Neto, y la realización de acciones informativas y de difusión.

3. Situación internacional

Tal y como indica el informe recientemente publicado de la World Wind Energy Association (WWEA) se aprecia un crecimiento dinámico en el mercado mundial de aerogeneradores de pequeña potencia, habiéndose alcanzado la capacidad total de 440 MW instalados.

De entre todos los países que están apostando por la tecnología minieólica, destacan China (con 450.000 unidades y 166 MW) y Estados Unidos (con 144.000 unidades y 179 MW). A cierta distancia, les siguen países como Reino Unido, Canadá, Alemania, España, Polonia, Japón e Italia, considerados como mercados de tamaño medio con potencia entre 5 y 50 MW instalados y entre 2.000 y 22.000 unidades instaladas.

En cuanto a las estimaciones para 2020, la WWEA prevé que el total de la capacidad eólica instalada alcanzará los 3.800 MW (que representa un aumento de casi diez veces respecto a 2010). Y además, el mercado de nuevas turbinas eólicas pequeñas tendrá un volumen de alrededor de 750 MW en el año 2020.

En cuanto a **fabricantes de aerogeneradores de pequeña potencia,** existen más de 330 distribuidos en 40 países de todo el mundo.y otras cerca de 300 empresas están fabricando equipos para la industria eólica de pequeña potencia.

Cabe destacar que la mayoría de los fabricantes son a día de hoy pequeñas y medianas empresas y que el potencial de crecimiento del sector y de crear empleo distribuido y de alta calidad es enorme.

Más de la mitad de estos fabricantes se encuentran en sólo cinco países, a saber, en China y los Estados Unidos, sobre todo, pero también en Alemania, Canadá y el Reino Unido.

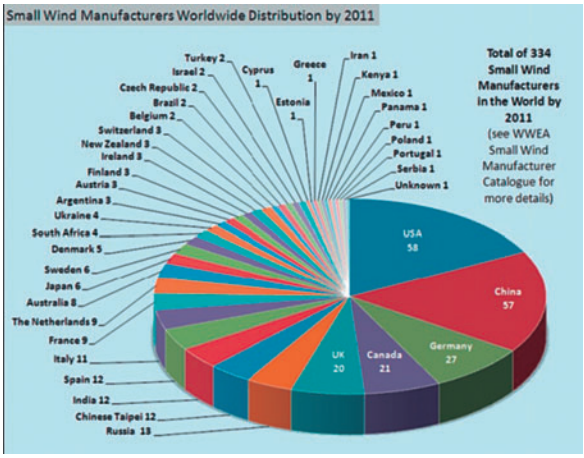


Figura 1.1. Distribución mundial de fabricantes.
Fuente: Small Wind Report 2012 (WWEA).

Como puede verse en la figura, a finales de 2011, los 5 grandes países (Canadá, China, Alemania, Reino Unido y EE.UU.) representan más del 50% de los fabricantes minieólicos. Hay más de 330 fabricantes identificados en el mundo que ofrecen sistemas completos comercializados de una pieza. Asimismo, se estima que hay más de 300 empresas auxiliares que suministran piezas, la tecnología, consultoría y servicios de venta. La distribución mundial de los fabricantes de viento pequeños se pueden encontrar en la siguiente figura:

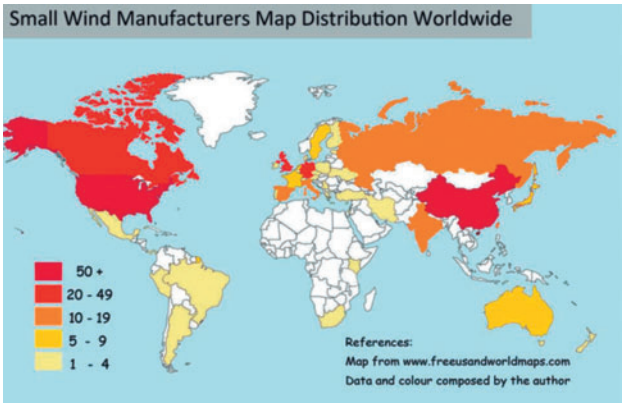


Figura 1.2. Distribución mundial de fabricantes.
Fuente: Small Wind Report 2012 (WWEA).

A pesar de este importante desarrollo del sector en muchos países, tan sólo unos pocos gobiernos están ofreciendo políticas específicas de apoyo a la tecnología minieólica. Son menos de diez países los que ofrecen «Feed in tariffs» suficientemente atractivos para la energía minieólica.

En los países en vías de desarrollo hay una completa falta de sistemas de apoyo, donde si se introdujeran medidas de apoyo, la demanda de pequeñas turbinas de viento sería enorme, especialmente en las zonas no electrificadas. Tan sólo China, donde los precios de los aerogeneradores son relativamente modestos, la tecnología minieólica contribuye en gran medida a la electrificación rural.

Aunque a día de hoy los aerogeneradores de pequeña potencia representan una pequeña parte del mercado eólico mundial, el mercado potencial es enorme y estas pequeñas turbinas podrán proporcionar electricidad a los ciudadanos autóctonos a precios asequibles, ya sea para la electrificación rural (como en China o en otros países en vías de desarrollo) o conectadas a la red en los países industrializados.

Teniendo en cuenta esto y la importante tasa de crecimiento, el sector mineólico dispone la oportunidad de aumentar sustancialmente sus cuotas de mercado en un futuro inmediato y de convertirse en una industria madura que contribuya a la riqueza humana, la seguridad energética y un medio ambiente saludable.

Los gobiernos deberían reconocer el enorme potencial de la tecnología minieólica y considerar sus grandes beneficios económicos, sociales y ambientales. Para ello deberán establecer condiciones favorables en cuanto a procedimientos legales (simplificación de trámites y de tiempos) y deberán implementar, en un futuro próximo, sistemas de primas o similares, sistemas de certificación exhaustivos.

3.1. Figuras y cifras

A finales de 2009, se habían instalado en el mundo un total de 521.102 aerogeneradores, de los cuales 60.000 se instalaron en 2009 con un volumen de negocios de más de 215 millones de dólares.

A finales de 2010, había instalados 656.084 unidades, (134.982 instalados en 2010) lo que demuestra un crecimiento del 26% respecto a 2009.

La generación aproximada de energía proveniente de pequeños aerogeneradores ascendió a más de 382 GWh.

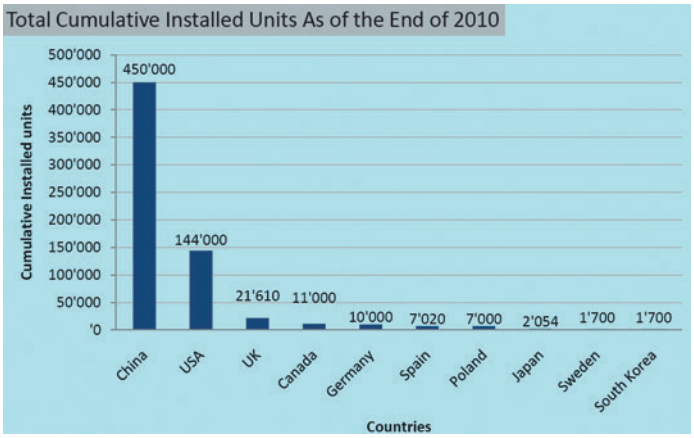


Figura 1.3. Unidades Instaladas en el mundo.
Fuente: Small Wind Report 2012 (WWEA).

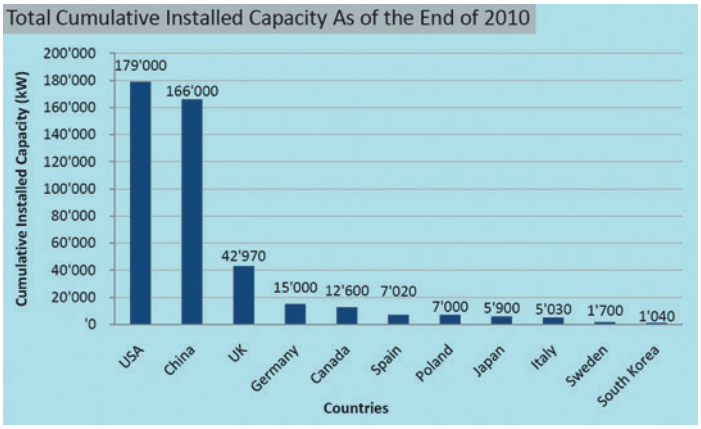


Figura 1.4. Capacidad instalada en el mundo.
Fuente: Small Wind Report 2012 (WWEA).

A finales de 2010, la capacidad total instalada todo el mundo ha llegado a 443,3 MW.

Los Estados Unidos son responsables de aproximadamente el 40% de la capacidad instalada con un total de 179 MW. El logro de los Estados Unidos se atribuye al enorme apoyo que dispone el mercado con cerca de 30 diferentes tipos de políticas de apoyo a las

energías renovables y los planes de ayuda financiera de los proyectos minieólicos.

Si nos centramos en la instalación media, el promedio en China es 0,37 kW, en los Estados Unidos es de 1,24kW y en el Reino Unido de 2,0 kW.

No obstante, la tendencia es de aumento de capacidad (máquinas de entre 10 kW y 100 kW). En 2009, aproximadamente 34,4 MW fueron conectados a red, lo que representa el 82% del mercado total, dejando 7,6 MW para sistemas aislados.

A pesar de la gran demanda observada en los países desarrollados, en la actualidad el mercado sigue siendo frágil. Las ventas y la producción siguen dependiendo de la magnitud de los incentivos gubernamentales en forma de políticas de apoyo o programas de ayuda financiera, y como ya hemos comentando, tan sólo unos pocos países ofrecen programas de apoyo suficientes.

En cambio, los países en vías de desarrollo, presentan mercados plenamente competitivos debido a que prevalecen las instalaciones aisladas y las microrredes. Curiosamente, este tipo de instalaciones resultan a menudo económicamente viables sin el apoyo político adicional y representan una verdadera alternativa a la generación de electricidad mediante generadores diesel (costosos y contaminantes).

3.2. Perspectivas de Mercado

Con las apropiadas políticas de apoyo, se espera que aumente la capacidad instalada de la energía minieólica en los próximos años. A largo plazo, la industria deberá evolucionar hacia un modelo productivo y rentable por sí mismo.

El aumento de los precios de los combustibles fósiles, el calentamiento global y la demanda de electricidad en constante crecimiento serán impulsores a largo plazo de la industria minieólica.

Para que la tecnología pueda madurar, sin embargo, la industria debe crear sus propios estándares. No obstante, la transición tomará tiempo y determinación de los consumidores.

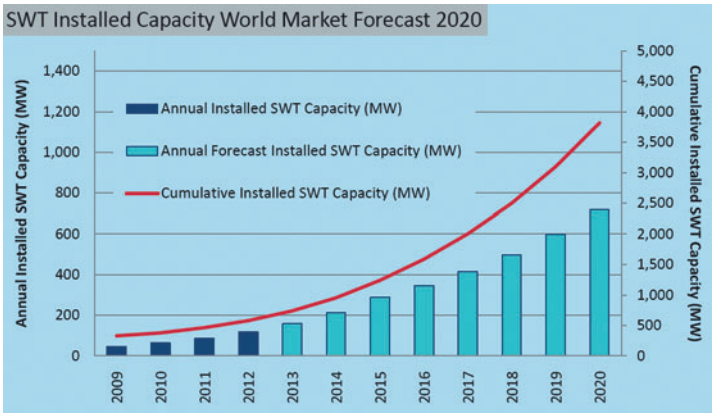


Figura 1.5. Estimaciones de capacidad instalada en 2020.
Fuente: Small Wind Report 2012 (WWEA).

La reciente evolución de la industria minieólica ha demostrado un importante incremento anual del 35% en la capacidad instalada en los últimos años. La tasa de crecimiento se prevé que continúe hasta el 2015, alcanzando una instalación anual de 288 MW.

Sobre la base de una hipótesis conservadora, el mercado podría ver posteriormente una tasa de crecimiento constante del 20% desde 2015 hasta 2020. La industria prevé alcanzar aproximadamente 750 MW de capacidad instalada anualmente hasta alcanzar los 3.817 MW para el año 2020.

2 EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LA MINIEÓLICA

D. José Ignacio Cruz
Departamento de Energía
CIEMAT
www.ciemat.es

1. Introducción

Los primeros desarrollos considerados propiamente como tecnología eólica de pequeña potencia eran aeroturbinas utilizadas para producir electricidad en lugares ventosos y remotos, razón esta última por la que no solían disponer de red eléctrica convencional.

Este tipo de aeroturbinas se caracterizan por producir solamente una pequeña cantidad de kWh al mes, pero esta aparentemente pequeña contribución energética puede suponer una de las pocas vías de disponer de energía en dichos lugares.

Con el tiempo, este tipo de aeroturbinas han evolucionado y su aplicación principal hoy en día es la aplicación conectada a red siguiendo estrategias, implementadas principalmente en países desarrollados, de microgeneración distribuida. En este caso su objetivo es reducir la demanda de energía a nivel doméstica, residencial o industrial operando en cierta manera como una vía activa de ahorro de energía directamente en el punto de consumo.

Las estrategias energéticas hoy en día se basan principalmente en garantizar el suministro reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y ese objetivo se puede alcanzar mediante el uso de sistemas de generación basados en energías sostenibles como son las energías renovables y otras tecnologías que permitan evitar dichas emisiones, pero una de las estrategias más competitivas para alcanzar dichos objetivos son todas aquellas estrategias enfocadas al ahorro energético y éste se puede obtener mediante el aumento de la eficiencia en el consumo de energía y mediante el aprovechamiento de todos los recursos que estén a nuestro alcance a través de sistemas de conversión modulares adaptables a la demanda de energía existente.

Es por esta razón que todas las estrategias enfocadas a la autogeneración al menos de pequeña potencia deberían ser potenciadas.

Hoy en día hay más de 250 fabricantes de aerogeneradores de pequeña potencia a nivel mundial y producen más de 400 modelos diferentes. Aunque los fabricantes de países occidentales han construido alrededor de 200.000 aerogeneradores en los últimos treinta años y es difícil establecer la capacidad de producción de China que puede alcanzar decenas de miles de unidades, este es un mercado todavía necesitado de una cierta madurez tecnológica y comercial.

La mayor parte de los aerogeneradores instalados son de muy pequeña potencia (<1 kW). Estos microaerogeneradores utilizados principalmente para barcos de recreo o para pequeñas aplicaciones de electrificación rural, cada vez más extendidas. La mayoría de estos aerogeneradores disponen de múltiples palas, lo cual facilita su arranque a bajas velocidades de viento y algunos disponen de un aro que une todas las puntas de las palas en aras de una reducción de la emisión de ruido acústico, característica de gran importancia al encontrarse estas turbinas situadas muy próximas a lugares habitados.

Para aplicaciones de mayor consumo de energía, existen múltiples aerogeneradores de mayor potencia (entre 1 kW y 10 kW) preparados para operar en sistemas aislados de la red (conectados a baterías normalmente) o conectados a la red eléctrica convencional.

En los años 30 en Estados Unidos se fabricaron muchos aerogeneradores pequeños para carga de baterías utilizadas en viviendas situadas en lugares remotos.

A menudo, estos «cargadores eólicos» eran la única fuente de electricidad en granjas y ranchos en los días previos al desarrollo de la electrificación rural. Se utilizaron miles de aerogeneradores produciendo desde varias centenas de Wh hasta kWh. Fabricantes como Jacobs o Parris-Dunn eran bien conocidos en aquella época en Estados Unidos.

Al llegar los años 40, la electrificación rural hizo que esta incipiente industria prácticamente desapareciera.

En los años 70, con la crisis del petróleo este tipo de tecnología recobra interés. La primera solución era recuperar los antiguos cargadores de baterías y reconstruirlas. Algunos de ellos siguen en servicio hoy en día.

En Europa, la crisis de los 70 también animó al desarrollo de tecnología minieólica. En España los hermanos Bornay comienzan su actividad desarrollando pequeños aerogeneradores de 60W. En Dinamarca, Alemania y Holanda aparecen varios fabricantes a partir otras actividades (bobinado de máquinas eléctricas, talleres de mecanizado, etc.).

En los años 80 los fabricantes van incorporando nuevas ideas a sus diseños, la mayoría provenientes de las experiencias previas, por ejemplo la mayoría de los aerogeneradores pasan de utilizar dinamo (generadores de corriente continua) para la conversión de energía mecánica en eléctrica a generadores síncronos de imanes permanentes normalmente de ferrita, en los cuales se produce corriente alterna (CA) que había que convertir en continua (CC) mediante un rectificador para poder cargar baterías. Con el tiempo ese rectificador se conectaría a un inversor o convertidor de corriente continua en alterna para poder verter la energía producida a la red eléctrica.

Algunos fabricantes en los años 80 construían los aerogeneradores de pequeña potencia con generadores de inducción para conectarlos con la red eléctrica directamente, al igual que los aerogeneradores de potencias mayores. Esta solución técnica es muy simple para conexión a red, pero complicada para aplicaciones aisladas de la red, por la necesidad de que el generador sea excitado desde fuera. También la necesidad de incorporar una transmisión o caja multiplicadora para acoplar la relación par-vueltas del rotor de la aeroturbina con la relación par-vueltas del generador, hace que la tarea de mantenimiento sea más compleja.

En Europa, en los años 80 había múltiples fabricantes de aerogeneradores basados en generador de inducción o asíncrono para conexión a red debido a su mayor nivel de electrificación rural (fabricantes como el francés Vergnet con tecnología Aerowatt, el holandés WES, el alemán Venus Inventus posteriormente Conergy y después Easy Wind, el inglés Gazelle o el danés Kolibri posteriormente Gaia Wind), todos desarrollaron aerogeneradores con generador de inducción, pero al final los aerogeneradores basados en generadores de imanes permanentes han vencido en esa particular contienda, mientras el precio de los imanes permanentes de Neodimio-Hierro-Boro lo permitan.

También el tamaño fue creciendo gradualmente desde 10 kW a 15 kW y posteriormente a 30 kW

A finales de los años 80 ya se considera pequeña potencia a los aerogeneradores de 50 kW (con 15 m de diámetro de rotor).

La norma del Comité Electrotécnico Internacional que dicta las instrucciones para diseñar adecuadamente un pequeño aerogenerador y que permite verificar el diseño y por lo tanto la seguridad de los aerogeneradores de pequeña potencia, establece en su norma IEC 61400-2 que un aerogenerador de pequeña potencia es aquel cuya área barrida por el rotor no supere los 200 m^2, lo cual significa unos 50 ó 60 kW de potencia nominal. Este límite en tiempos fue 40 m^2 (7 a 10 kW).

Ahora bien, en los distintos programas de fomento de la energía eólica de pequeña potencia que existen hoy en día, el límite de pequeña potencia considerado es variado (en Italia 200 kW, en España 100 kW, en Portugal 3,4 kW etc.).

Por último reseñar que la tecnología eólica de pequeña potencia ha evolucionado desde la aplicación rural aislada a la aplicación conectada a red, e incluso ha entrado en emplazamientos semiurbanos y residenciales e incluso urbanos para lo cual se ha desarrollado nueva tecnología de eje horizontal y sobre todo de eje vertical.

En la tecnología de eje vertical hay desarrollos tipo Savonious y Darrieus, pero los más llamativos son los desarrollos tipo Darrieus, pero con palas helicoidales torsionadas tipo Gorlov (Turby, Quiet Revolution, Urban Wind Energy).

Figura 1. Aerogenerador Turby instalado en cubierta de edificio. Fuente: CIEMAT.

2. Tecnología de Aerogeneradores de Pequeña Potencia

La tecnología eólica de pequeña potencia presenta múltiples soluciones tecnológicas que conviven en el mercado, lo cual indica una falta de madurez que poco a poco se va evitando a medida que se consolidan las mejores soluciones y los diseños se van pareciendo cada vez más.

Esta evolución hacia una configuración común se comienza a entrever y aunque puedan parecer los aerogeneradores diferentes, conceptualmente cada vez son más similares.

Un aerogenerador de pequeña potencia esta compuesto por el rotor, en el cual se convierte la energía cinética del viento en momento de giro, en energía en forma mecánica. El generador eléctrico que acoplado mecánicamente al rotor convierte la energía mecánica en energía eléctrica normalmente de frecuencia y tensión variable y el timón o aleta de cola, que básicamente es el sistema de orientación. Todos estos componentes, por razones evidentes, tienen que estar a una distancia del suelo mediante una estructura soporte o torre y por último hace falta un sistema de acondicionamiento de potencia que en el caso de aerogeneradores para carga de baterías (sistemas aislados de la red) será un rectificado o convertidor CA/CC y un regulador de carga y en el caso de conexión a la red el regulador se sustituye por un convertidor CC/CA o inversor.

Por último todo aerogenerador de pequeña potencia tiene que tener un sistema de protección contra sobrevelocidad en caso de velocidades de viento extremas. Este dispositivo es esencial para la seguridad del aerogenerador y para alargar lo mas posible su vida útil al evitar importantes cargas mecánicas sobre las palas que son los componentes de mayor riesgo. Todos los aerogeneradores, excepto los muy pequeños (< 100 W) disponen de algún sistema aerodinámico que actúe como limitador de la potencia convertida por el rotor, en caso de emergencia. No se puede garantizar la total seguridad de un aerogenerador de pequeña potencia aun disponiendo de control aerodinámico y sistema de frenado eléctrico o mecánico, por lo que el sistema de control de sobrevelocidad aerodinámico es imprescindible.

Las mayores diferencias tecnológicas aparecen en el diseño de las palas y en el sistema de control o protección contra sobrevelocidad.

2.1. Configuraciones

Básicamente una aeroturbina de pequeña potencia puede ser de eje horizontal o de eje vertical. En el caso de las aeroturbinas de eje horizontal, el rotor puede estar a barlovento de la torre, o sea en la dirección de incidencia del viento delante de la torre o a sotavento, en cuyo caso el rotor se encuentra detrás de la torre en la dirección dominante del viento. La mayoría de los aerogeneradores comerciales son de rotor a barlovento de la torre, lo cual hace que requieran de algún sistema de orientación. En el caso de rotor a sotavento el rotor es auto-orientable, lo cual simplifica su diseño.

Las aeroturbinas de eje horizontal son más eficientes que las de eje vertical, están más probadas, son más económicas y hay muchos productos donde elegir. Sin embargo tiene dificultad para soportar las continuas orientaciones y su eficiencia se reduce operando en régimen turbulento.

Las aeroturbinas de eje vertical están siempre orientadas a la dirección predominante de viento debido a su simetría, son menos sensibles a las condiciones de alta turbulencia y produce menos vibraciones, estas condiciones las hacen ideales para integración en zonas residenciales, urbanas e incluso en edificios. En cambio su eficiencia es menor que en el caso de las horizontales y no están muy probadas ya que ahora están en pleno desarrollo. Existen dos tipos de turbinas verticales, las basadas en arrastre y las basadas en sustentación. Las primeras son menos eficientes, pero normalmente más robustas.

2.2. Rotor

El rotor de un aerogenerador de pequeña potencia puede diseñarse con una pala (monopala), dos palas (bipala), tres palas (tripala), cuatro palas, cinco palas o más si es de eje horizontal. En el caso de rotores de eje vertical el uso mínimo es dos palas.

Figura 2. Aerogenerador Geo 4K (Kliux Energies). Fuente: CIEMAT.

La única ventaja de utilizar un número menor de palas es que es más barato, pero las aeroturbinas de una o dos palas requieren de una velocidad de rotación mayor, lo que hace que sean más ruidosas.

Además una aeroturbina tripala dinámicamente es más equilibrada en todo su radio de giro que una bipala por ejemplo, lo cual hace que reparta mejor las cargas.

Una turbina tripala girará más suavemente que una de dos palas y por lo tanto su vida útil será mayor. Además una turbina tripala logrará girar para velocidades de viento menores. También hay aerogeneradores de cuatro palas (Venus Inventus, ahora Easy Wind) pero pocos y para pequeñas potencias (microeólica) por debajo de 1 kW hay aeroturbinas de 5 y 6 palas o incluso más, que arrancan con una suave brisa (Bornay Bee 600).

En cualquier caso la potencia extraída por la aeroturbina no dependerá del número de palas, dependerá de la bondad de su diseño y del área barrida por las palas. Como conclusión, decir que el mejor rendimiento se alcanza con tres palas.

Antiguamente se fabricaban aerogeneradores de dos palas para obtener un régimen de giro mayor que permitiese un mayor rendimiento al conjunto rotor y generador eléctrico, pero sobre todo, la cuestión de ruido acústico, mayor cuanto mas alta es la velocidad de rotación

del aerogenerador y la excesiva fatiga han hecho que la mayoría de los aerogeneradores de pequeña potencia existentes hoy en día sean tripalas.

Hay algunos aerogeneradores de pequeña potencia que, especialmente para limitar la emisión de ruido acústico y mejorar en términos de seguridad, disponen de un rotor carenado (Swift Wind Turbine), o con difusor aumentador (Donqi, Enflo Windtec, Flodesign, etc.) en cuyo caso aumentan levemente la eficiencia gracias al diseño del difusor siguiendo el principio de Bernouilli, por el cual se aprovecha la generación de vórtices en el borde de salida del difusor causando una aportación de momento de giro a la estela del rotor, reduciéndose la presión a la salida del difusor, por lo que consecuentemente aumenta la potencia entregada.

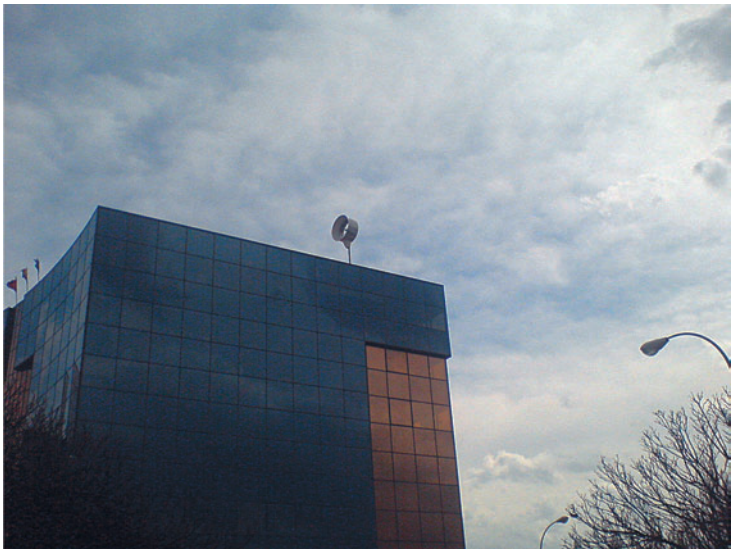


Figura 3. Aerogenerador Donqi 1.75 kW (2 m diámetro) instalado en cubierta de edificio en Pamplona. Fuente: CIEMAT.

Los principales parámetros de diseño de una pala para un pequeño aerogenerador son la baja emisión de ruido acústico y alta eficiencia en emplazamientos con baja velocidad media de viento.

Las palas de los aerogeneradores de pequeña potencia son muy variadas en cuanto a geometría. Normalmente se intentan hacer sencillas de cara a facilitar su fabricación. Aunque aerodinámicamente las palas óptimas tienden a tener una variación progresiva de la torsión, de la forma, de la cuerda, del espesor y de sus propiedades

aeroelásticas, en pequeña potencia la gran mayoría de las palas son de cuerda y espesor constante y sin apenas torsión. Además hay que tener en cuenta que las palas de este tipo de aerogeneradores de pequeña potencia se deben diseñar para bajos números de Reynolds, (entre 100.000 y 500.000) si se desea lograr que comience a girar de forma fácil y que tenga alta eficiencia a bajas velocidades de viento.

Los materiales utilizados para fabricar las palas fueron en un principio madera, tela, acero o aluminio, este último abandonado por su malas propiedades frente a fatiga y han evolucionado hacia los materiales compuestos ligeros de resina epoxy reforzada con madera, poliamidas como el nylon o fibras de vidrio, fibra de carbono o ambos.

En cuanto al procedimiento de fabricación, la mayoría de las palas se fabrican mediante métodos artesanales. Normalmente los métodos son el posicionamiento manual de fibra en un molde, en el cual posteriormente se inyecta la resina con bolsas de vacío y finalmente se cura a temperatura controlada. Una vez curada se lija para quitar las irregularidades y se aplica un revestimiento anti radiación ultravioleta y anti erosión normalmente en el borde de ataque (gelcoat). En el interior suelen tener un relleno de espuma o algún material muy poco pesado y barato. Este método da lugar aun acabado muy disperso y al ser intensivo en mano de obra el coste de producción es alto. Por el contrario al disponer de molde se pueden hacer perfiles más complejos. El otro método mas utilizado es el de pultrusión de material plástico. Mediante este proceso se obtiene un buen acabado superficial con un coste de producción bajo, pero los perfiles tiene que ser simples, normalmente de sección constante.

Las palas se acoplan al eje mediante un buje o cubo, a través del cual transmiten el momento de giro. Este buje o cubo debe ser resistente y simple. Normalmente esta fabricado en acero. El acoplamiento se hace mediante tornillos, que hay que vigilar que el hueco de paso en la pala disponga de casquillos ya que la fibra acaba cediendo. Hay aerogeneradores en los cuales el sistema pasivo de cambio del ángulo de paso de las palas está integrado en el buje, normalmente los sistemas accionados por la fuerza centrífuga sobre una masa (aerogeneradores Wind spot, Kestrel, Eoltec o Vergnet) que están ajustados en función de la velocidad de rotación del rotor. Este sistema de cambio de paso permite al rotor limitar la velocidad de rotación frente a situaciones de alta velocidad de viento o ráfagas, pero con-

tinuar produciendo potencia en el entorno de su valor nominal. Una característica importante es que todas las palas cambien su ángulo de paso a la vez evitando desequilibrios dinámicos que pueden fatigar estructuralmente al aerogenerador.

Normalmente, todos los aerogeneradores de pequeña potencia tienen una pieza cónica o semiesférica fabricada en fibra de vidrio que hace de tapacubo o buje o también llamada nariz. Es conveniente que su diseño sea adecuadamente aerodinámico.

La mayoría de los aerogeneradores de pequeña potencia no disponen del denominado tren de potencia, ya que normalmente el buje o cubo está acoplado directamente al generador eléctrico, que normalmente es un generador síncrono de imanes permanentes. Hay algún modelo de aerogenerador de pequeña potencia con generador asíncrono de rotor cortocircuitado o también denominado de rotor de jaula de ardilla (Gaia wind, Easy Wind, Vergnet, etc.), pero no son muchos ya que al no poder diseñarse con un número de polos lo suficientemente grande para reducir su velocidad de sincronismo a la velocidad adecuada para el rotor, se requiere de una transmisión o caja multiplicadora que complica en cierta manera el mantenimiento y aumenta el peso.

2.3. Conversión mecánico-eléctrica: Generador eléctrico

Los aerogeneradores con generador asíncrono o de inducción deben de estar siempre conectados a la red o a una fuente de potencia reactiva que sirva de excitación. La velocidad de rotación del aerogenerador en este caso es casi constante una vez conectado éste a la red eléctrica y será proporcional a la frecuencia de la señal de la red y al número de polos del generador. Es muy común que dispongan de generadores con conmutación de polos pudiendo operar a dos velocidades de rotación.

Por el contrario, el generador síncrono normalmente dispone de excitación propia mediante electroimanes o imanes permanentes, lo que hace que pueda opera aislado de la red fácilmente, variando su velocidad de rotación, normalmente aumentando con la velocidad de viento. Al variar la velocidad de rotación, variará la frecuencia de la señal alterna de salida, por lo que este aerogenerador dispondrá de un rectificador o convertidor alterna contínua conectado a la salida

del generador eléctrico para poder obtener tensión contínua y después incluirá un regulador-cargador de baterías en el caso de que opere aislado de la red eléctrica o un convertidor contínua alterna o inversor en caso de operar conectado a la red eléctrica. Este generador tendrá una velocidad de sincronismo menor que el generador asíncrono, debido a su mayor número de polos, por lo que no hace falta ningún dispositivo que adapte la relación par-velocidad del rotor y del generador, simplificando su diseño al no requerir de transmisión o caja multiplicadora.

Normalmente los generadores síncronos de imanes permanentes se fabricaban con imanes de ferrita, pero hoy en día la mayoría están fabricados con imanes de Neodimio-Hierro-Boro debido a sus excelentes características magnéticas aunque su precio está creciendo últimamente debido a las existencias limitadas y al creciente número de aplicaciones (vehículo eléctrico, grandes aerogeneradores, etc).

Las topologías más utilizadas en los generadores síncrono de imanes permanentes son la radial y la axial, esta última ofrece más eficiencia, permite la generación polifásica, dispone de doble circuito de corriente contínua, permite operar sin escobillas o anillos rozantes (fuente de problemas en el mantenimiento) y presenta un rizado de tensión muy bajo.

Un parámetro importante del generador eléctrico es que presente el menor par de arranque para facilitar su puesta en marcha con bajas velocidades de viento, aprovechando así al máximo el recurso eólico.

2.4. Caja multiplicadora

Hay muy pocos aerogeneradores de pequeña potencia que dispongan de generador tipo asíncrono o de inducción (Gaia Wind de 10 kW, el Easy Wind, los antiguos Vergnet, el Aerosmart, etc) pero los que hay requieren de una transmisión mecánica o también denominada caja multiplicadora.

Esta transmisión en pequeños aerogeneradores suele ser de ejes paralelos de una o dos etapas y con una relación de transmisión de entre 1:8 y 1:12, para pasar de 100-200 rpm en el rotor de la turbina a 1000 o 1500 rpm en el rotor del generador asíncrono.

2.5. Inversor

Los inversores o convertidores contínua-alterna utilizados en los aerogeneradores de pequeña potencias normalmente son convertidores monofásicos que admiten un ancho rango de tensiones contínuas de entrada, operan a alta frecuencia (disponen de IGBT) y su eficiencia es alta incluso a carga parcial (por encima del 96%).

El modelo de más éxito dispone de transformador de alta frecuencia que garantiza el aislamiento galvánico sin requerir de transformador convencional, que es muy pesado y voluminoso. Normalmente son configurables y se pueden adaptar a la mayoría de los códigos de red existentes.

La mayoría de los inversores permiten programar la curva de potencia de la aeroturbina con alta precisión de forma que permite obtener una productividad alta. Normalmente el inversor dispone de un programa de seguimiento de la curva de potencia. Disponen de capacidad de sobrecarga. Otros disponen de capacidad de programar la curva de potencia en forma polinómica.

La mayoría de los inversores disponen de capacidad de arranque suave. Algunos de ellos disponen de una caja de protección frente tensiones de entrada en contínua excesivamente altas mediante la derivación una vez rectificada de la corriente hacia una resistencia de disipación, mediante la cual, el aerogenerador reduce su velocidad de rotación, permitiendo seguir inyectando energía a la red eléctrica. El puente del inversor esta protegido frente a sobretensiones puntuales mediante varistores.

La mayoría cumplen con la normativa de compatibilidad electromagnética EMC (Según las normas EN 50178, AS/NZS3100, AS/NZS 60950, EN 61000-6-2, EN 61000-6-4, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12) y con los códigos de red de ENEL en Italia, VDE 0126-1-1 en Alemania, AS4777 en Australia, G83/1 en Reino Unido, EN 50438 en Europa.

2.6. Regulación de aerogeneradores de pequeña potencia

En la regulación de los aerogeneradores de pequeña potencia se puede distinguir entre la regulación de potencia que comienza cuando la velocidad del viento hace que el aerogenerador alcance su potencia nominal en la salida y la regulación de velocidad de rotación que se realiza cuando el aerogenerador está operando a potencia parcial, por debajo de su potencia nominal. Hay algunos aerogenera-

dores de muy pequeña potencia (< 100 W) que incluso se diseñan sin sistema de regulación de potencia como los Marlec de origen británico muy utilizados en barcos veleros para carga de baterías en puerto.

Normalmente la regulación de potencia se logra mediante el propio diseño de las palas o actuando de forma pasiva sobre el rotor. El sistema de regulación de potencia sirve obviamente también para proteger al aerogenerador de situaciones de sobrevelocidad protegiéndolo en caso de situaciones de velocidades de viento extremas o desconexiones de la red o de la carga.

Las tecnologías más aplicadas son las siguientes:

- Regulación por entrada en pérdida aerodinámica (en inglés Stall). Este sistema de regulación permite mediante el adecuado diseño de las palas que actúe de inmediato a partir de una cierta velocidad del viento y velocidad de rotación del rotor. El ángulo de ataque de la pala aumenta al aumentar la velocidad de viento ya que una mayor velocidad de viento provoca el aumento de velocidad de rotación del rotor. Y entonces se produce el paso de régimen laminar a turbulento progresivamente desde la pinta de la pala hacia la raíz. Esta técnica produce un aumento equivalente del área barrida por el rotor, lo cual produce un aumento de la fuerza de arrastre normal. Esta solución es muy fiable ya que no requiere de partes móviles o mecanismos. La regulación por entrada en pérdida se utiliza normalmente en aerogeneradores de velocidad de rotación cuasi fija, por ejemplo con generadores asíncronos conectados a la red eléctrica directamente (por ejemplo el aerogenerador británico Gaia Wind de 11 kW o el holandés WES Tulipo de 2,5 kW), aunque también se puede utilizar con aerogeneradores con control de velocidad y por lo tanto operando a velocidad variable y en este caso normalmente la regulación se denomina por pérdida activa, ya que se puede producir la entrada en pérdida aumentando o disminuyendo la velocidad de rotación mediante el control del par del generador realizado electrónicamente (aerogenerador norteamericano fabricado pro la empresa Southwest Wind Power denominado Skystream 3.7, el español Vento 5000 de 5 kW fabricado por Windeco o el pequeño aerogenerador japonés Airdolphin de 1 kW de la empresa Zephyr). Cuando la pala entra en pérdida se producen vibraciones con lo que se obtiene un incremento del ruido acústico. Con este sistema de regulación hace falta algún sistema de protección contra sobrevelocidad que se logra mediante la combinación de varios sistemas como desorientación, control de par mediante el

convertidor electrónico o en los aerogeneradores algo más grandes y de velocidad de rotación casi fija (AOC 15/50) mediante el uso de aerofrenos. Los aerofrenos son un sistema de cambio de paso de la sección de punta de cada pala, que se despliega cuando la velocidad de rotación supera un determinado valor, situándose en un ángulo de paso muy ineficiente para aportar momento de giro al rotor y provocando la reducción de la velocidad de rotación del mismo inmediatamente, protegiéndolo. Una vez superado el evento, la posición original del aerofreno se puede recuperar mediante un sencillo electroimán accionado desde el control, lo cual permitirá al aerogenerador continuar produciendo en condiciones normales.

Figura 4. Aerogenerador Airdolphin de 1 kW instalado en techo de edificio. Fuente: CIEMAT.

- Regulación por cambio del ángulo de paso de la pala (en inglés Pitch). Este tipo de regulación aumenta mediante un accionamiento mecánico, hidráulico o eléctrico el ángulo de paso de la pala a partir de una determinada velocidad de viento lo que provoca

una cierta reducción de la velocidad de rotación. Estos sistemas que en pequeños aerogeneradores normalmente son pasivos están basados en contrapesos con muelles que voltean progresivamente la pala según la velocidad de rotación aumenta ya que a la vez aumenta la fuerza centrífuga ejercida sobre la masa o contrapeso. Si el sistema está correctamente diseñado, esta solución es la mejor para extraer la máxima potencia para valores de velocidad de viento por encima de la nominal. Es importante conseguir que todas las palas modifiquen su ángulo de forma sincronizada para evitar desequilibrios dinámicos en el rotor que podrían dañarlo. Esta solución facilita el arranque a bajos vientos ya que el diseño y la posición de las palas es adecuado para ello, aumentando el ángulo progresivamente de manera que mantiene la velocidad de rotación de la turbina óptima para cada velocidad de viento. El inconveniente es la dificultad de fabricación y la fiabilidad del sistema. En aerogeneradores de pequeña potencia esta tecnología ha sido utilizada por varios tecnólogos como los antiguos windchargers en Estados Unidos o los pequeños aerogeneradores franceses de Aerowat, los también franceses Vergnet. Hoy en día existen varios modelos de aerogeneradores en el mercado con este sistema como los aerogeneradores españoles Windspot o los británicos Evance R9000 de 5 kW en España distribuidos por Carlo Gavazzi o los Ampair. Este sistema de regulación permite diseñar de forma más liviana al aliviar cargas lo que se traduce en una reducción del coste de la torre y del rotor.

Figura 5. Aerogenerador Windspot 3.5 kW (SONKYO Energy). Fuente: CIEMAT.

- Regulación por desorientación o plegado del rotor (en inglés furling). Se trata de sacar el rotor del plano en el que es perpendicular al flujo de viento, logrando que se reduzca la superficie expuesta del rotor, haciendo que la potencia extraída se mantenga o reduzca con velocidades de viento crecientes. El plegado o desorientación opera reduciendo el ángulo de ataque, lo cual reduce la resistencia inducida de la sustentación del rotor así como la superficie total barrida por el rotor. Una de las mayores dificultades para el diseñador es obtener sistemas de plegado lo suficientemente rápidos como para filtrar ráfagas súbitas de viento evitando que la turbina se acelere. Una aeroturbina totalmente plegada o desorientada tiene el borde de la pala frente al viento. El plegado o la desorientación puede producirse con respecto al eje vertical o sea, desorientación lateral, que puede ser solo del rotor (plegado de rotor) o del conjunto rotor y generador (plegado de cola). Ejemplos de aerogeneradores con sistema de regulación por desorientación o plegado lateral hay varios, como el aerogenerador de origen norteamericano Bergey de 1 y 10 kW o los aerogeneradores holandeses de Fortis. En el caso de desorientación con respecto al eje horizontal hay tambien dos tipos, cabeceo en el que solo se inclina el rotor y el generador como por ejemplo el aerogenerador Whisper o el Windstream, o inclinándose hacia arriba todo el conjunto rotor mas generador mas timón de cola como por ejemplo los aerogeneradores españoles de la serie Inclin fabricados por Bornay. Todos los sistemas de plegado, cuando la velocidad de viento baja, disponen de la solución para volver a la posición original en la cual el plano del rotor está correctamente alineado con la dirección del viento. Lo consiguen mediante muelles en el caso de los plegados verticales y mediante equilibrio de masas en los horizontales. Estos sistemas también se pueden accionar manualmente utilizándolos en este caso de sistema de frenado. Una característica intrínseca a estos sistemas de regulación y protección es que suelen ser ruidosos cuando entran en acción pero hay que tener en cuenta que suelen ser situaciones de alto viento en cuyo caso el ruido producido por el aerogenerador se camufla con el ruido de fondo debido al propio viento. Este sistema de regulación permite diseñar de forma más liviana al aliviar cargas lo que se traduce en una reducción del coste de la torre y del rotor.

Para lograr el frenado de la turbina en caso de falta de carga ya sea por estar la batería totalmente cargada en sistemas aislados o por falta de red eléctrica, hay varias técnicas como por ejemplo el disponer

de contrapesos cerca de la punta de la pala (aerogeneradores Bergey o Solenersa) que produzcan la torsión de las secciones entorno a la punta de la pala a velocidades altas de viento y por tanto reduzcan la velocidad de rotación de rotor, recuperándose la posición original cuando esta velocidad de rotación se reduce al reducirse la fuerza centrífuga. También se pueden utilizar resistencias eléctricas de volcado o disipación a las cuales se puede derivar la energía convertida por la turbina en situaciones de velocidad de viento alta y no disponer donde inyectarla por ejemplo en caso de baterías cargadas en sistemas aislados de red o en caso de falta de red en aerogeneradores conectados a la red eléctrica. Una potencial optimización es, en vez de disipar esta energía conviviéndola en energía térmica para calentar el aire, utilizarla para algo útil como calentar agua en sistemas ACS.

Hay muy pocos aerogeneradores de pequeña potencia que dispongan de sistema de freno mecánico. La razón es la dificultad de alojarlo y de actuarlo. Para que un sistema de freno mecánico actuado eléctricamente sea a prueba de fallo tiene que estar permanentemente alimentado, para que en el momento que falle la red eléctrica por ejemplo, éste actúe y bloquee el rotor, pero el consumo por pequeña que sea la potencia, es alto al restar permanentemente consumiendo energía. En algunos países se exige este tipo de freno por lo que los fabricantes lo incluyen en sus diseños (Aircon 10 kW).

2.7. Sistema de orientación

Todas las aeroturbinas de eje horizontal tienen que disponer de algún sistema que les permita orientarse a la dirección predominante del viento para maximizar la conversión de la energía eólica. En las turbinas de eje vertical no se requiere de sistema de orientación al ser simétricas con respecto a todas las direcciones.

En los aerogeneradores de pequeña potencia, normalmente al contrario que en los grandes aerogeneradores, la orientación se realiza mediante soluciones pasivas en vez de soluciones activas debido a la necesidad de aumentar la fiabilidad y reducir las necesidades de operación y mantenimiento.

Por ello la solución más aplicada es la orientación por timón de cola, en el cual se diseña la superficie de la aleta y la longitud de la barra

o larguero que la soporta para que con una mínima brisa lateral produzca un par suficiente para girar el rotor de la turbina hacia la dirección del viento. Funciona exactamente igual que una veleta. El único problema es su excesiva dinámica que hace que en determinadas situaciones esté continuamente re-orientándose la turbina.

Otra solución pasiva es diseñar la turbina para que opere a sotavento de la torre. En este caso la propia turbina hace de timón de cola. Se suele diseñar la turbina con una cierta conicidad para facilitar el efecto.

Por último, hay alguna aeroturbina de pequeña potencia que dispone de algún sistema de accionamiento eléctrico o mecánico que posiciona la turbina en la dirección del viento, pero todavía hoy es excesivamente costoso.

2.8. Torre soporte

Toda aeroturbina requiere de un componente que la permita estar lo mas alejada posible del suelo de cara a aprovechar el perfil vertical del viento y producir la mayor cantidad de energía posible.

Este componente denominado estructura soporte o torre soporte dependerá del tipo de suelo que se disponga en el emplazamiento, de las capacidades técnicas, de las restricciones medioambientales y del presupuesto que se permita. Si el suelo no es practicable (roca, restricciones medioambientales, etc.), se evitara la cimentación por lo que habrá que ir a una torre atirantada. Si por el contrario, no hay problema para hacer una cimentación, la solución será autoportante y ocupara menos espacio. Con respecto a la torre, ésta normalmente es tubular de acero galvanizado compuesta por varios tramos normalmente de 3 metros, aunque también hay del tipo celosía o reticular, las cuales presenta una menor superficie al viento por lo que la resistencia es menor y por tanto la cimentación puede ser más pequeña para una misma turbina y condiciones de suelo.

El sistema de izado también presenta varias alternativas, desde la torre autoportante, para instalar con una grúa, hasta los sistemas autoizables ya sea mediante una pateca o barra perpendicular a la torre, que permita hacer de palanca con un cable y tirando del cable con un cabrestante o con sistemas de izado hidráulicos automáticos, cada día más de moda para pequeños aerogeneradores. Por último,

también hay la solución denominada tijera en la cual hay una parte de la torre rígida cimentada y con un eje al cual se acopla mediante un pasador otra sección de la torre que se puede subir y bajar gracias a ese eje y en la que se encuentra en el otro extremo la turbina. En este sistema también hace falta un cabrestante que permita izar o bajar la turbina con seguridad.

3. Conclusiones

La tecnología eólica de pequeña potencia esta evolucionando constantemente de cara a ser lo mas fiable y segura, además de eficiente y silenciosa para poder producir energía eléctrica cada vez mas cerca del lugar de consumo. El otro requisito que tiene que mejorar es su coste. Para estar en el mercado, el esfuerzo en investigación y desarrollo e innovación debe tener los objetivos comentados anteriormente pero también tiene que buscar formulas que sin reducir la calidad puedan reducir el coste de fabricación logrando que el coste de la energía producida sea cada vez menor de manera que pueda competir con las demás fuentes de generación distribuida, donde el precio de la energía eléctrica es mayor.

4. Bibliografía

- Paul Gipe (2009). *Wind Energy Basics. A guide to Home and Community Scale Wind Energy Systems*. Chelsea Green Publishing Company Vermon.
- Paul Gipe (2008). *Wind Power Renewable Energy for Home, Farm and Business*. Chelsea Green Publishing Company Vermon.
- Paul Gipe (2000). *Energía Eólica Práctica*. Editorial Progensa (Promotora General de Estudios) Sevilla.
- Paul Gipe (1999). *Wind Energy Basics. A guide to small and micro wind systems*. Chelsea Green Publishing Company Vermon.
- Paul Gipe (1993). *Wind Power for home and business*. Chelsea Green Publishing Company Vermon.
- Cruz et Al (1999). *Desarrollo de sistemas eólicos aislados*. Editorial CIEMAT

3 MARCO REGULATORIO

D. Beñat Sanz
Técnico de Minieólica y Marina
APPA
www.appa.es

1. Introducción

Es evidente que el segmento de la eólica de pequeña potencia no se ha desarrollado en España de una forma similar a la de la eólica convencional o gran eólica. La razón fundamental para ello se debe a la inexistencia de un marco regulatorio específico y una retribución económica adecuada para la energía generada, que en la actualidad es independiente de la potencia de la instalación eólica.

La energía minieólica ha estado históricamente incluida dentro del la eólica convencional, por lo que sus requerimientos técnicos para la conexión y autorización administrativa han sido similares a los de los parques eólicos de mayor potencia, lo cual ha dificultado enormemente su desarrollo.

No obstante, en los últimos meses hemos sido testigos de decisiones determinantes de la Administración para con la energía eólica de pequeña potencia. Gracias al trabajo del sector minieólico en España, reunido en la sección minieólica de APPA desde 2007, la Administración ha ido mostrando interés en desarrollar un sector que presenta un mercado potencial importante (en el que existe un tejido empresarial nacional que dispone de tecnología propia de alta calidad) así como la posibilidad de crear empleo de manera distribuida por todo el territorio nacional. Parece que empieza a vislumbrarse un horizonte en el que la energía minieólica, con su carácter de energía distribuida, pueda ser una tecnología renovable más.

Es por ello que a nivel nacional nos encontramos en un momento clave para el futuro desarrollo del sector. Para su desarrollo definitivo, tan sólo hay que salvar las barreras (sobre todo administrativo-legislativas) que impiden tal suceso. Basta con observar qué está ocurriendo a ni-

vel internacional, donde existen ejemplos concluyentes que muestran la posibilidad de penetración de la energía minieólica en el sistema energético a raíz de la elaboración de un marco normativo (nacional y municipal) apropiado (Reino Unido, EE.UU, Canadá, Holanda, Portugal, Irlanda, Francia, Italia, ...).

2. ¿Qué pasos se han dado?

La Directiva Europea 2009/28/CE relativa al fomento de Energías Renovables, de obligada transposición a los Estados Miembros para finales de año 2010, hace hincapié en la Generación Distribuida, establece objetivos vinculantes e insiste reiteradamente en la integración de las renovables en los sectores del urbanismo y la edificación.

A España se le asigna un objetivo. del 20% para 2020, lo que exige hacer en los próximos diez años un esfuerzo en renovables considerable.

Consciente del importante papel que habrán de desempeñar las entidades locales, el IDAE, con la colaboración de la Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP), esta última a través de la Red Española de Ciudades por el Clima, insta a las administraciones locales a incorporar ordenanzas relativas a la utilización de energías renovables.

A continuación, se resaltan los aspectos de la nueva Directiva de Energías Renovables (ER) (2009/29/CE) con influencia en la tecnología minieólica y la energía distribuida:

2.1. Art. 13: Procedimientos administrativos, reglamentos y códigos

Se obliga a los estados miembros (EM) a mejorar la coordinación entre los diferentes organismos administrativos competentes en los procedimientos de autorización, certificación y concesión de licencias, con el objetivo de acelerar estos procedimientos que afectan a todas las instalaciones a base de energías renovables.

Se amplía el ámbito de aplicación a pequeñas instalaciones y de generación distribuida: *«las normas que regulan la autorización, la certificación y la concesión de licencias sean objetivas, transparentes, proporcionadas, no discrimen entre solicitantes y tengan plenamente*

en cuenta las peculiaridades de cada tecnología de las energías renovables» y *«se instauren procedimientos de autorización simplificados y menos onerosos, incluida la simple notificación si está permitida en el marco regulador aplicable, para los proyectos de menor envergadura y para los equipos descentralizados para la producción de energía procedente de fuentes renovables, si procede».*

Asimismo se establece que *«Los estados miembros recomendarán a todos los agentes, en particular a los organismos administrativos locales y regionales velar por que se instalen equipos y sistemas para la utilización de electricidad, calor y frío a partir de fuentes de energía renovables, y para sistemas urbanos de calefacción o refrigeración, a la hora de planificar, diseñar, construir y renovar zonas industriales o residenciales …»* y que *«Los estados miembros introducirán en sus normas y códigos de construcción las medidas apropiadas para aumentar la cuota de todos los tipos de energía procedente de fuentes renovables en el sector de la construcción».*

En cuanto a los plazos, *«A más tardar el 31 de diciembre de 2014, los estados miembros exigirán, en estas normas y códigos de construcción o en cualquier forma con efectos equivalentes, si procede, el uso de niveles mínimos de energía procedente de fuentes renovables en los edificios nuevos y en los ya existentes que sean objeto de una renovación importante».*

Estos reglamentos, que por supuesto podrían cumplirse también mediante la tecnología minieólica, en la legislación española ya están cubiertos, como mínimo parcialmente, en forma de las exigencias del Código Técnico de Edificación (CTE), que en su exigencia básica HE 5 también requiere una contribución mínima de la energía solar fotovoltaica para ciertos tipos de edificios. Estas exigencias se pueden también cumplir con otros tipos de energías renovables.

2.2. Art. 16: Acceso a la red y su funcionamiento

Obliga a los estados miembros a establecer bien un acceso prioritario o un acceso garantizado a la red de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables. En el párrafo 3 (normas de conexión y refuerzo de red objetivos, transparentes y no discriminatorios) y el párrafo 6 (reparto de los costes de la conexión y refuerzo de la red) ya están establecidos en el RD 661/2007.

También se indica que los estados miembros pueden exigir a los operadores de sistemas de transporte y de distribución que asuman, total o parcialmente, los costes de acceso a la red y el refuerzo de la misma: *«A más tardar el 30 de junio de 2011 y posteriormente cada dos años, los estados miembros examinarán los marcos y normas relativos a la asunción y reparto de costes a que se refiere el apartado 3 y tomarán las medidas necesarias para su mejora, con el fin de garantizar la integración de nuevos productores, con arreglo a lo dispuesto en dicho apartado».*

La exigencia de presentar informes sobre la normativa relativa a la asunción y el reparto de costes de acceso a la red y el refuerzo de la misma es una obligación para los estados miembros.

En cuanto a la obligación para los operadores de la red de presentar a los productores de electricidad a base de energías renovables que se quieren conectar a la red, se exige un calendario razonable y preciso para la recepción y la tramitación de la solicitud de conexión a la red y presentar un calendario indicativo razonable para todas las conexiones a la red propuestas, así como garantizar tarifas de transporte/distribución de electricidad no discriminatorias sobre todo para *«la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables producida en regiones periféricas, como son las regiones insulares, y en regiones con escasa densidad de población»* y que *«reflejen los beneficios realizables en materia de costes como resultado de la conexión de las instalaciones a la red. Estos beneficios en materia de costes podrían resultar del uso directo de la red de baja tensión».*

Aunque estos últimos puntos aún no forman parte de la legislación española, deberían incluirse en el proyecto de ley de eficiencia energética y de energías renovables para afectar de manera positiva al futuro desarrollo de la minieólica y de la energía distribuida.

2.3. Publicación y envío del PANER 2011-2020 a la Comisión Europera, tal y como obligaba la Directiva 2009/28/CE

Según el artículo 4 de la Directiva Europea 2009/28/CE relativa al fomento de energías renovables , los estados miembros debían preparar un denominado Plan de Acción Nacional (PAN) en materia de energías renovables antes del 30 de junio de 2010 en el que deben

especificar sobre todo los objetivos sectoriales y las medidas necesarias para alcanzar estos objetivos. En el documento enviado desde España a la Comisión Europea, se establece por primera vez un marco para la energía eólica de pequeña potencia, abriendo definitivamente la puerta al desarrollo de la energía minieólica en España y estableciendo un objetivo de implantación de 370 MW para 2020.

2.4. Anteproyecto de Ley de Eficiencia Energética y Energías Renovables

Durante la pasada legislatura, el Ministerio de Industria Turismo y Comercio inició su redacción (no llegó a publicarse) ya que se debería trasponer al ordenamiento jurídico español la citada Directiva Europea de Energías Renovables.

2.5. Plan de Energías Renovables 2011-2020

El pasado 11 de noviembre de 2011, se publicó el Plan de Energías Renovables para esta década (PER 2011-2020), que tiene por misión desarrollar las líneas de actuación que marca el PANER para llegar a los objetivos establecidos. En consonancia con el PANER, la energía minieólica (o eólica de pequeña potencia, que es como se denomina en este documento) dispone de un tratamiento específico. Cabe destacar que el objetivo de implantación para 2020 se reduce de 370 MW a 300 MW.

A continuación se incluyen las Medidas Prioritarias Específicas para fomentar la implantación de instalaciones eólicas de pequeña potencia medidas que establece el PER 2011-2020 para logar los objetivos establecidos (300 MW):

Medidas Normativas:

- **Tratamiento regulatorio específico para la conexión y autorización administrativa de las instalaciones de pequeña potencia**

  Se propone y considera esencial el tratamiento regulatorio específico y el establecimiento de un marco retributivo adecuado que incentive las instalaciones eólicas de pequeña potencia (inferior a 100 kW) en entornos urbanos, semi-urbanos, industriales y agrícolas, con características diferenciadas en cuanto a su estado de madurez tecnológica y desarrollo respecto a la eólica de media y gran potencia.

- **Armonización de la reglamentación existente para favorecer la integración de las instalaciones (Ordenanza Municipal)**

  Elaboración de modelos de ordenanzas municipales para favorecer la integración de instalaciones eólicas de pequeña potencia. Esta referencia para la elaboración de ordenanzas municipales estaría dirigida a la integración de instalaciones eólicas de pequeña potencia en entornos urbanos, semi-urbanos, industriales y agrícolas.

  Se considera apropiada la colaboración de los ayuntamientos/ FEMP y de los fabricantes de equipos en la elaboración del modelo de ordenanzas municipales para la implantación de aerogeneradores de pequeña potencia en municipios, para lo que podrían utilizarse los mecanismos de contratación de IDAE.

  Igualmente, se plantea la posibilidad de participación de IDAE en un proyecto piloto de aplicación de la normativa en un municipio, vía Convenio con el Ayuntamiento y la Agencia de Energías Renovables de ámbito regional.

- **Normalización de las instrucciones y procedimientos técnicos que afecten a los equipamientos (Certificación de Aerogeneradores)**

  Se pretende establecer unas directrices para garantizar la calidad de los equipamientos eólicos de pequeña potencia.

- **Regulación de la figura de instalador autorizado aplicable a la minieólica**

  En la actualidad persiste una situación de cierta "alegalidad" en la acreditación de los instaladores de infraestructuras eólicas de pequeña potencia. Existen algunas referencias de regulaciones similares para empresas instaladoras de otras energías renovables: RD 249/2010 para instalaciones térmicas y RD 560/2010 para instalaciones solares fotovoltaicas.

  Para las instalaciones eólicas de pequeña potencia, el ámbito de actuación profesional estaría regulado, en lo que respecta a las consideraciones eléctricas, por el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas, aprobados por RD 842/2002, de 2 de agosto. No obstante, las particularidades de esta tecnología y sus equipos sometidos a cargas dinámicas exigen tener en cuenta específicamente las consideraciones mecánicas (estudio de cargas, cimentaciones, anclajes, etc.) para garantizar la seguridad y la calidad en la ejecución de las instalaciones eólicas de pequeña potencia.

Igualmente se propone la modificación del REBT para dar cumplimiento a las disposiciones de la Directiva 2009/28 relativas a los «Procedimientos administrativos, reglamentos y códigos» (art. 13), a la «Información y formación» (art. 14) y al «Acceso a las redes y funcionamiento de las mismas» (art. 16). Especialmente sería de aplicación la disposición de «Sistemas de certificación o de cualificación equivalentes», antes del 31 de diciembre de 2012, disponibles para los instaladores de sistemas de energías renovables.

Para el reconocimiento de esta actividad profesional sería necesaria la expedición de «certificados de profesionalidad» por el órgano competente en materia de industria de las CCAA. Dentro de los requisitos, como propuesta de partida podría considerarse la siguiente: acreditación por parte de los instaladores del Carnet de Instalador Electricista Básico (IBTB) acompañado de las especialidades en Líneas Aéreas o Subterráneas para distribución de energía (IBTE-5), así como la especialidad en Instalaciones Generadoras de Baja Tensión (IBTE-9).

En este sentido, se propone la implantación de un sistema de acreditación/cualificación profesional para la figura de «empresa instaladora autorizada» aplicable a instalaciones eólicas de pequeña potencia, por sus conocimientos teórico-prácticos.

Medidas Económicas:

- **Establecimiento de un marco retributivo especifico para instalaciones eólicas de potencia inferior a 100 kW.**
- **Líneas de ayudas para la generación distribuida con instalaciones eólicas de pequeña potencia.**

  Las instalaciones eólicas de pequeña potencia pueden presentar ciertas dificultades para su implantación, debido al desconocimiento de la madurez de las tecnologías por parte de los propios promotores y a las dificultades de acceso a la financiación, en general asociadas a una percepción del riesgo elevada por parte de las entidades financieras.

  Para afrontar este obstáculo se propone el establecimiento de un mecanismo de financiación, gestionado por IDAE, para acometer las inversiones necesarias para la integración de las instalaciones eólicas de pequeña potencia hasta 10 kW, con consumos asociados.

  Con este tipo de medida se facilitaría la implantación de proyectos de carácter replicable y, en definitiva, la viabilidad de las instalaciones eólicas de pequeña potencia en el corto plazo.

- **Mecanismo de financiación para instalaciones de hasta 10kW (residencial y comercial)**
- **Programa de Subvenciones para proyectos de demostración tecnológica (hasta 5 kW)**

  Los niveles de retribución propuestos en este plan para la generación eólica de pequeña potencia en el Régimen Especial pueden resultar insuficientes para conseguir la viabilidad técnico-económica de aquellas instalaciones de menor escala. Para esta tipología, con este programa de subvenciones, cuyo período de aplicación sería 2012-2020, se busca:

  a. Permitir su viabilidad técnico-económica y el despegue comercial de tecnologías renovables destinadas a nuevas aplicaciones actualmente poco empleadas en España.
  b. Mejora de la competitividad internacional de la industria española.
  c. Aumento del conocimiento y del desarrollo tecnológico.
  d. Mejora de la eficiencia y del rendimiento de las instalaciones.
  e. Reducción de costes normalizados de energía.

  Con estos objetivos se propone el lanzamiento de programas anuales basados en la concesión de ayudas públicas directas a la inversión hasta un importe máximo por instalación porcentaje en función del ratio □/kW, que se publicarían mediante convocatorias anuales horizontales, con indicación de los importes máximos financiables para esta tipología de proyectos.

  La periodicidad anual dotaría a este instrumento financiero de la flexibilidad necesaria para adaptar las bases y requisitos de las convocatorias al desarrollo tecnológico que experimente este segmento.

- **Programa de Subvenciones a instalaciones (hasta 10 kW) que NO reciban apoyo del Régimen Especial (asiladas de red y autoconsumo acogido a net metering)**

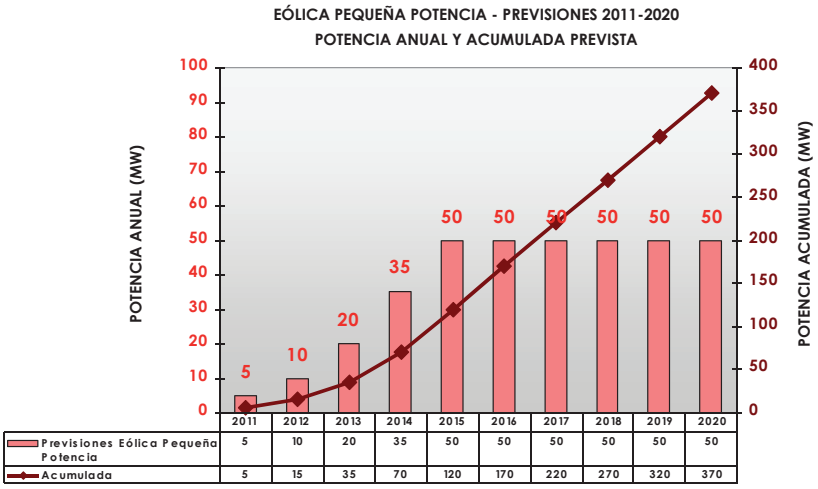
  Esta actuación persigue conseguir la viabilidad técnico-económica y el despegue comercial de las siguientes tipologías de proyectos:

  a. Instalaciones eólicas de potencia menor o igual a 10 kW aisladas de red.
  b. Instalaciones eólicas de potencia menor o igual a 10 kW para autoconsumo, acogidos al esquema de «balance neto».

Para ellas se propone el lanzamiento de programas anuales basados en la concesión de ayudas públicas directas a la inversión hasta un importe máximo por instalación porcentaje en función del ratio □/kW, que se publicarían mediante convocatorias anuales o plurianuales horizontales, con indicación de los importes máximos financiables para esta tipología de proyectos.

La periodicidad anual dotaría a este instrumento financiero de la flexibilidad necesaria para adaptar las bases y requisitos de las convocatorias al desarrollo tecnológico que experimente este segmento.

Con las actuaciones planteadas para el despliegue de las instalaciones eólicas de pequeña potencia, se espera que la potencia en servicio aumente progresivamente desde los 5 MW en 2012 hasta unos 50 MW/año durante 2017 y los siguientes años hasta 2020. Ello totalizaría unos 300 MW en el período 2011-2020, referidos todos ellos a instalaciones eólicas conectadas a red.



	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Previsiones Eólica Pequeña Potencia	5	10	20	35	50	50	50	50	50	50
Acumulada	5	15	35	70	120	170	220	270	320	370

Figura 1. Eólica pequeña potencia. Previsiones de desarrollo en España, horizonte 2020. Fuente: IDAE.

2.6 Real Decreto 1699/2011 de regulación de la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia

Tras muchos meses de espera (y tres borradores distintos), el 18 de noviembre de 2011 por fin se aprobó en el Consejo de Ministros el Real Decreto que regula la conexión a red de instalaciones de producción

de energía eléctrica de Pequeña Potencia (lo que hasta el momento era una de las grandes barreras para la penetración de la minieólica).

Como novedad, se simplifican los requisitos para las instalaciones de pequeña potencia que pretendan conectarse en puntos donde exista ya un suministro. Del mismo modo, se excluyen del régimen de autorización administrativa las instalaciones de producción con potencia nominal no superior a 100 kW y se anuncia la futura y próxima regulación del suministro de la energía eléctrica producida en el interior de la red de un consumidor para su propio consumo que incentivará el autoconsumo. Con estas medidas se pretende el desarrollo de la generación distribuida, que presenta beneficios para el sistema como son la reducción de pérdidas en la red, la reducción de necesidades de inversiones en nuevas redes y, en definitiva, una minimización del impacto de las instalaciones eléctricas en su entorno.

Publicado en el BOE como RD 1669/2011 del día 8 de diciembre, pretende regular las condiciones administrativas y técnicas para la conexión de las instalaciones de pequeña potencia.

A continuación, se desgranan a grandes rasgos el contenido de dicho RD:

- Resulta de aplicación para aquellas instalaciones en régimen especial u ordinario de potencia no superior a 100 kW, mientras que las instalaciones generadoras conectadas a red de potencia superior a 100 kW siguen reguladas por el ya existente RD 1955/2000.
- Incorpora ya referencias explícitas a las instalaciones destinadas a autoconsumo (total o parcial) de la energía producida, llegando a establecer la obligación de regular en el plazo de cuatro meses las condiciones de producción de este tipo de instalaciones.
- Contempla que la conexión de las instalaciones menores de 100 kW se realice tanto en líneas de baja tensión de una empresa distribuidora como en la red interior del usuario.
- Determina asimismo el procedimiento de acceso y conexión de las instalaciones, las condiciones técnicas a cumplir y los procedimientos de medida y facturación que son idénticos tanto para el caso de que la instalación se conecte a red para la venta de toda la energía generada como para el caso de que se autoconsuma parte o totalmente esta energía.
- En su artículo 7 «Suscripción del contrato técnico de acceso», se indica que el contrato que se firma con la empresa sigue siendo

necesario en el caso de instalaciones destinadas a autoconsumo, según el modelo publicado en el RD 1699/2011.

- En su artículo 9, establece un procedimiento de conexión abreviado para instalaciones de potencia no superior a 10 kW ubicadas en un punto en el que exista un suministro de potencia contratada, que simplifica la relación empresa distribuidora-titular. Esta simplificación es aplicable tanto a instalaciones conectadas a red para venta de energía como para instalaciones destinadas a autoconsumo, siempre que cumplan las condiciones de potencia del artículo 9.
- Aunque a priori el RD 1699/2011 regula todas las condiciones técnicas a cumplir por las instalaciones sin distinguir si éstas dedican la energía producida a venta o a autoconsumo, en su artículo 18 «Equipos de facturación y medida» sí que se establecen ciertas matizaciones para el caso de instalaciones de autoconsumo.
- La disposición final primera del RD 1699/2011 incorpora modificaciones en el RD 1955/2000, sobre los avales necesarios para tramitar la solicitud de acceso a la red de distribución de nuevas instalaciones de producción en régimen especial quedando exentas de su presentación las instalaciones de potencia igual o inferior a 10 kW. Es la comunidad autónoma quien decide si dicha autorización es necesaria para instalaciones de tensión inferior a 1 kV, ya que se trata de legislación básica. Actualmente muchas CC.AA. han eliminado la necesidad de obtener autorización administrativa para instalaciones de tensión inferior a 1 kV. Esta exención ya se encontraba recogida en el artículo 111 del RD 1955/2000 para las instalaciones conectadas a red de tensión no superior a 1 kV.

De este modo, se allana el camino a la generación distribuida al simplificar la tramitación para la entrada en el sistema de pequeñas instalaciones de generación eléctrica, preparando las condiciones para dar paso al autoconsumo.

La paulatina entrada de este tipo de pequeñas plantas modificará el actual modelo centralizado de grandes instalaciones eléctricas al promover un nuevo sistema de generación cada vez más distribuida, con importantes ventajas para el sistema y consumidores.

No obstante, y aunque a priori la norma debería facilitar el desarrollo de energías renovables en viviendas y PYMES, tendrá que complementarse con la normativa de balance neto, en fase de elaboración, y que regulará el autoconsumo.

2.7. Publicación del proyecto de Real Decreto por el que se establece la regulación de las condiciones administrativas, técnicas y económicas de la modalidad de suministro de energía eléctrica con balance neto

Existe un *«Proyecto de Real Decreto por el que se establece la regulación de las condiciones administrativas, técnicas y económicas de la modalidad de suministro de energía eléctrica con balance neto»,* que ha pasado por la fase de alegaciones y está a la espera de ser publicado.

Con la aprobación del Real Decreto en términos adecuados, se iniciaría el camino para convertir al ciudadano en el centro del sistema energético. Se abriría así la puerta a la transición hacia un nuevo paradigma: un modelo energético descentralizado en el que el ahorro de energía habría de ser la prioridad fundamental a través del autoconsumo y de las energías renovables.

3. ¿Qué falta?

Ante los primeros pasos para establecer un marco regulatorio específico para el sector minieólico, se hace necesario avanzar en varios aspectos que se consideran esenciales para que la energía minieólica pueda ser una realidad exitosa en España:

- Poner en marcha las Medidas Prioritarias Específicas que establece el Plan de Energías Renovables 2011-2020.
- Establecer el marco normativo que regule el Autoconsumo con Balance Neto de Energía de forma atractiva para el usuario final.
- Establecer el procedimiento de certificación de la tecnología minieólica a nivel nacional, que sea riguroso y al mismo tiempo ágil y adecuado a nuestras posibilidades.

La certificación de los equipamientos asociados a la tecnología eólica de pequeña potencia es un paso prioritario para dar confianza a los actores implicados en la expansión de esta tecnología.

La certificación de aerogeneradores aplicando la normativa internacional vigente exige un desembolso económico muy significativo para el volumen de negocio actual que existe en España con los equi-

pos de baja potencia: la norma IEC 61.400-2 (en revisión) es de aplicación para los pequeños aerogeneradores hasta 200 m2 de área barrida (no establece límite de potencia, pero en la práctica equivale a un límite de aproximadamente 70 kW). A partir de esa superficie de captación, es de aplicación la norma IEC 61.400-1, similar en su complejidad a la de los aerogeneradores de gran potencia.

En este sentido, tal y como propone el PER, se está trabajando conjuntamente con la Administración para establecer un procedimiento de certificación nacional que contemple directrices sobre los requerimientos mínimos de ensayos sobre los aerogeneradores de pequeña potencia (curva de potencia, durabilidad, ruido, cargas mecánicas) que permita la proliferación de instalaciones seguras y eficientes de forma que el sector pueda desarrollarse ordenadamente una vez entre en vigor la nueva legislación.

Con ello se pretende dotar a los fabricantes de aerogeneradores de pequeña potencia de unas instrucciones y procedimientos técnicos normalizados y de implementación rápida, homologados a nivel internacional, como vía paralela a la aplicación de las normas IEC-61.400-1 e IEC 61.400-2, para garantizar la calidad de los equipos.

Una vez establecido el procedimiento de certificación de la tecnología minieólica a nivel nacional, se pretender ampliar el ámbito de aplicación y establecer criterios a nivel municipal para el adecuado otorgamiento de licencias y autorizaciones administrativas y asegurando la seguridad de la instalaciones durante su operación.

- Establecer una regulación a nivel municipal (ahora mismo inexistente) con el objetivo de poner a disposición del sector y de los entes públicos regionales y municipales unos criterios unificados para reducir la complejidad y desconocimiento que existe en la actualidad. Asimismo, se establecerán requisitos mínimos que garanticen la implantación de instalaciones de calidad y permitan un crecimiento ordenado del sector, siguiendo criterios energéticos en los proyectos de edificación, mejorando las condiciones ambientales de las ciudades y mostrando las posibilidades de generar energía limpia y local.

  En este sentido, se está trabajando en una «Guía de Buena Praxis» que establezca unas directrices que faciliten la instalación y construcción de sistemas de energía minieólica a nivel municipal, y que estén sujetos a las restricciones razonables, preservando la salud y seguridad públicas.

4 INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN MINIEÓLICA

D. José Ignacio Cruz
Departamento de Energía
CIEMAT
www.ciemat.es

Aunque en un principio se pueda pensar que la tecnología minieólica está ya totalmente desarrollada y no requiere de mas investigación y desarrollo, debido a existir múltiples aerogeneradores comerciales en el mercado, la necesidad de inversión en innovación es crucial debido a lograr una mayor fiabilidad y eficiencia en la conversión, todavía hoy en día los aerogeneradores de pequeña potencia apenas alcanzan coeficientes de potencia del 30%, en cuanto a emisiones de ruido acústico hay mucho por hacer, etc. Pero especialmente hay que desarrollar innovaciones que permitan sobre todo reducir su precio específico y que permitan utilizar la energía eólica minieólica en nuevas aplicaciones, para lo cual habrá que avanzar en la tecnología disponible, por ejemplo en aerogeneradores optimizados para su aplicación en entorno urbano y residencial donde los obstáculos hacen que el recurso eólico tenga características distintas al existente en aplicaciones en campo abierto.

El rápido crecimiento de la población, el contínuo movimiento de la población hacia zonas urbanizadas por el que las áreas rurales cercanas a las ciudades se están convirtiendo en lugares fuera de lo común o protegidos, hacen que nos veamos forzados progresivamente a incrementar la producción de energía de la forma mas sostenible posible en las mismas zonas donde vivimos, en las áreas urbanas.

En los edificios se consume aproximadamente el 40% de la energía total demandada, la calefacción sostenible cada día se basa mas en bombas de calor (calefacción y aire acondicionado), por lo que cada vez somos mas dependientes de la electricidad. Está claro que la demanda de electricidad en áreas urbanas va a crecer rápidamente en el futuro. El comportamiento sostenible significa también prevenir y/o mitigar o solucionar los problemas en el lugar donde estamos viviendo. Por ello intentar generar la mayor cantidad de energía

sostenible en el lugar donde se vive (áreas urbanas) es cada día mas necesario.

La energía minieólica permite producir energía en los mismos lugares de consumo. Esta tecnología llama mucho la atención y esta consecuencia puede ser positiva si se hace bien y muy negativa si la experiencia no es buena.

Por ejemplo, la explotación de la energía eólica en áreas urbanas y semiurbanas ha estado hasta ahora limitada por el bajo régimen de vientos, la alta turbulencia, el alto impacto visual, las vibraciones y el ruido acústico producido por los aerogeneradores existentes. Esto ha hecho que el uso de la energía eólica en edificios de alta eficiencia energética o cero emisiones esté hoy en día muy limitado.

Las actuales tendencias tecnológicas en investigación y desarrollo en tecnología minieólica son las siguientes:

- Desarrollo de diseños innovadores con soluciones estéticas y eficientes, especialmente en los desarrollos para integración urbana.
- Desarrollo de nuevas herramientas amigables y flexibles para el diseño estructural optimizado de aerogeneradores de pequeña potencia. Debido al todavía hoy en día gran número de soluciones de diseño de aerogeneradores de pequeña potencia se requiere de herramientas de diseño flexibles que permitan diseñar estructuralmente todos los componentes del aerogenerador.
- Desarrollo y utilización de nuevos materiales avanzados y reciclables. Se requiere de nuevos materiales que permitan reducir el coste del aerogenerador sin poner en riesgo su seguridad estructural. En las palas se están utilizando experimentalmente nuevos materiales basados en nanotubos de carbono de forma que fabricando palas con poliuretano reforzado con nanotubos de carbono se reduce de forma importante el peso de la pala, al ser los nanotubos de carbono mas ligeros por unidad de volumen que la fibra de carbono y el aluminio, pero a la vez presentan una mayor resistencia estructural y una menor resistencia a la corriente eléctrica por lo que están mas protegidos frente a descargas eléctricas.
- Desarrollo de nuevos sistemas de control enfocados a la operación y mantenimiento del aerogenerador de pequeña potencia.
- Desarrollo de nuevas soluciones simplificadas y fiables de instalación de aerogeneradores de pequeña potencia.

En cuanto al diseño del aerogenerador la estrategia que se sigue es:

- Diseño de la turbina para que alcance la potencia nominal a una velocidad de viento más baja que en grandes aerogeneradores
- Reducción de la velocidad de rotación. Diseño de aerogeneradores con baja velocidad de punta de pala.
- Conseguir que el aerogenerador comience a girar con muy baja velocidad de viento.

Figura 1. Aerogenerador Bornay instalado en cubierta de edificio. Fuente: CIEMAT.

En relación con las palas, las estrategias son las siguientes:

- En aerodinámica para pequeña eólica se tiende hacia el desarrollo de nuevos modelos de perfiles. Este desarrollo está encaminado hacia lograr reducir la emisión de ruido y a la vez obtener alta eficiencia. Por ejemplo, se desarrollan nuevos perfiles para bajo número de Reynolds (entre 40.000 y 500.000). Este tipo de diseños da lugar a perfiles con una cuerda mayor (más anchos), pero permiten a la turbina comenzar a girar a velocidades de viento menores y obtener una mayor eficiencia a velocidades mayores entorno al valor nominal pudiendo llegar a valores del coeficiente de potencia en torno al 40%.
- En cuanto a los métodos de fabricación de palas se tiende a desarrollar métodos avanzados alternativos y masivos. El método de fabricación utilizado para fabricar la pala es vital para obtener actuaciones mejores, además va a tener una gran influencia en el precio final si se quiere fabricar una pala con perfiles avanzados,

distribución variable de cuerdas y distribución variable de ángulos de torsión. Por ello métodos por inyección, compresión o moldeo por inyección-reacción son muy interesantes especialmente en el campo de la eólica de pequeña potencia. Su ventaja es que permite fabricar con una mayor rapidez y menores costes de proceso, incrementando la repetibilidad, uniformidad y calidad de la pala final. También permiten fabricar las palas por componentes. Como desventajas obliga a una mayor inversión (moldes, etc.).

Con respecto a las estrategias en el diseño de góndolas, se tiende a nuevos diseños realizados mediante moldes para fundición igual que en grandes aerogeneradores. Ser realiza el diseño para obtener una fácil refrigeración por aire. Se tiende a la integración de la electrónica en la góndola obteniendo disminución de las emisiones electromagnéticas y es muy importante obtener un nivel alto de sellado.

Respecto a las estrategias de control de potencia y de carga, las tendencias son las siguientes:

- Los sistemas de protección contra sobrevelocidad por plegado o desorientación horizontal o vertical del rotor (furling) son excesivamente ruidosos debido a que cuando se produce la desorientación, el corte violento de las palas con el viento produce gran nivel de ruido acústico.
- La falta de modelos aerodinámicos adecuados para el cálculo de cargas mecánicas en aerogeneradores de pequeña potencia cuando se produce el plegado dificulta su adecuado diseño.
- Otras formas de regulación más suaves y seguras, que respondan de forma más predecible a grandes velocidades de viento, ráfagas o cambios súbitos de rumbo, como puede ser el control de velocidad por entrada en pérdida suave, sistemas de cambio del ángulo de paso, palas articuladas, frenos mecánicos, cambio de paso de la punta de la pala accionado centrífugamente.
- También se requieren nuevas ideas para el desarrollo y ajuste del sistema de control y especialmente el de protección, sobretodo el sistema de frenado, ya que cualquier sistema diseñado para que sea seguro ante posibles fallos tiene que estar continuamente alimentado hasta el momento del fallo, en el cual se activa el freno al dejar de estar alimentado eléctricamente. Se están desarrollando sistemas de frenado de muy bajo consumo, autogenerador que permite garantizar la seguridad del aerogenerador ante cualquier

fallo sin suponer una gran merma a la energía producida por el aerogenerador.

- Otro tema importante es la estrategia para controlar el comportamiento del aerogenerador en situaciones de vientos altos.

Respecto a las tendencias en cuanto al generador eléctrico:

- La tendencia es a desarrollar generadores eléctricos con reducido par de rizado estático (cogging). El par de rizado es una característica inherente a los generadores de imanes permanentes, siendo éste causado por la geometría del generador. El par de rizado afecta a las condiciones de comienzo de giro del generador ya que cuanto mayor es, mayor velocidad de viento requiere para comenzar a girar y posteriormente comenzar a convertir energía. Además, el par de rizado produce vibraciones que pueden ser críticas especialmente en determinadas soluciones y por último produce ruido acústico que en aplicaciones cercanas a lugares habitados puede ejercer de barrera. Para reducir este par de rizado hay muchas estrategias que afectan a la fabricación del generador, como obtener un entrehierro muy uniforme, jugar con el ancho de los polos, inclinación progresiva de los polos, etc. Aunque hay que tener cuidado porque algunas de estas soluciones encarecen mucho el proceso de fabricación.

- Por otro lado se quieren generadores con par alto a velocidad de rotación nominal, para obtener la potencia nominal a bajas vueltas y esto supone identificar nuevas topologías de generadores de imanes permanentes y dentro de ellas, especialmente aquellas con peso reducido, parámetro de gran importancia en aerogeneradores de pequeña potencia.

- La duración de las reservas estimadas de tierras raras en el planeta Tierra al nivel de consumo actual se estima en 1000 años, pero debido a su bajo precio durante años ha producido que al final el único país que explota este tipo de material sea China y esa dependencia ha hecho que se produzca un crecimiento del precio de las tierras raras durante los últimos años debido al aumento de la demanda especialmente para fabricación de maquinas eléctricas con imanes permanentes (utilizadas en aplicaciones emergentes de la economía verde como motores para vehículos eléctricos y generadores para eólica). Por ello se está investigando en desarrollar imanes con nuevas tierras raras para evitar el creciente coste de los imanes permanentes Neodimio-Hierro-Boro (NdFeB).

También una de las vías es reducir la cantidad de material necesario y para ello se desarrollan por ejemplo generadores de imanes permanentes con estator de núcleo de aire, lo cual permite además reducir la temperatura de trabajo y el par de rizado.

- No obstante la solución simple de utilizar generadores de inducción para aerogeneradores de pequeña potencia conectados a red sigue estando ahí y también este tipo de maquinas se va mejorando aunque la necesidad de disponer de una caja multiplicadora o transmisión hace que en general se siga intentando evitar. También en cajas multiplicadoras se ha avanzado mucho especialmente en la reducción del mantenimiento mediante el uso de nuevos aceites sintéticos de larga duración.
- Otras características que también se busca en los generadores utilizados para aerogeneradores de pequeña potencia son una alta eficiencia, bajo coste, alta fiabilidad, larga vida útil, bajo o sin mantenimiento, baja emisión de ruido acústico y sobretodo facilidad de alcanzar grandes volúmenes de fabricación.

En cuanto a las tendencias en el convertidor CC/CA:

- Aquí el parámetro más importante es que tenga un coste competitivo, que a poder ser esté totalmente integrado en la góndola o torre, que presente una eficiencia alta especialmente a carga parcial y obviamente una alta fiabilidad. Para ello hacen falta convertidores de potencia bien adaptados a los distintos aerogeneradores de pequeña potencia Respecto al control se tiende al desarrollo de sistemas de control integrado adaptativo. Importante también debido a la cercanía de zonas habitadas que ofrezca un nivel bajo de ruido acústico y en cuanto a certificaciones que cumpla el mayor numero de ellas (en Europa EN50438 Requirements for the connection of micro-generators in parallel with public low voltage distribution networks), en EEUU las normas UL, tambien los códigos de red específicos de países o compañías eléctricas.

1. Aerogeneradores para aplicaciones urbanas y semiurbanas. Evaluación del recurso eólico disponible y tecnología adecuada

Una de las barreras más importantes al desarrollo de la tecnología minieólica es la falta de procedimientos competitivos en coste para evaluar de forma precisa el recurso eólico existente en un determi-

nado emplazamiento. Si además el emplazamiento es urbano o semiurbano, la dificultad es mayor debido a que disponemos de viento complejo normalmente con alto perfil vertical y alta turbulencia.

Hoy en día la mayoría de los aerogeneradores se instalan en edificios ya construidos. En el futuro se construirán edificios con aerogeneradores integrados. En todos los casos hay que medir la velocidad del viento en el lugar de potencial instalación.

Figura 2. Torre anemométrica instalada en techo de edificio.
Fuente: CIEMAT.

En la actualidad se están desarrollando distintas herramientas para evaluar dicho recurso de forma mas simple. Normalmente están basadas en modelos realizados con herramientas de software CFD (Modelos de Dinámica de Fluidos). Estos programas calculan el potencial eólico en todo tipo de edificios con formatos de datos estándar. Modelan la turbulencia, perfil vertical y el ángulo de incidencia del viento. Permiten analizar los efectos aceleradores de los edificios (Venturi, esquina…). Incluso consideran los elementos porosos del dominio evaluado. Finalmente ofrecen el mapa de frecuencias de superación del umbral de operación del aerogenerador (velocidad de viento para arranque) y los coeficientes de Weibull y las tablas de frecuencias lo cual permite disponer del estudio completo.

Para reducir la velocidad de arranque al máximo en aerogeneradores de eje vertical se están desarrollando con cojinete magnético que

al levitar reduce al máximo las pérdidas mecánicas en la rotación y reduce la velocidad de viento requerida para el arranque de la turbina hasta 1 m/s.

A partir de ese estudio solo queda analizar el efecto de la capa límite, lo cual nos permitirá seleccionar la posición mas adecuada para la instalación de los aerogeneradores en los techos de los edificios. Es importante tener en cuenta el efecto de la aerodinámica en los edificios (bordes afilados, poco aerodinámicos, o bordes redondeados, aerodinámicos).

Hay que tener en cuenta que el viento aprovechable en ambiente urbano es muy dependiente del lugar donde esté instalado el aerogenerador. Los edificios tienden a provocar un efecto concentrador. Comparando las velocidades de viento medias, existe un potencial del 30% de energía extra contenida en la turbulencia urbana, pero la energía de la turbulencia de pequeña escala es difícil de aprovechar. Para aprovecharla haría falta un aerogenerador con un rotor de bajo peso (baja inercia) y/o un rotor de pequeño diámetro (los vórtices deberían ser mayores que el rotor).

Finalmente ya hay ciudades especialmente en Europa y en Estados Unidos donde se están desarrollando mapas eólicos urbanos de alta calidad y aquí hay que tener mucho factores en cuenta. Para medir se deberá ir a los edificios más altos en los bordes de la ciudad. La velocidad del viento estará muy influenciada por los edificios de mayor altura debido a las estelas y la dirección del viento estará muy influenciada también por los edificios de mayor altura (efecto cañón o efecto calle), por lo que puede ser interesante desarrollar patrones para, a partir de un número de medidas u observaciones, extender de forma lo mas precisa posible el potencial recurso eólico a lo largo de la ciudad.

En una ciudad también se producen fenómenos de microescala. La microescala del viento en el tejado de un edificio es muy local. A pocos metros puede cambiar totalmente el viento medido. Por ello, tanto para medir como para instalar aerogeneradores se requieren torres altas (5-10 m) de cara a evitar la baja velocidad cerca del tejado. Hay que tener en cuenta que con las mediciones de velocidad del viento para evaluar el rendimiento de los aerogeneradores en la azotea, lo mejor es crear inicialmente una correlación entre el lugar de medición y la potencial ubicación del aerogenerador.

El viento en un tejado no puede, en general, estar ajustado a un modelo de Weibull de dos parámetros. La distribución de Weibull es una aproximación simple del recurso eólico en un tejado. Habitualmente y siguiendo las pocas experiencias realizadas hasta ahora el factor de forma es del orden de k≈1,7 para viento en tejados.

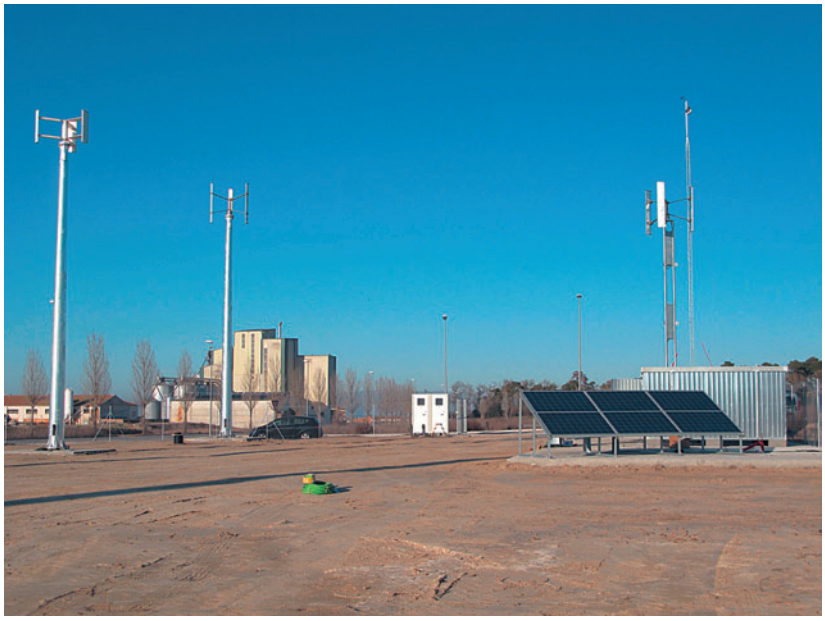


Figura 3. Aerogenerador Technowind. Fuente: CIEMAT.

Por último decir que una velocidad del viento media anual alrededor de 4-5 m/s se considera buen sitio para este tipo de aplicaciones, así que el aerogenerador deberá ser adecuado a esas condiciones de viento. Una producción de energía anual de entre 200 - 300 kWh/m^2 se considera adecuada. La velocidad de viento nominal del aerogenerador puede bajar hasta 8-9 m/s siempre y cuando se tengan una pérdidas aceptables en el rendimiento en términos de energía del sistema completo.

Hay que tener en cuenta que la solución de instalar un aerogenerador sobre el techo, que es en principio muy competitiva al disponer de gran altura de forma poco costosa, se suele desestimar debido a las altas cargas mecánicas debido al viento, razón que hace que esta idea sea al final cara. Si se desea instalar aerogeneradores en los tejados, solo valdrán los que dispongan de rotores pequeños. Es muy importante evitar que el área del rotor esté en velocidad de viento ex-

tremas y por último se deberán evitar rotores pesados (también para reducir el ciclo de vida del aerogenerador).

Con respecto a la tecnología de la aeroturbina, ésta puede ser de eje horizontal y de eje vertical. En el caso del eje horizontal en ambiente urbanos esta frecuentemente orientándose y desorientándose.

Figura 4. Aerogenerador Eje Vertical BAI WIND y Aerogenerador Solenersa.

En las aeroturbinas de eje vertical hay dos tipos, las que disponen de la capacidad de autoarranque, son más pesadas y la curva de eficiencia es en punta, y las que no disponen de capacidad de autoarranque en las cuales se requiere de mucha energía para arrancar como motor en entornos turbulentos. Con respecto a la velocidad específica de diseño de la aeroturbina para entornos urbanos, se diseñará con una velocidad específica relativamente baja ya que una velocidad específica alta produce mucho ruido acústico. Se deberá ir a velocidades específicas por debajo de 5m/s (por ejemplo en el aerogenerador Air X se han medido valores de 11m/s) y por supuesto no se debe ir a velocidades específicas que estén por debajo de 3m/s ya que esto obliga a diseñar la pala con área grande (y esto produce cargas grandes) y eficiencia baja.

Finalmente, como conclusión, los requerimientos en un aerogenerador para integración en edificios son los siguientes:

- Rendimiento alto en vientos complejos.
- Operación segura en ambiente urbano.

- Bajo nivel de emisión de ruido y vibraciones.
- Diseño robusto y simple.
- Mantenimiento mínimo.
- Apariencia estética.

5 NUEVO MODELO INDUSTRIAL Y DE NEGOCIO EN EL SECTOR MINIEÓLICO

D. Francisco Javier España
Departamento de I+D
E3 EFICACIA ENERGÉTICA EÓLICA, S. L.

1. Introducción

1.1. La directiva 2002/91/CE

El sector de la vivienda y los servicios necesarios para el sostenimiento energético de las mismas en las grandes urbes, absorbe más del 40% de la energía producida y la tendencia es que siga aumentando.

Ante esta problemática surgió la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios. Dicha norma obliga a los Estados Miembros a fijar unos requisitos mínimos de Eficiencia Energética para los edificios nuevos y para los grandes edificios existentes que sean objeto de reformas importantes, así como su certificación.

Por su parte, España, como estado miembro, ha llevado a cabo la transposición de esta Directiva aprobando el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, de Certificación Energética de los Edificios de Nueva Construcción. Además en el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, se aprobó el Código Técnico de la Edificación en el que se establecen reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía.

1.2. La eficiencia energética

Definición: Es la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos con un similar o mayor confort y calidad de vida y a su vez protegiendo el medioambiente, asegurando su abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso.

La eficiencia energética es el consumo inteligente de la energía. Las fuentes de energía son finitas, y por lo tanto, su correcta utilización se presenta como una necesidad del presente para que podamos disfrutar de ellas en un futuro.

Con este horizonte y tras estudiar diferentes sistemas de generación eléctrica, a saber: autónomos convencionales, sistemas fotovoltaicos, aerogeneradores, etc. y constatar que la incidencia de estos se asocia en su mayoría a viviendas unifamiliares, núcleos aislados tanto industriales como de población y a grandes instalaciones conectadas a la red (huertos solares, etc.) y siempre en el exterior de núcleos urbanos, se ha creado un modelo de generación eléctrica de muy bajo coste y rápidamente amortizable, que puede ser utilizado en los edificios de las zonas urbanas, tanto de nueva construcción, como en los ya construidos, sin alterar en ningún caso su arquitectura.

Dada la importancia económica, estratégica y medioambiental que tiene la energía, es importante destacar que las pérdidas producidas en el transporte de la energía eléctrica, muy especialmente en las grandes líneas de alta tensión que vierten a las grandes urbes, están cuantificadas en más de un 10 % del total producido, cifra que es insostenible en un bien tan relativamente escaso como es la energía eléctrica y que mediante la presente propuesta, se puede reducir.

Estamos pues, ante una propuesta de índole tecnológica, medioambiental, industrial, económica y de empresa, que a continuación se va a explicar y que abre una expectativa energética inédita hasta la fecha no solo en España sino en todo el mundo. Sin duda aporta un nuevo concepto que es exportable y que afianzará a España como líder indiscutible en Energías Renovables.

2. Resumen ejecutivo

2.1. Razón de ser del proyecto

La energía tiene actualmente, entre otros muchos problemas, los de costes, los de escasez y los medioambientales. Y más concretamente en la energía eléctrica estos problemas están multiplicados lo cual hace muy necesario afrontar con imaginación y creatividad las diferentes soluciones para generar, ahorrar y gestionar la energía y muy especialmente la energía eléctrica.

2.2. Nacimiento del proyecto

Con la intención de ofrecer soluciones para generar, ahorrar y gestionar energía eléctrica nace en 2009 un proyecto que propone un concepto nuevo de generación eléctrica, a través de un dispositivo que aprovecha:

- Las corrientes termodinámicas ascendentes que se producen de forma natural en los edificios, por la diferencia de temperatura existente entre el interior y el exterior de estos.
- El viento, incrementando el poder de generación eléctrica del dispositivo.

2.3. Un nuevo sistema de generación eléctrica

Estamos ante un sistema de «Energía Renovable», que a través del efecto chimenea genera energía eléctrica a partir de las corrientes naturales de los edificios, motivo por el cual también se puede definir como de «Cogeneración» y en base a su eficaz aprovechamiento del viento como «Proyecto Mini Eólico». Sin olvidar que las características del dispositivo, siguen los postulados propuestos por la llamada «Generación Distribuida», pues la electricidad se consume en el mismo lugar en el que se origina, solucionando el problema de pérdidas por transporte y distribución de la energía eléctrica.

2.4. ¿Por qué es sumamente interesante este nuevo sistema de generación eléctrica?

Es potencialmente interesante por las razones que se resumen a continuación:

- **Interés Estratégico:** Reduce el consumo de energías primarias.
- **Interés Industrial:** Creará una nueva línea industrial y de negocio, complementándose con nuevos productos derivados de la experiencia y la evolución del dispositivo.
- **Interés Medioambiental:** Aumenta la eficiencia energética y reduce las emisiones de gases contaminantes.
- **Interés Económico:** Beneficia a los consumidores. Reduce los costes en la factura de la electricidad y fomenta el autoconsumo.

- **Interés en cuanto a su Rentabilidad:** Las compañías energéticas que actúen como agentes tendrán la oportunidad de gestionar la energía excedentaria.

Ante estas premisas se presenta una gran oportunidad para explotar un nuevo sistema de generación de energía eléctrica con el que a su vez se puede crear un nuevo modelo industrial y de negocio.

Además de la novedad que aporta el proyecto, podemos decir que todos los elementos que conforman el dispositivo, son de fabricación nacional.

2.5. Sistema susceptible de ser subvencionado

Este sistema es, sin duda, el más meritorio y ajustado a la Directiva Europea 2002/91/CE 16 Dic 2002, relativa a la Eficiencia Energética Edificios y que será de obligado cumplimiento a partir de 2016.

Por ello este sistema es susceptible de ser subvencionado en su fase de desarrollo, aspecto que se está impulsando fuertemente a nivel de la Unión Europea.

2.6. Patentes

Este dispositivo, el extractor eólico generador de energía eléctrica está debidamente protegido por las patentes en pleno vigor y concedidas por la Oficina Española de Patentes y Marcas números 200931310 y P201030098. Existen otros expedientes de propiedad industrial e intelectual que están aún pendientes y en tramitación.

3. Descripción técnica de la propuesta

3.1. Breve descripción de funcionamiento

Esta invención consiste en un molino-extractor eólico mejorado, al que se le ha acoplado un generador de corriente eléctrica (dinamo, alternador, etc.), convirtiéndose de esta manera en una máquina termodinámica de producción de energía eléctrica. El movimiento del molino-extractor se produce aprovechando la diferencia de temperatura que existe entre el interior y el exterior de un recinto cerrado, de

tal manera que instalado el molino en el conducto de evacuación, los gases más calientes acelerarán el movimiento rotatorio del aparato, y este a su vez moverá el generador de energía eléctrica.

Para complementar y especialmente para aumentar la capacidad de generación eléctrica, tiene a la vez un eficaz aprovechamiento del viento, ya que lleva incluido en la configuración del extractor, un molino de eje vertical con efecto ala, para optimizar su rendimiento de generación de energía eléctrica.

3.2. Memoria descriptiva

El molino-extractor generador de energía eléctrica consta de:

- Molino-extractor eólico.
- Generador de corriente eléctrica.
- Molino de eje vertical con efecto ala.

En la Fig. 1, se exponen las medidas y los pesos de un prototipo estándar.

Figura 1. Medidas y pesos del molino extractor eólico.
Fuente: Ilustración realizada por F. J. España Moscoso

En la Fig. 2 se representa un esquema con las partes del dispositivo.

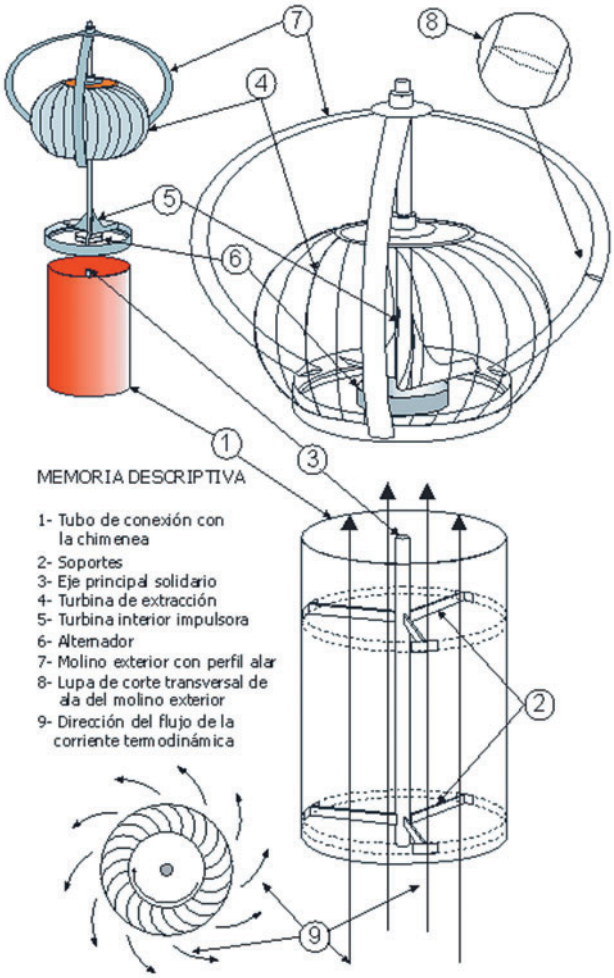


Figura 2. Esquema con las distintas partes del dispositivo.
Fuente: Ilustración realizada por F.J. España Moscoso

3.3. Características del extractor eólico

- Fabricado totalmente en aluminio.
- Funciona 24 horas al día.
- Montado sobre rodamientos prelubricados y sellados.
- Extrae aire, gases, olores, calor, polvo, polución, etc.
- No permite la entrada de agua.

- Resistente a la intemperie y a la agresión de gases, humos y vapores.
- Fácil y económico montaje: gran adaptabilidad a distintos tipos de cubiertas dado su liviano peso.
- De mantenimiento escaso, sencillo y económico.

3.4. Funcionamiento y ejemplos de utilización

3.4.1. Funcionamiento

Este aparato se usa como sistema de ventilación eólico. Se trata de un sistema de ventilación mecánico y a la vez de generación de energía eléctrica que funciona de dos maneras:

A. Según el *axioma de Bjerknes* que indica el movimiento o sentido del giro del viento cuando el gradiente de presión y el gradiente de temperatura tiene distinta dirección, se produce una circulación de aire. La presión de aire caliente es desplazada a través del extractor eólico de tal forma que el «aire frío» de los estratos más bajos del interior del recinto empuja el «aire caliente» interior hacia arriba, contra la cubierta, encontrando como vía de escape el extractor. El empuje del «aire caliente» al chocar con el extractor pasando a través de los álabes de la turbina de extracción, que con su movimiento permiten una rápida evacuación y a su vez la generación de energía eléctrica.

B. También funcionan con la energía del viento existente en el exterior de la cubierta que choca contra las alas del molino vertical.

Inicia su funcionamiento cuando hay una diferencia de 3°C entre el interior y el exterior del recinto o con una velocidad del viento superior a los 1,5 m/s (5,4 km/h). Por lo tanto el funcionamiento del extractor es casi permanente. Obviamente, a mayor diferencia de temperatura y a mayor velocidad de viento, mayor será la capacidad de movimiento del extractor y por ende de generación de energía eléctrica.

3.4.2. Utlización como sistema de ventilación

Hay lugares que necesitan de forma imprescindible tener ventilación. Podemos citar ciertas fábricas, edificios de oficinas sin apertura de

ventanas, centros comerciales, almacenes cerrados, hornos, aparcamientos subterráneos, etc.

Tal y como se representa en la Fig. 3 se usa como sistema de ventilación y extracción para proporcionar una renovación permanente de aire, durante las 24 horas del día, no genera ruidos y ofrece una solución ecológica a los problemas de hacinamiento y a los lugares mal ventilados y/o expuestos al sol y/o al calor, logrando un bienestar para las personas que allí habitan, desarrollan sus tareas o simplemente transitan, evacuando correctamente el calor, los olores, la humedad, los vapores, el polvo, la polución e incluso sirviendo para la eliminación de gases nocivos e irrespirables (renovación exigida y regulada por ley) gracias a su elevada capacidad de extracción, restableciendo de esta manera los niveles necesarios de oxígeno y proporcionando unas condiciones ambientales de habitabilidad adecuadas. En caso de tratarse de centros de trabajo, esta solución incide notablemente en la salud y la productividad de los trabajadores.

Estos beneficios redundan también en la salud de los propios edificios.

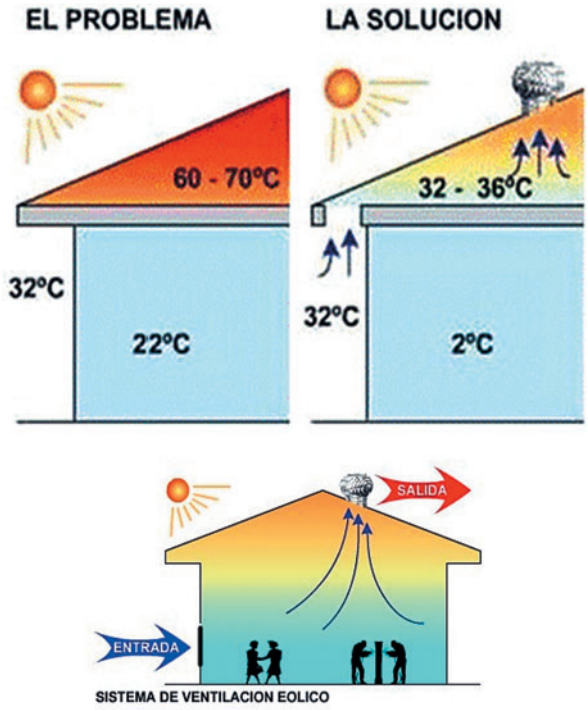


Figura 3. Sistema de ventilación con el extractor eólico.
Fuente: Ilustración de EXTRACTORES EÓLICOS ATLANTIS

3.4.3. Ventilación forzada de naves y centros comerciales

El dispositivo que es objeto de este capítulo puede, además de generar electricidad, cumplir con las necesidades de evacuación y renovación del aire de forma autónoma, no obstante, en el supuesto de que los valores de las temperaturas del interior y el exterior de los recintos sean casi idénticas y el viento sea prácticamente inexistente, el alternador generador de corriente puede funcionar como motor, de tal manera que pueda cumplir con su función de ventilación.

3.4.4. Utlización como sistema de generación eléctrica

La verdadera revolución de la presente invención consiste en que al molino-extractor se le ha acoplado un generador de corriente eléctrica, convirtiéndole en una máquina de producción de energía eléctrica.

Una vez que el molino-extractor eólico está girando ya sea aprovechando la diferencia de temperatura existente entre el interior y el exterior de un recinto y/o bien por la fuerza del viento, se produce un movimiento que será aprovechado por el generador de corriente asociado al eje, produciendo energía eléctrica, siendo ésta de al menos 450 watios a la hora, lo que arroja una cifra mínima de 2.250 kW anuales, pudiendo alcanzar los 3.150 kW al año, tal y como se explica en el punto 4 de este capítulo.

3.4.5. Utlización como parte integrante de sistemas de climatización

También existe la posibilidad de acoplar el conjunto como parte integrante de los grandes sistemas de climatización que se instalan en las azoteas de distintos inmuebles. Podemos ver una imagen virtual de lo explicado en la Fig. 4.

Tanto en sistemas de expansión directa como indirecta, sustituye al ventilador: en los primeros al del condensador exterior y en los segundos (recirculación de agua) al de la unidad enfriadora de agua.

En sendos sistemas el dispositivo aporta un gran ahorro energético, ya que su funcionamiento, unas veces autorrotatorio por la columna de

aire caliente que se produce (efecto chimenea), otras por la acción del viento y la mayoría de las ocasiones por la conjunción de las dos, siempre generará energía eléctrica.

Figura 4. Sistema de ventilación con extractor eólico.
fuente: F.J. España Moscoso

3.5. Instalación y montaje del extractor eólico

3.5.1. Instalación del molino extractor eólico

El dispositivo se instalará en los colectores comunes de evacuación de gases llamados *«sum»* que funcionan por el efecto «chimenea», en los huecos de escalera y de ascensores, así como en cualquier conducto vertical disponible, como se indica en el esquema representado en la Fig. 7.

De forma alternativa y dependiendo del tipo de recinto o edificio se debe colocar en la parte mas alta y lo mas lejos posible de las entradas de aire de dicho ambiente, siempre y cuando en ese recinto

no se lleven a cabo procesos de producción en "zonas críticas" que producen la mayor cantidad de aire contaminado por humos, calor, vapores, gases, polvos en suspensión, etc.

La Fig. 5 corresponde a una imagen virtual para complementar la explicación.

Figura 5. Imagen virtual de edificio de viviendas con extractores eólicos instalados. Fuente: F.J. España Moscoso

3.5.2. Montaje en 5 sencillos pasos

La referida instalación es sumamente sencilla y puede hacerse con herramientas más o menos básicas y por operarios no excesivamente especializados, de tal forma que una vez que tenemos la ubicación se procederá como sigue:

1.º Se coloca la base del conjunto en el lugar que va ocupar y se traza todo el perímetro del agujero.

2.º Se retira la base y se procede a perforar el techo con una herramienta de corte adecuada.

3.º Se presenta la base sobre el agujero y se fija para formar parte de la estructura del techo de la nave.

4.º Se coloca sobre el cuello de la base, el extractor eólico.

5.º Se sellan todas las partes por las cuales puede haber filtración de agua.

El extractor debe estar a nivel respecto al plano horizontal (90°).

La instalación es muy sencilla, no obstante es fundamental que el conjunto de base-extractor no tenga movimiento alguno respecto al techo, ya que esto fatiga todos los puntos de sujeción tanto de la base como del extractor, pudiendo terminar con la rotura de los mismos cuando soplan vientos fuertes. No obstante, está previsto que en este caso se coloquen tensores para solidarizar el conjunto base-extractor al techo.

La Fig. 6 corresponde a una imagen virtual para complementar la explicación.

Figura 6. Imagen virtual con extractores eólicos instalados en azoteas. Fuente: F.J. España Moscoso

4. Eficacia del dispositivo

La gran cualidad del dispositivo objeto de la presente propuesta es la de ser todo tiempo, esto quiere decir que asegura su funcionamiento entre un 80% y un 57% de las horas o lo que es lo mismo entre 7.000 y 5.000 horas del total de horas anuales: 8.760.

Funciona en todas las estaciones del año, con independencia de si es de día o de noche.

Estas cifras están avaladas por el funcionamiento ya contrastado de los extractores eólicos existentes y ya en uso.

En cuanto a su eficacia de generación eléctrica se comparan en la Tabla 1 las cifras de producción eléctrica obtenidas de forma empíri-

ca frente a las existentes de las Placas Fotovoltaicas como dispositivo de generación eléctrica análogo, ya que es el único que se puede considerar competencia directa, aunque con limitaciones evidentes, según es verificable a continuación.

Tabla 1. Producción de energía eléctrica de placa fotovoltaica vs extractor-generador

	Placa Fotovoltaica	Extractor Eólico E3
Producción horas/año	Entre 1.200 h y 1.800 h	Entre 5.000 h a 7.000 h
Producción watios/ hora	Entre 180 W y 235 W	Más de 450 W
kW. totales año	Entre 216 kW y 423 kW	Entre 2.250 kW y 3.150 kW

Fuente: Departamento de I+D de E3 EFICACIA ENERGÉTICA EÓLICA, S.L.

Se observa que existe una muy sensible diferencia en cuanto a la eficacia de generación eléctrica anual de ambos dispositivos a favor del extractor-generador eólico, teniendo un ratio de producción muy superior que va desde un 532% hasta un 1.458% con respecto a la placa fotovoltaica.

El proyecto ya tiene desarrollado un prototipo que arroja cifras de producción superiores a los 450 Wh y tiene definida la ubicación de la primera prueba piloto oficial.

5. Oportunidad de negocio en base a la legislación actual

Para situar en su justa medida la oportunidad de negocio que supone esta novedad industrial, es necesario conocer el momento que vivimos y la sensibilidad que se percibe desde las distintivas administraciones públicas tanto nacionales como supranacionales con respecto a la diferente problemática de la energía.

Por ello desde la administración se está legislando para amparar las energías renovables de eficiencia demostrada tal y como ha dejado claro el actual Ministro de Industria en unas declaraciones recientes (30/1/2012): «solo se primarán las energías de demostrada eficacia».

A continuación hay una selección de las diferentes normas de la Legislación Comunitaria relacionadas directamente con la actividad que se relaciona en esta propuesta y que en muchos aspectos, da

la impresión de que dicha normativa esté redactada a la medida de este modelo de generación eléctrica.

Se resaltan en negrita las connotaciones que hacen referencia a la eficiencia energética y a la salud ambiental de los edificios:

- Según la Directiva 2002/91/CE 16 Dic 2002 de Eficiencia Energética Edificios, los edificios representan el 40% de la demanda energética europea.
- La Directiva 93/76/CEE exige programas de Rendimiento Energético en los edificios, para reducir las emisiones de CO2.
- La Directiva 89/106/CEE (Productos Construcción) establece el requisito esencial «ahorro de energía» en la construcción:
  - La eficiencia energética de los edificios implica a: Diseño, aislamiento, sistemas de acondicionamiento e incorporación de energías renovables.
  - Todos los edificios nuevos deben respetar unos requisitos mínimos.
  - Las reformas importantes deben respetar unos requisitos mínimos.
  - Los edificios «públicos» deben ser ejemplo.
  - En los edificios de más de 1.000 m2, hay que analizar sistemas alternativos (renovables, cogeneración, climatización central o urbana, bombas de calor, etc.).
- Marco general en el que deberá inscribirse el cálculo de la eficiencia energética de los edificios:
  - Ventilación.
  - Ventilación natural.
  - Sistemas de producción de electricidad basados en fuentes de energía renovables.

6. Nuevo e innovador modelo industrial y de negocio

6.1. Ejemplo de mercado potencial en el parque de viviendas de la comunidad de madrid

El desarrollo de la propuesta conlleva la creación de un nuevo e innovador tipo de industria exclusivamente medioambiental, que a su vez, generará una gran actividad en la industria auxiliar convencional, así como un gran valor añadido.

Para explicar la posible magnitud del proyecto, pasamos a continuación a exponer una hipótesis de producción, basándonos a modo de ejemplo únicamente en la implantación del dispositivo en el parque de edificios de viviendas de más de 4 plantas de la Comunidad de Madrid.

Como ejemplo y para obtener los datos necesarios para confeccionar una buena simulación de eficiencia y sostenibilidad, partimos de la estadística del año 2001 ofrecida por la Comunidad de Madrid en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2. Censo de población y viviendas 2001.
Edificios destinados principalmente a viviendas según la altura

Instituto de Estadística Comunidad de Madrid	Altura						
	Total	Una altura	Dos alturas	Tres alturas	De cuatro a diez alturas	De once a veinte alturas	Más de veinte alturas
Comunidad de Madrid							
Total	508.882	162.259	187.768	55.978	100.458	2.412	7
Edificio sólo con una vivienda familar	333.725	146.158	155.102	31.901	564	0	0
Edificio sólo con varias viviendas familiares	104.408	13.494	25.556	16.369	48.369	774	0
Edificios principalmente con viviendas familiares	69.619	2.236	6.847	7.512	51.391	1.626	7
Edificios principalmente con vivienda colectirva: hc	112	25	22	14	50	1	0
Edificios principalmente con vivienda colectiva: cc	722	252	182	127	155	6	0
Edificios principalmente con vivienda colectiva: in	69	27	14	12	16	0	0
Edificios principalmente con vivienda colectiva: hc	227	67	45	43	67	5	0

Fuente: Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid. Año 2001.

Existían ya en 2001 103.000 edificios de viviendas de más de 4 plantas en la Comunidad de Madrid, con una población aproximada en ellos de 3.500.000 de personas.

6.2. Cálculo de unidades por edificio e hipótesis de producción

Por regla general, los dispositivos generadores se colocarán en los «sum» de los edificios y en los huecos de escalera y de ascensores.

Como mínimo, un edificio tipo tiene por cada hueco de escalera, cuatro «sum» (dos por cada hilera vertical de viviendas, en el caso de que tenga el mínimo) que siempre corresponde a la evacuación de los humos de la cocina y a los servicios interiores, a estos cuatro, habría que sumar uno más colocado en el hueco del ascensor y otro en el hueco de la escalera, por lo tanto en una composición básica, serían seis las unidades previstas. No obstante, la gran mayoría de los edificios, tienen más de dos pisos por rellano o dos escaleras, por lo que estableceremos una media de 8 unidades por edificio.

Con esta cifra, la expectativa total de unidades instaladas del modelo generador-extractor eólico, en la Comunidad de Madrid sería de 825.000 unidades aproximadamente.

Extrapolando estos datos de la Comunidad de Madrid al resto de España, se obtienen unos 480.000 edificios de más de cuatro plantas y un potencial de instalación total 3.480.000 de estos Generadores-Extractores.

Con una hipótesis comercial basada en tan solo el 6% del total de dispositivos que teóricamente, pueden colocarse en España, se obtiene una cifra de más de 200.000 unidades. Con estos datos, estaría asegurada la producción industrial para más de 10 años, lo que supone la creación de puestos de trabajo directos y estables, así como un buen aporte de carga de trabajo a la industria auxiliar.

Además, la punta de lanza de este nuevo sistema estaría en la instalación del dispositivo en los edificios, para lo cual, la mano de obra vendría del sector de la construcción, ahora en crisis.

Cualquier hipótesis mayor o de exportación, incrementaría las expectativas de forma exponencial, debiendo hacer otras consideraciones mercantiles, económicas e industriales.

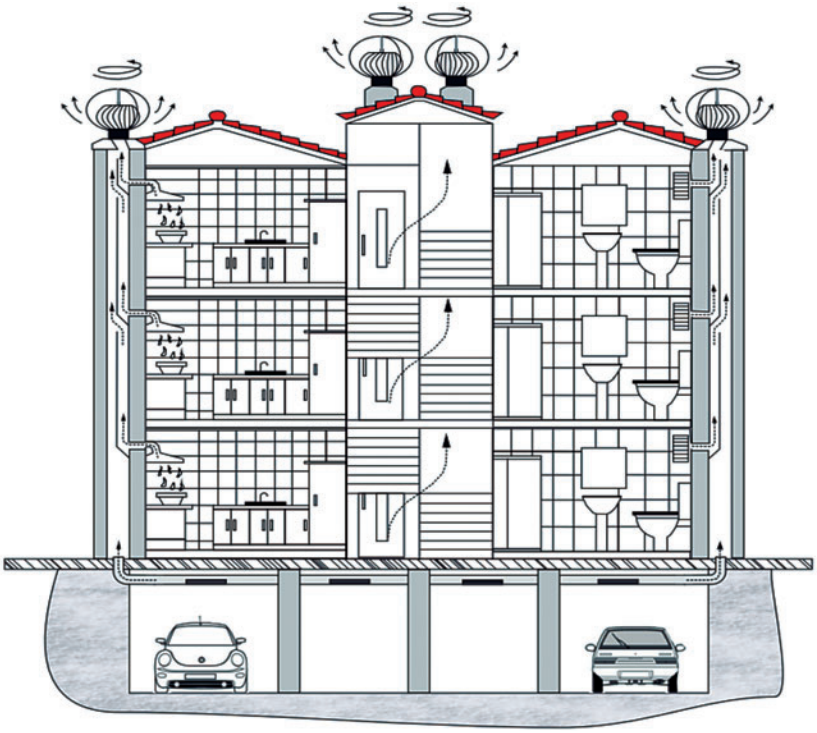


Figura 7. Ilustración acerca de un ejemplo de instalación y funcionamiento en un edificio de viviendas.
Fuente: Departamento de I+D de E3 EFICACIA ENERGÉTICA EÓLICA, S.L.

6 INSTALACIÓN DE AEROGENERADOR DE 150kW EN EL CENTRO DE INNOVACIÓN AGROALIMENTARIO DE LA FUNDACIÓN CAJAMAR «LAS PALMERILLAS»

D. Pau Solanilla y D. Álvaro Ponce
Compañía Eléctrica para el Desarrollo Sostenible, S.A.
ELECTRIA
www.electria.es

1. Introducción

Al hablar de instalaciones de energías renovables y en especial de la eólica, en la mente de muchos se agolpan imágenes de gigantescos molinos de viento agrupados en enormes parques eólicos. Sin embargo, a pesar de que constituyen una nueva realidad energética que abre interesantes oportunidades de negocio (y un considerable impacto paisajístico), poco tiene que ver con el tan anhelado cambio de modelo energético y con la necesaria «democratización del sector energético».

Hay sin embargo otros caminos para el desarrollo de fuentes y modelos de generación con energías limpias, como la generación distribuida. Un modelo energético descentralizado que ofrece valor añadido y competitividad de las actividades económicas arraigadas en los territorios donde se establecen. Es ahí donde emerge el potencial de tecnologías como la minieólica o eólica de media potencia, generando electricidad cerca de los puntos de consumo o en los mismos puntos de consumo mediante energías renovables. Un modelo más eficiente y democrático que aprovecha todo el potencial de algunas de las tecnologías ya maduras disponibles en el mercado. Soluciones descentralizadas y tecnológicamente eficientes y competitivas en relación a la generación eléctrica a partir de materias primas fósiles (petróleo y carbón). Sin embargo, el aprovechamiento del potencial eólico que tiene nuestro país tiene una serie de dificultades entre las que podemos destacar:

- *Red eléctrica escasa y sobrecargada.* Los nudos de evacuación de energía eólica están saturados, y muchos parques no se pueden construir por falta de punto de entrega.
- *Inversiones muy elevadas.* Los aerogeneradores de gran potencia (superiores a 1,5 MW de potencia unitaria) son muy caros, y sólo las grandes corporaciones empresariales pueden acceder a la finan-

ciación de parques que precisan inversiones desde decenas hasta centenares de millones de euros.

- *Elevado impacto ambiental.* Los parques de aerogeneradores, tal como se están desarrollando en la actualidad, son de máquinas que están colocadas a más de 80 metros de altura, con diámetros de rotor que superan los 90 metros. Son perfectamente visibles desde muchos kilómetros de distancia, con el consiguiente impacto visual y paisajístico, lo que está provocando rechazo en un relevante sector de la población.

Para contrarrestarlo, es necesario desarrollar máquinas más pequeñas que permitan invertir a pequeños empresarios y entidades locales en sus propios sistemas de generación con renovables con el objetivo de generar energía eléctrica de la más alta calidad, cumpliendo todas las exigencias establecidas por normativa vigente y los más altos estándares de calidad existentes.

2. Instalación minieólica del aerogenerador Garbí 150/28 de 150 kW

La instalación del aerogenerador Garbí 150/28 de ELECTRIA WIND, es un buen ejemplo de la potencialidad de la mineólica para el territorio español:

- Acerca la generación eléctrica al punto de consumo, evitando así los altos costes y pérdidas de los sistemas de transporte y distribución.
- Abre la puerta a una nueva alternativa a las inversiones en energía eólica, ocupando un nicho complementario a la gran eólica.
- Rompe las limitaciones actuales de los grandes parques eólicos y aprovecha el viento en lugares inimaginables hasta ahora.
- Ofrece la posibilidad de conectar a redes de poca capacidad, la instalación en terrenos más pequeños y un transporte convencional, frente a las grandes máquinas que requieren redes de alta potencia, una gran extensión de terreno y un transporte especial.
- Consolida el mercado eólico de baja y media potencia.

Y es que la apuesta por las tecnologías mini-eólicas de última generación, permiten entre otros:

1. Generar energía junto a los puntos de consumo reduciendo las pérdidas.

2. Es accesible a industriales y pequeños inversores (bien por un aprovechamiento directo o como ingreso neto acogido al Real Decreto de producción en Régimen Especial).
3. Se pueden conectar a redes de distribución: menores costes de conexión y mejora de estabilidad de redes débiles.
4. La obra civil es más pequeña ya que no precisa de grandes caminos de acceso, ni cimentaciones complejas, ni extensión de redes.
5. Funcionan con vientos moderados y no requiere de estudios de viabilidad complejos.
6. Pueden suministrar energía en cantidad y calidad en lugares aislados y alejados de la red eléctrica.
7. Permiten la combinación con otro tipo de energías renovables como es la fotovoltaica o las pilas de combustible.
8. Causan menor impacto ambiental y visual que las grandes máquinas.
9. Sus dimensiones facilitan el transporte, montaje y mantenimiento, ello facilita su exportación a mercados exteriores, especialmente en países en vías de desarrollo.
10. Los costes de generación son algo superiores a la gran eólica, si bien se compensan por los menores costes en montaje, transporte y mantenimiento, facilitando el aprovechamiento de recursos eólicos que en la actualidad están vedados a las grandes máquinas.

Figura 1. Aerogenerador Garbí 200/28. Fuente: Electria.

En el mercado de la energía eólica no existen todavía aerogeneradores de este tipo. En los catálogos que recopilan las máquinas existentes podemos encontrar algunos modelos muy antiguos de potencias similares, que normalmente corresponden con las primeras versiones de aerogeneradores que luego han evolucionado a potencias muy superiores. Estas máquinas se encuentran descatalogadas por los propios fabricantes, siendo prácticamente imposible su adquisición.

El aerogenerador Garbí 150/28, incorpora la tecnología más avanzada de motores síncronos multipolares de velocidad variable, para conseguir los siguientes objetivos:

- Extracción de la máxima potencia del viento.
- Alta fiabilidad y bajo mantenimiento.
- Control de potencia reactiva.
- Calidad de energía eléctrica.

Para conseguir dichos objetivos se han desarrollado y validado innovaciones en los siguientes campos:

- Creación de unas palas específicas para los aerogeneradores Garbí 150/28, que tengan un máximo aprovechamiento aerodinámico transmitiendo a su vez cargas limitadas a los componentes.
- Implantación de un sistema de pitch que permita controlar la posición de ataque de las palas en tiempo real.
- Desarrollo de un Sistema de Control, que se encargue de captar la máxima energía disponible en cada momento, y entregándola a la red con la máxima calidad, con el factor de potencia demandado en cada momento por el operador. Se presenta como un objetivo inexcusable que el propietario del aerogenerador obtenga la máxima bonificación que la legislación establezca para la energía reactiva.
- Desarrollo de un sistema específico de monitorización que permita controlar la máquina a distancia, registrando sus parámetros de funcionamiento y las posibles alarmas que se activen. Esta función es imprescindible para conseguir una alta fiabilidad, de forma que el aerogenerador esté operativo de forma permanente.

El resultado de ese esfuerzo ha sido el desarrollo y comercialización de una máquina robusta, eficiente y fiable que ofrece una excelente oportunidad para su implantación en muchos entornos económicos e industriales.

3. Ejecución del proyecto

3.1. Análisis del emplazamiento

El aerogenerador se va a situar en el siguiente punto topográfico, (UTM ED50):

X = 525.039

Y = 4.072.360

Figura 2. Foto aérea del emplazamiento. Fuente: Electria.

La parcela catastral donde se pretende instalar el aerogenerador es la 144 del polígono 12 del Término Municipal de El Ejido.

El emplazamiento está situado a 150m de altura sobre el nivel del mar, en una zona de pendiente suaves, completamente rodeado de invernaderos o viveros.

Hacia el Norte a 1700 m de distancia comienza la zona montaña y hacia el Sur, Sureste y suroeste a 13 km de distancia está el mar.

3.2. Datos de viento

Se han analizado los datos de viento medidos por la estación meteorológica de la Estación Experimental de Cajamar Las Palmerillas, sin embargo al estar situada al abrigo del viento se consideran datos no aptos para hacer un estudio de recurso eólico a una altura superior. Por lo que se han tomado los datos de viento del Atlas Eólico de España publicado por el I.D.A.E.

Para realizar el Atlas Eólico de España se ha recurrido a un modelo de simulación meteorológica y de prospección del recurso eólico a largo plazo, estudiando su interacción con la caracterización topográfica de España, sin llevar a cabo una campaña de mediciones específica. En cambio, sí se han utilizado datos reales del recurso para la validación de los resultados de la herramienta de simulación adoptada. Para ello han utilizado modernas técnicas de modelización mesoescalares y microescalares, capaces de reproducir los patrones de viento a gran escala, con un modelo de viento microescalar que responda a las características del terreno y a la topografía.

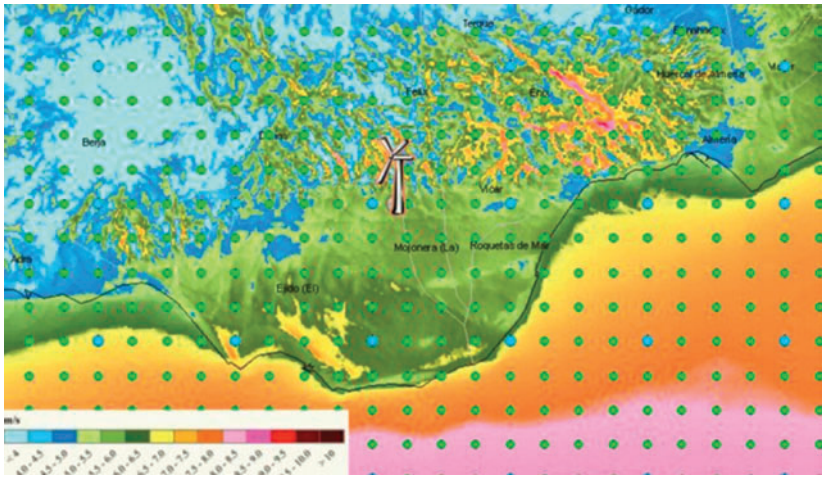


Figura 3. Mapa Eólico a 30m de altura del emplazamiento.
Fuente: Electria.

Del Atlas Eólico de España se han tomado los datos de velocidad media y parámetros A (o C) y k de Weibull, de tres puntos cercanos al proyecto que se consideran representativos de la zona.

Coordenadas UTM (m): 524645,4072360
Elevación (m): 156
Rugosidad (m): 0.1

	30m.	60m.	80m.	100m.
Velocidad (m/s)	5.48	6.12	6.41	6.61
Weibull C (m/s)	6.131	6.8	7.11	7.32
Weibull D	1.793	1.736	1.687	1.631

Coordenadas UTM (m): 524645,4072160
Elevación (m): 142
Rugosidad (m): 0.1

	30m.	60m	80m.	100m.
Velocidad (m/s)	5.79	6.33	6.58	6.75
Weibull C (m/s)	6.48	7.04	7.29	7.48
Weibull K	1.791	1.734	1.686	1.629

Figura 4. Datos de velocidad, perímetros A y K. Fuente: Electri.

Se realiza una estimación de la velocidad a 35 m de altura (a partir de los valores a 30, 60 y 80 m de altura).

h	v	k	c
80	6.58	1.686	7.29
60	6.33	1.734	7.04
30	5.79	1.791	6.48
35	**5.9**	**1.781**	**6.57**

Figura 5. Estimador de la velocidad. Fuente: Electria.

Así mismo se ha tomado los datos de dirección del viento de la rosa situada a 2 km al este del emplazamiento:

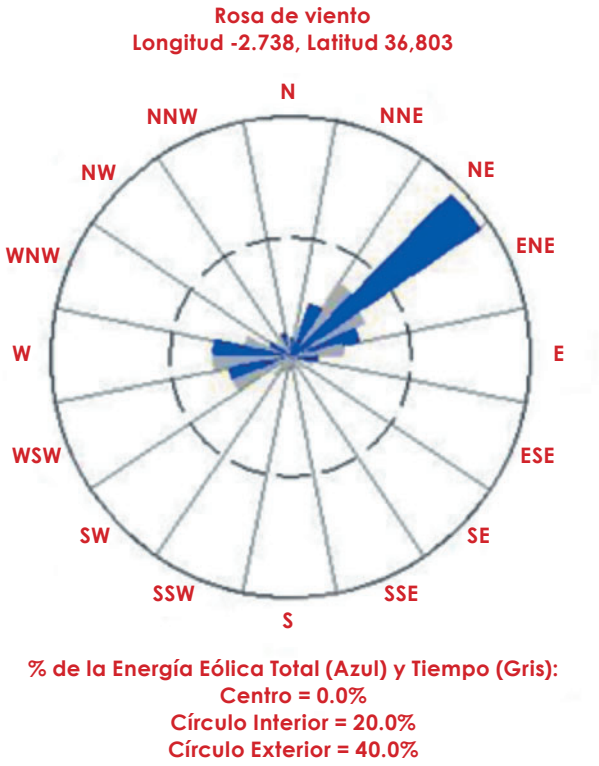
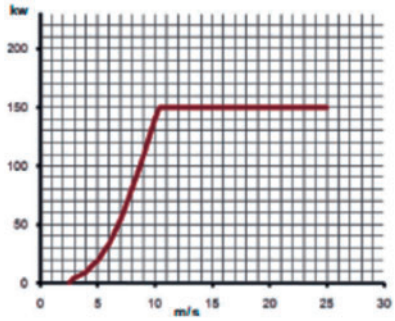


Figura 6. Rosa de viento. Fuente: Electri.

Para definir la densidad del aire del emplazamiento se ha recurrido igualmente al Atlas Eólico del IDAE que tiene caracterizada la densidad media del aire en todo el territorio español. Se ha tomado una densidad media anual de 1,2 kg/m^3.

3.3. Cálculo de la producción

Se calcula una estimación de la producción en función de los datos de viento, considerando la siguiente curva de potencia del aerogenerador Garbí 150/28 en condiciones atmosféricas estándar, para una densidad del aire de 1,2 kg/m^3.



Valores curva de potencia
Power curve data

m/s	kw	m/s	kw
2,5	0	7,5	68
3	5	8	80
3,5	7	8,5	94
4	10	9	108
4,5	15	9,5	124
5	19	10	140
5,5	27	10,4	150
6	34	11	150
6,5	44	20	150
7	55		

Figura 7. Curva de potencia Garbí 150/28. Fuente: Electri.

Utilizando el programa de modelización Wasp, introduciendo los datos de velocidad media y los factores de forma de Weibull:

V_{media} = 5,9 m/s
A = 6,57
K = 1,781

Se estima que la producción bruta anual es de 408.313 kWh.

Que si se le aplica una pérdidas de un 11 % (8 % por disponibilidad y 3 % por pérdidas eléctricas) queda una producción neta anual de 363.398 kWh.

3.4. Análisis económico y financiero de la viabilidad del proyecto

Una vez analizado el potencia de recurso del emplazamiento, se lleva a cabo un análisis de la financiación e inversión que incluirá una estimación de costes de las materias primas, mano de obra, adquisición de equipos, etc; análisis coste-volumen-utilidad y posibles economías de escala; inversiones previas y en capital inicial de trabajo; fuentes de financiación, y beneficios de la inversión. Un análisis de la tasa de rentabilidad, el período de recuperación del capital, VAN, TIR, etc.

4. Solución técnica

El proyecto consiste en la instalación de un aerogenerador GARBÍ 150/28, fabricado por ELECTRIAWIND. Es una turbina eólica de 28 m

de rotor que desarrolla una potencia nominal de 150 kW para velocidades de viento superiores a los 10,5 m/s. A pesar de su pequeña potencia, la tecnología utilizada en el GARBÍ es de última generación, reuniendo todas las ventajas de los últimos avances tecnológicos de la eólica.

En concepto, es un aerogenerador tripala de orientación a barlovento y velocidad variable, basado en un generador síncrono de imanes permanentes multipolar que permite una conexión del rotor aerodinámico a partir de una multiplicadora de engranajes muy simple de dos etapas. Posee un sistema de orientación de la góndola o Nacelle (sistema de yaw) y un sistema de palas de paso variable (sistema de pitch) controlado por medio de actuadores hidráulicos.

El controlador del GARBÍ, está basado en una arquitectura robusta de PLC industrial de última generación equipado con los sistemas de comunicación adecuados para permitir una monitorización remota de la máquina. La energía generada, en frecuencia variable, es completamente acondicionada a través de un convertidor (conversión full power) para ser inyectada en la red en función de los requisitos necesarios por la red de generación de potencia reactiva y está preparada para soportar micro cortes y caídas de red conforme a los procedimiento P.O. 12.3 de REE y las normativas de E.ON.

La estructura de la góndola es soportada por una torre tubular de acero de 35m de altura en su mayoría de sección recta y espesor variable tratada superficialmente para evitar la corrosión.

4.1. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas generales del aerogenerador son las siguientes:

Modelo de Aerogenerador	GARBÍ 150-28
Categoría IEC de clase de viento	IEC IIIA
Potencia Nominal	150 kW
Diámetro del rotor	28 m
Altura del Buje	35 m
Número de Palas	3
Velocidad del viento para puesta en marcha	2.5 m/s
Velocidad de viento nominal (ρ_{aire} = 1,225 kg/m^3	10.4 m/s
Velocidad de viento máxima	20 m/s
Rango de velocidades de rotor en producción	6 - 41 rpm
Relación de multiplicación	8.53
Etapas de Multiplicación	2 paralelas
Rango de Temperaturas de operación	-20°C to 40°C
Área Barrida	616 m^2
Densidad de Potencia	0.2436 kW/m^2
Paso	Variable
Tipo de Generación	Sincrona de frecuencia variable
Tensión nominal	400 V
Intensidad nominal	270 A
Frecuencia de red	50 Hz
Peso Total	28,100 kg
Orientación de rotor	Barlovento

Figura 8. Especificacines técnicas. Fuente: Electria.

4.1.1. Esquema unifilar

El esquema unifilar de la instalación se puede dividir en tres partes. El punto de conexión del aerogenerador a la red de consumo de baja tensión, el control principal del aerogenerador y la periferia distribuida de la góndola.

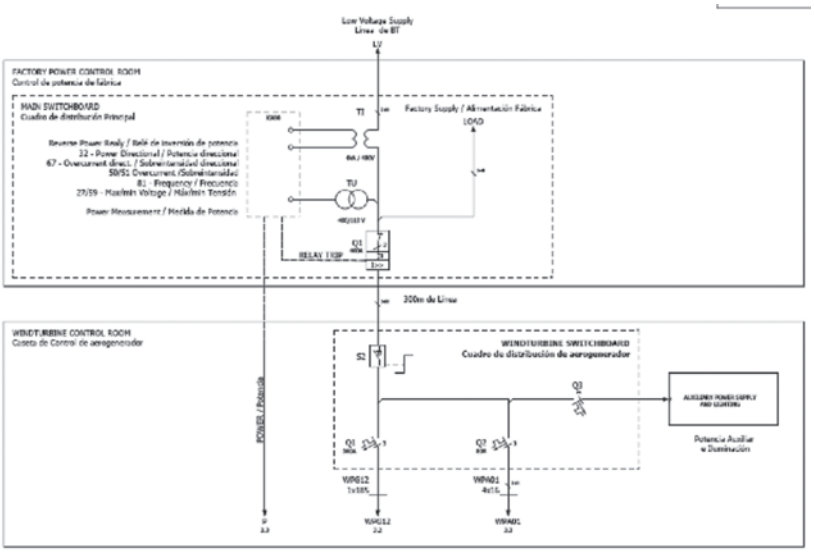


Figura 9. Esquema unifilar. Fuente: Electria.

4.1.2. Punto de conexión

El punto de conexión escogido es el armario de distribución principal existente en la Estación, aguas debajo de la subestación y del contador de la compañía. Al realizarse la inyección de potencia en este punto, la potencia generada será consumida en su totalidad por la fábrica siendo el aerogenerador completamente transparente a la compañía eléctrica.

En esquema eléctrico pueden verse tres derivaciones. La primera (LV) es la conexión con la red de baja tensión de la compañía. En esta derivación es necesario instalar un relé de protección y una estación de medida que envíe la información necesaria al sistema de control de potencia, el cual asegura que el aerogenerador nunca generará más potencia de la consumida por el sistema y, en el caso de que se produzca un mal funcionamiento, actúa sobre el automático del generador aislándolo del sistema.

Aguas abajo del relé de protección y la estación de medida, se encuentra el consumo de la fábrica. Dado que el relé de protección únicamente actúa sobre el automático de potencia del aerogenerador, la potencia de la fábrica nunca se verá interrumpida permitiendo el consumo desde la compañía eléctrica, desde el aerogenerador o desde ambas.

En el mismo punto se encuentra la derivación hacia el aerogenerador protegida por un interruptor automático controlado por los relés de protección. Esta derivación es la que proporciona alimentación al control del aerogenerador y el punto donde se inyecta la potencia desde el convertidor de potencia.

4.1.3. Sistemas de control de potencia

Gracias a la tecnología de velocidad variable y control del paso de pala, el sistema de control del aerogenerador puede limitar la potencia producida. Con una medida del consumo eléctrico se puede obligar a producir una potencia máxima similar a la consumida, o por seguridad, ligeramente menor. Se recomienda tarar el sistema de control de potencia para una producción del 90 % de la energía consumida.

Este sistema impide que el balance de potencias sea negativo garantizando el máximo aprovechamiento de la potencia eólica disponible sin el riesgo de que el sistema pueda inyectar potencia a la red eléctrica.

4.1.4. Relés de seguridad de inversión de potencia

Aunque existe un sistema de control dedicado, cabe la posibilidad de que de forma puntual se produzca alguna avería en el sistema de control de potencia. Un sistema de protección por medio de relés, garantiza el aislamiento del aerogenerador en caso de fallo.

Dos relés de protección típicos de los sistemas de generación, son el de potencia direccional (32) y el de intensidad direccional (67). Estos relés nos permiten controlar el cuadrante en el que está trabajando el sistema y por tanto la dirección del flujo de potencia. Aunque el uso habitual de los mismos está orientado a evitar que los generadores comiencen a trabajar como motores, podemos utilizar las mismas protecciones para evitar que el sistema genere potencia. De esta manera, si el aerogenerador produce una potencia superior a la consumida por el sistema la dirección de la intensidad, y por tanto del flujo de potencia cambiará desde los cuadrantes 1º ó 3º a los cuadrantes 2º ó 4º haciendo saltar las protecciones y aislando el aerogenerador del sistema.

5. MONTAJE EN CAMPO

5.1. Transporte y montaje de aerogenerador

Gracias al diseño del aerogenerador Garbí 200/28, para el traslado de los elementos a ensamblar en campo se hará uso de sistemas de transporte y grúas de dimensiones aptas para transitar y acceder a la mayoría de puntos de la red de transporte por carretera.

- **Fácil de Transportar** 1 turbina = 3 contenedores de 40 pies
  2 Turbinas = 5 contenedores de 40 pies
- **Fácil de Montar y de Desmontar.** 1 grúa de 100 ton y 50 metros + 1 camión grúa de 35 ton y 35 metros.

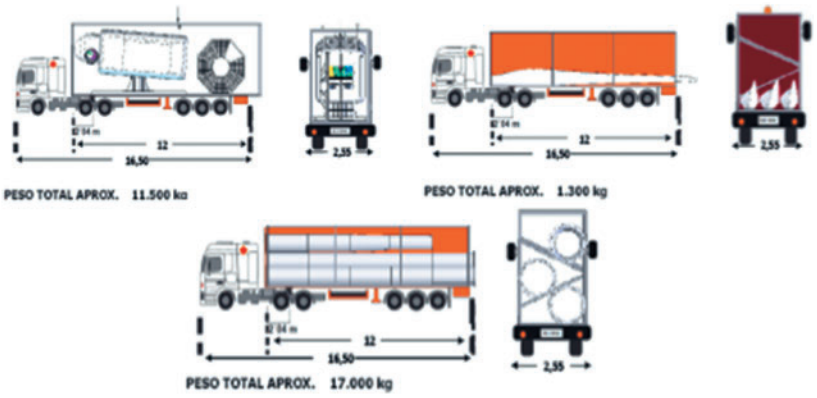


Figura 10. Montaje. Fuente: Electria.

Los trabajos principales serán la cimentación de la torre, la construcción del edificio de control, el convertidor y el centro de transformación. Para la preparación de la cimentación se requerirá de una excavación previa, la deposición de una capa de hormigón de limpieza, la colocación de la virola, la construcción de la armadura, el vertido y vibrado del hormigón y la cubrición con materiales de la excavación del conjunto, una vez se hayan cumplido los tiempos de curado del hormigón.

En el caso del edificio de elementos eléctricos se realizará una explanación inicial, una excavación posterior, se verterá hormigón de limpieza, se preparará la base y, una vez se finalice el proceso de curado del hormigón, se continuará la ejecución vertical del edificio hasta su terminación. En paralelo se preparará el canal de conexión con la base de la cimentación y las arquetas de registro correspondientes.

Las principales labores a acometer en referencia a los trabajos eléctricos serán la creación de la red de tierras de la instalación (armarios de control, convertidor, aerogenerador y centro de transformación) y la elaboración de la línea de media tensión.

5.2. Cimentación

Mediante una máquina retroexcavadora se procede al vaciado del terreno que albergará una zapata de hormigón armado con barras corrugadas B-500. Las dimensiones de la zapata serán de 7,4m x 7,4 m x 2,3 m. En el centro de la zapata se colocaría la virola que hace de soporte para la instalación del primer tramo de la torre.

Figura 11. Cimentación. Fuente: Electria.

5.3. Montaje del aerogenerador

Una vez que ya está preparada la fundación, se procedería a montar las distintas partes de la torre. Para ello se puede utilizar una grúa tipo Liebherr 1055, que se caracteriza por una gran maniobrabilidad para transitar por viales irregulares, y que puede alzar un peso entre 8 y 10 t a una altura de 35 metros y una distancia de más de 10 metros.

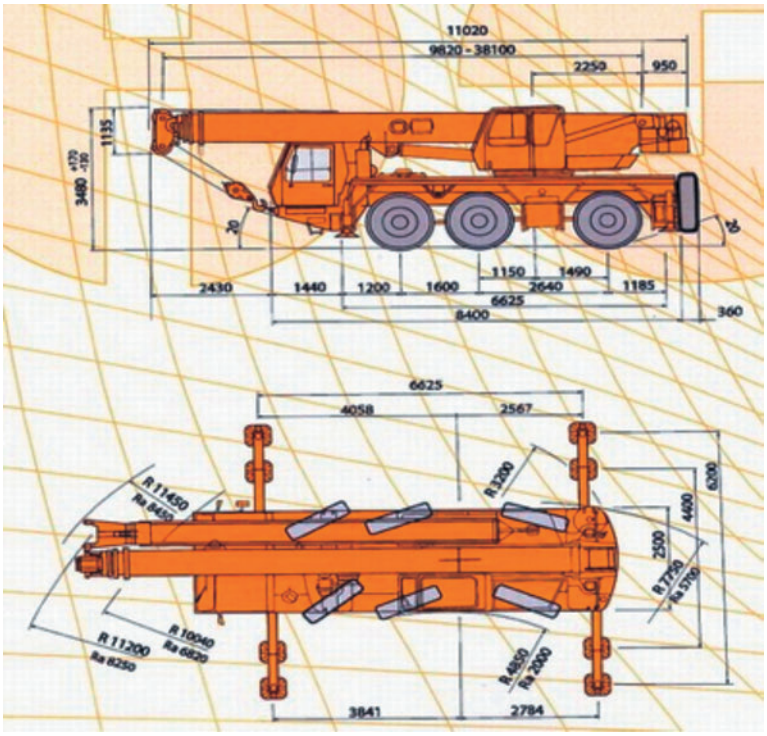


Figura 12. Montaje. Fuente: Electria.

Las tres partes de la torre van atornilladas para lo cual se utilizan equipos de atornillado hidráulico.

Figura 13. Montaje. Fuente: Electria.

Para la colocación de la góndola se utiliza un útil especial para mantenerla horizontal y de este modo poder ensamblarla a la torre tubular.

Figura 14. Montaje. Fuente: Electria.

Finalmente se instalan las palas en el buje y se procede con la grúa a la colocación en la góndola.

Figura 15. Montaje. Fuente: Electria.

7 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

D. Álvaro García
ELECTRIA WIND
www.electriawind.com

1. Introducción. Generalidades

En primer lugar se ha de distinguir entre dos grandes bloques: máquinas accesibles y máquinas no accesibles sin cestas de elevación u otros medios similares.

La anterior división conlleva que, en la mayor parte de los casos, las máquinas accesibles tengan unas potencias comprendidas entre los 0,1 y 20 kW, aproximadamente. Por el contrario, las máquinas no accesibles suelen poseer una potencia que oscila entre los 20 y 200 kW, límite superior que de forma general se establece para la minieólica.

De forma resumida, los componentes principales de un aerogenerador son los siguientes: rotor aerodinámico, generador, multiplicadora, sistema de orientación y sistemas de control y seguridad y otros.

- **Rotor aerodinámico:** compuesto, principalmente, por las palas, el buje, el sistema de pitch, de paso variable o de modificación de ángulo de ataque de pala (si lo hubiera) y la cobertura del buje (también conocida como Spinner).
- **Eje:** transmite la energía cinética del viento desde el rotor al generador, bien directamente (acoplamiento directo o «direct drive») o a través de una multiplicadora.
- **Generador:** transforma la energía cinética del viento (energía eólica) en energía eléctrica. La energía eléctrica generada puede ser en corriente alterna (AC) o en corriente continua (DC), dependiendo del uso al que se vaya a dedicar el aerogenerador, o la potencia del mismo. Es común que los aerogeneradores accesibles (micro-eólicos, con potencias inferiores a 10 kW) generen energía eléctrica en corriente continua ya que suelen estar vinculados a instalaciones aisladas de la red, donde se encuentran sistemas de

regulación de cargas de baterías, inversores (DC/AC) y/o sistemas de bombeo en corriente continua.

- **Multiplicadora:** elemento que adapta la velocidad de giro del eje (la misma que la del rotor) a la del generador. Es frecuente que estén presentes en aerogeneradores de potencia superior a los 10 kW, salvo en los de acoplamiento directo (direct drive).

- **Góndola o Nacelle:** componente en cuyo interior se disponen el generador y multiplicadora, entre otros elementos. Suele estar habilitado para permitir su acceso al interior durante las labores de mantenimiento mediante la retirada total o parcial de su cobertura (carenado) o a partir de puertas o de elementos similares.

- **Sistema de orientación:** permite alinear el aerogenerador con la dirección predominante del viento. En micro-aerogeneradores suele ser frecuente que se utilice una cola, que hace las labores de veleta, mientras que en el resto de casos es convencional que se use un sistema de motor-reductores (sistema de yaw) que aplican el giro sobre una corona dentada soportada sobre el extremo superior de la torre.

- **Sistemas de control y seguridad y otros:** abarcan desde los más sofisticados sistemas de control diseñados conforme a normas internacionales de amplia aceptación (tales como la IEC 61400) hasta sistemas mucho más simples, adaptados específicamente a soluciones de bajo coste. Se incluyen armarios de control y de periferia, interruptores automáticos, fusibles, relés, dispositivos de alimentación ininterrumpida, protecciones frente a descargas de rayos, etc.

- **Torre:** es el elemento que sostiene el aerogenerador y puede tener diferentes alturas en función de las necesidades del propietario y del recurso eólico del emplazamiento donde se ha de ubicar el aerogenerador. A modo de ejemplo demostrativo de lo anterior, para un aerogenerador de 200 kW, podemos tener alturas de torre de 34,3, 39,3 o 53,3 m (*Fuente: Electria Wind, S.L.*). Se ha de distinguir entre dos tipos de torres: auto-soportadas y las mantenidas mediante cables (atirantadas). Las primeras suelen ser las más utilizadas para las máquinas de potencia superior a 20 kW, empleándose torres de celosía, de chapa de acero curvada o plegada, con uniones mediante pernos o soldadura. Por el contrario, el uso de torres atirantadas, a pesar de su bajo coste de instalación, están reservadas casi en exclusiva para la microeólica (<10 kW).

2. Máquinas accesibles (0,1-20 kW)

A continuación, en las Fig. 1 y 2 se recogen algunos ejemplos de máquinas accesibles montadas sobre distintos tipos de torre:

Figura 1. Aerogenerador montado sobre torre de celosía. Fuente: Vélter.

Figura 2. Aerogenerador montado sobre torre atirantada. Fuente: Garbitek.

2.1. Operación

La operación de este tipo de sistemas eólicos suele requerir de la intervención de personal especializado que habrá de haber recibido, de manos del fabricante y/o el instalador, la información relativa a la operación. Es frecuente que este tipo de sistemas operen de forma autónoma sin requerir durante largos espacios de tiempo ningún tipo de intervención.

Este tipo de aerogeneradores suele estar vinculado a instalaciones aisladas de la red eléctrica convencional y, por tanto, suelen incorporar un sistema de regulación de carga de baterías, acumuladores de energía (baterías), inversores DC/AC, entre otros. Por ello, y con ánimo de minimizar las intervenciones del propietario, los sistemas se diseñan de tal manera que funcionen de forma automática, minimizando en lo posible la operación manual.

2.2. Mantenimiento

Tal como se ha mencionado en el apartado anterior, este tipo de sistemas operan de forma autónoma sin requerir de intervención externa salvo en momentos puntuales. Suele ser casi de obligado cumplimiento que las labores de mantenimiento sean llevadas a cabo por personal especializado y que conozca en profundidad el equipo a mantener.

De forma general, hecho que dependerá de cada modelo de aerogenerador, es normal que se hagan inspecciones visuales muy básicas trimestral o semestralmente. En cambio, anualmente se programa un mantenimiento preventivo más exhaustivo pero con un alcance no excesivamente complejo.

El mantenimiento anual de estos equipos se puede resumir en los siguientes puntos que abarcan actividades y requisitos:

- Inspección visual/verificación de:
  - — El estado y limpieza de las palas.
  - — El apriete de tornillos.
  - — El funcionamiento de los mecanismos del sistema de pitch o de paso variable (muelles, resortes, entre otros), en caso de que lo hubiera.

— El estado de engrase de los distintos elementos, especialmente rótulas y engranajes.

— Nivel de aceite de la multiplicadora, si la hubiera. Cambio de aceite cuando proceda.

— Las escobillas, anillos de cobre, limpieza y sustitución de elementos fungibles.

— El sistema de anclaje de la torre al suelo y la Nacelle.

— La conexión de cables, estado de los elementos de protección, etc.

— Tareas de mantenimiento relativas a otros elementos, cuando proceda, tales como: sistemas de regulación de carga de baterías, acumuladores de energía (baterías), inversores, etc.

- Se ha de prestar una especial atención a la aparición de sonidos extraños que hagan pensar en un malfuncionamiento de la maquinaria.
- Los medios necesarios para acometer estas tareas son empresas especializadas con alto grado de conocimiento sobre la máquina a mantener y cestas de elevación, plataformas u otro tipo de sistemas de elevación, en caso de que no exista un sistema de abatimiento de torre.
- Finalmente, a nivel de seguridad, es vital el no realizar ningún tipo de mantenimiento sin haber bloqueado el rotor ni haber desconectado eléctricamente el aerogenerador y se habrá de valorar, en cada caso, si es necesario personal con formación específica para trabajos en altura.

3. Máquinas no accesibles (20-200 kW)

A continuación, en las Fig. 3 y 4 se recoge el detalle de componentes principales de un ejemplo de aerogenerador de 200 kW montado sobre una torre de chapa auto-soportada con uniones empernadas entre tramos:

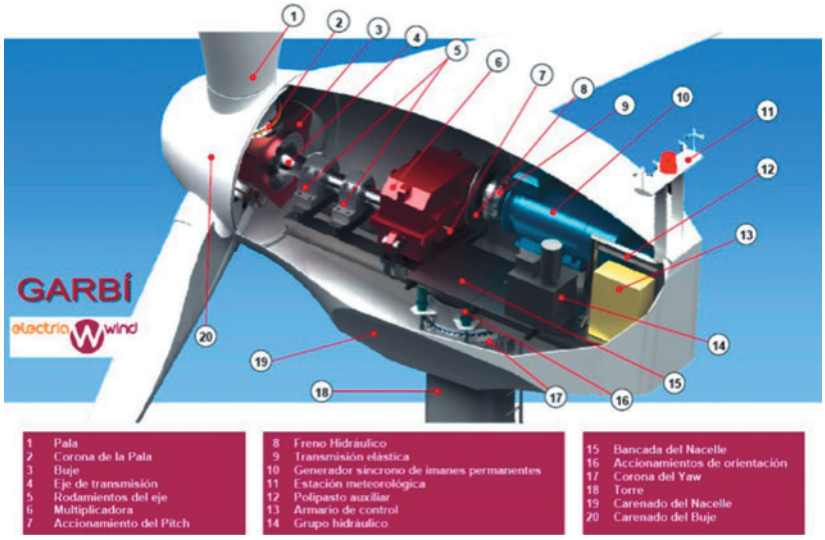


Figura 3. Componentes principales de un aerogenerador de 200 kW, modelo Garbí 200/28. Fuente: Electria Wind, S.L.

Figura 4. Aerogenerador montado sobre torre auto-soportada. Fuente: Electria Wind, S.L.

3.1. Operación

Este tipo de aerogeneradores, a pesar de tener bastantes analogías con sus homólogos de menor tamaño, tienden a asemejarse cada vez más a las grandes máquinas multimegavatio, especialmente cuanta mayor es su potencia. La operación de este tipo de sistemas eólicos suele requerir de la intervención de personal especializado y certificado perfectamente formado para realizar trabajos en altura y tareas muy semejantes a las de la gran eólica. Es frecuente que este tipo de sistemas operen de forma autónoma sin requerir durante largos espacios de tiempo ningún tipo de intervención, pudiendo ser monitorizado su comportamiento de forma remota (vía internet o similar) a través de sencillas aplicaciones. Como ejemplo, en la Fig. 5 se recoge una pantalla del software de monitorización remoto.

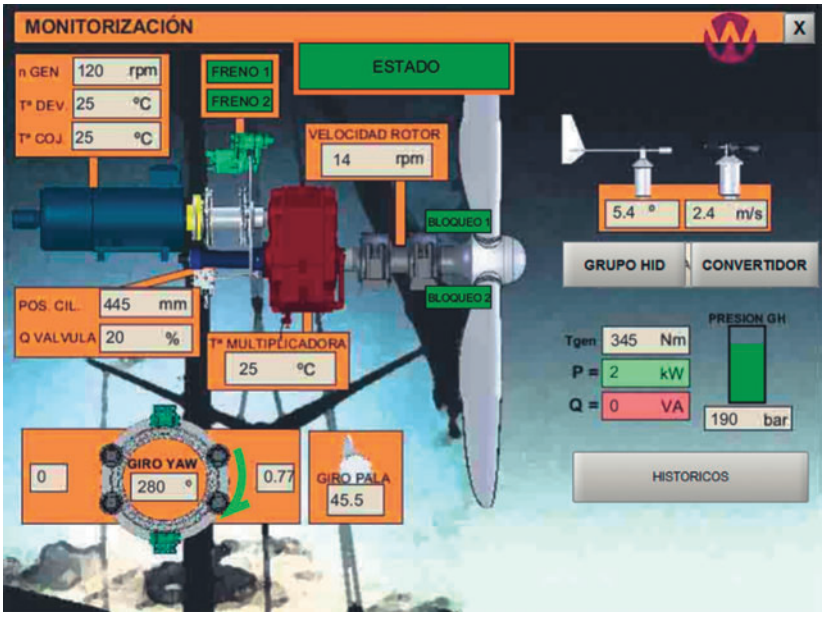


Figura 5. Pantalla de software de monitorización remota del aerogenerador de 200 kW, modelo Garbí 200/28. Fuente: Electria Wind, S.L.

Este tipo de aerogeneradores suele estar vinculado a instalaciones conectadas a la red bien sea en aplicaciones para inyección directa de energía a la misma o el autoconsumo por parte del propietario (medianas industrias, generalmente). Además, con el avance de los sistemas de almacenamiento de energía, cada vez será más común su utilización en sistemas aislados de la red eléctrica convencional.

3.2. Mantenimiento

Este tipo de aerogeneradores requiere de personal especializado y certificado con conocimiento exhaustivo de la máquina a mantener. Requiere de herramientas y maquinarias especiales para poder acometer las distintas tareas de mantenimiento preventivo establecidas en el protocolo del fabricante.

Es frecuente que este tipo de aerogeneradores incorporen sistemas de mantenimiento predictivo que permitan planificar la sustitución de elementos desgastados tales como las pastillas del freno del rotor, entre otros, que, junto con el sistema de monitorización remoto y local o el sistema de alertas (vía SMS o e-mail), permite planificar debidamente las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo.

Además, este tipo de máquinas, especialmente cuando tienen una potencia superior a 100 kW, suelen incorporar tomas de corriente AC para poder alimentar a máquinas eléctricas que han de utilizarse para llevar a cabo las labores de mantenimiento en el interior de la Nacelle.

Para poder acceder al interior de la Nacelle o a las palas se habrá de hacer uso de maquinaria de elevación (cestas o equipos similares) con alcance suficiente como para poder alcanzar la altura de buje más 10 m.

Las intervenciones de mantenimiento preventivo que se han de realizar sobre este tipo de aerogeneradores suelen ser con carácter anual, salvo el primer año, en el que es frecuente hacer también una intervención al tercer y sexto mes desde la puesta en marcha de la máquina.

Desde un punto de vista de seguridad, es vital seguir lo indicado en el manual de operación y mantenimiento del fabricante, evitando situaciones de riesgo o inseguras e innecesarias durante las tareas de mantenimiento. Cada fabricante especificará el método de operación seguro para poder llevar a cabo las distintas labores de mantenimiento dentro de su máquina. A modo de ejemplo, se pueden mencionar las limitaciones meteorológicas (velocidad de viento máxima, entre otras) y la necesidad de ceñirse de forma estricta al plan de seguridad y salud del parque eólico, tal como ocurre con las máquinas multimegavatio.

A continuación se muestra de forma resumida en la Tabla 1 las principales tareas de mantenimiento preventivo de un aerogenerador de 200 kW.

Tabla 1. Principales tareas de mantenimiento preventivo de un aerogenerador de 200 kW, Garbí 200/28. Fuente: Electria Wind, S.L.

TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA AEROGENERADOR DE 200 kW				
REVISIONES		2º	6º	Anual (años)
Multiplicadora	Revisión funcionamiento y visual	X	X	1
	Comprobar par de apriete cilindro-multiplicadora	X	1	
	Comprobar par de apriete bulón de amortiguación	X	1	
Convertidor y mantenimiento eléctrico	Revisión funcionamiento y visual	X	X	1
	Reapriete de conexiones de cables de potencia		X	1
	Comprobación de sensores		X	1
	Comprobación y limpieza de los contactos		X	1
	Cambiar filtro del aire			1
	Limpieza de dispositivos de potencia			1
	Sustituir ventilador de refrigeración			6
	Sustituir los condensadores			10
Generador	Revisión funcionamiento y visual	X	X	1
	Limpieza del generador (que el aire fluya libremente)	X	X	1
	Anotar temperatura de las bobinas	X	X	1
	Comprobar pares de apriete de anclajes		X	1
	Comprobación de apriete de conexiones caja de bornes		X	1
	Re-engrase sólo si fuera necesario		X	
	Re-conexión cables de potencia			1
	Cambio de grasa			1
Acoplamiento elástico	Revisión funcionamiento y visual	X	X	1
	Verificar pares de apriete		X	1
	Sustituir rótulas de goma si grietas > 8 mm			
Motorreductores del sistema del Yaw	Revisión funcionamiento y visual	X	X	1
	Comprobar par de apriete de anclaje a bancada		X	1
	Re-engrase sólo si fuera necesario		X	1
Corona del Yaw	Revisión funcionamiento y visual	X	X	1
	Comprobar par de apriete de anclaje Nacelle-corona		X	1
Pinza de frenado de la corona del Yaw	Revisión funcionamiento y visual	X	X	1
	Limpieza del disco sin aire comprimido	X	X	1
	Comprobar par de apriete de anclaje frenos Yaw		X	1
Freno hidráulico rotor	Revisión funcionamiento y visual	X	X	1
	Limpieza del disco sin aire comprimido	X	X	1
	Comprobar par de apriete frenos de rotor a bancada		X	1
	Comprobación y limpieza del mecanismo eléctrico			1

REVISIONES		2º	6º	Anual (años)
Polipasto	Revisión funcionamiento y visual	X	X	1
	Lubricación de polea y engranajes		X	1
	Regulación limitador y freno		X	1
	Otras según manual del fabricante		X	1
	Comprobar par de apriete del polipasto a bancada		X	1
Eje principal	Revisión funcionamiento y visual	X		1
	Comprobar par de apriete STÜWE		X	1
Rodamientos eje principal	Revisión funcionamiento y visual	X		1
	Descartar fugas de grasa. Engrase	X		1
	Comprobar par de apriete soportes		X	1
	Comprobar par de apriete anclaje a bancada		X	1
Grupo hidráulico	Revisión funcionamiento y visual	X	X	1
	Comprobación y limpieza del intercambiador		X	1
	Comprobar par de apriete anclaje a bancada		X	1
	Comprobar pares de apriete del intercambiador		X	1
Torre, escalera y plataforma	Revisión funcionamiento y visual	X	X	1
	Comprobar pares de apriete		X	1
Buje y sistema de pitch	Revisión funcionamiento y visual	X	X	1
	Comprobar pares de apriete		X	1
Rodamientos de palas	Revisión funcionamiento y visual	X	X	1
	Comprobación de estado de engrase. Re-engrase		X	1
Palas	Revisión funcionamiento y visual		X	1

Finalmente, en adelante se recogen las Fig. 6, 7 y 8, que sirven de ejemplo de algunas de las intervenciones de mantenimiento que se hacen en un aerogenerador de 200 kW.

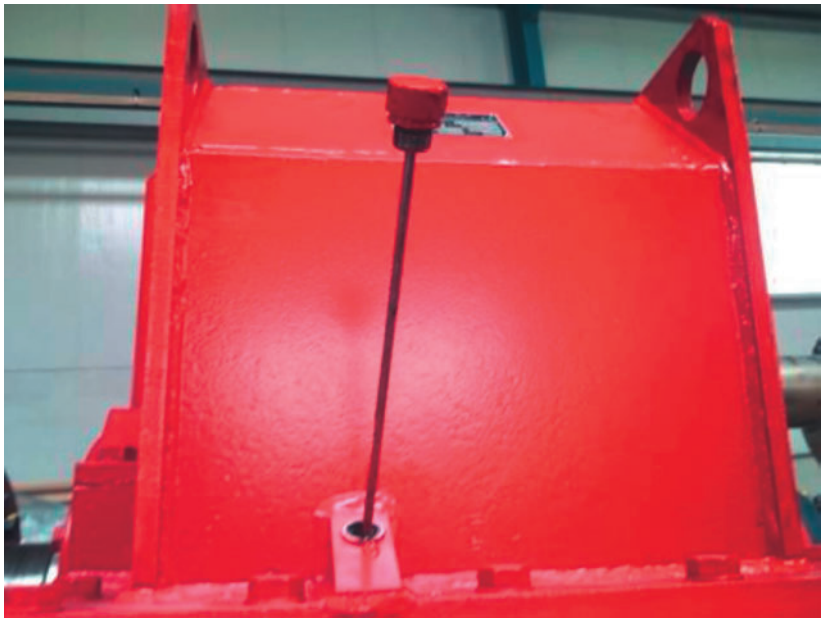


Figura 6. Varilla de comprobación de nivel de aceite de la multiplicadora. Verificación del nivel de aceite. Fuente: Electria Wind, S.L.

Figura 7. Unión del tramo inferior de torre a la virola de la cimentación. Verificación de pares de apriete. Fuente: Electria Wind, S.L.

Figura 8. Centro de transformación. Tareas de mantenimiento del transformador. Fuente: Electria Wind, S.L.

Fundación de la Energía de
la Comunidad de Madrid

Energy Management Agency
Intelligent Energy Europe

www.fenercom.com

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO
IDAE
ahorra energía

Medida de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética para España (2004/2012) puesta en marcha por la Comunidad de Madrid, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).