

IMPACTO ACÚSTICO DE LOS PARQUES EÓLICOS Y SU EVOLUCIÓN

María Ángeles Martín Bravo, Ana Isabel Tarrero, Daniel Bravo, Miguel Copete, Julio González, María Machimbarrena, Laura García

Universidad de Valladolid
maruchi@sid.eup.uva.es ana@sid.eup.uva.es

Resumen

El número de parques eólicos ha crecido en España notablemente en los últimos años, ya que proporcionan energía renovable y no contaminante. En esta comunicación se estudia el impacto que causa este tipo de instalaciones en el medio ambiente desde el punto de vista acústico, y su evolución a lo largo de los años. Para ello se han realizado medidas en tres parques de la comunidad autónoma de Castilla y León con distintas fechas de instalación (años 2000, 2002 y 2006), se han elaborado los mapas acústicos en las inmediaciones y se ha estudiado el espectro de emisión. Los resultados han puesto de manifiesto que el ruido emitido es estacionario, tiene componentes de baja frecuencia principalmente, y el nivel global a pie de aerogenerador en el caso más elevado es menor de 70 dBA. También se ha puesto de manifiesto que los aerogeneradores más antiguos, a pesar de ser de menor tamaño y menor potencia, emiten niveles mayores. Esto permite concluir que a lo largo del tiempo se han mejorado tanto las prestaciones energéticas como las acústicas.

Palabras-clave: ruido de aerogeneradores, mapas acústicos en parques eólicos.

Abstract

The amount of wind power plants has increased considerably over the last years in Spain, since it provides clean and renewable energy. The purpose of this paper is to study the environmental effect of such power plants from an acoustics point of view, and how this has evolved over time. We have performed acoustics measurements in three different wind power plants built in the Castilla y León community in different years (2000, 2002 y 2006). We have performed the acoustics map of the surroundings and we have studied the emission spectrum. From the experimental results it can be seen that the emitted noise is basically stationary and that the global level (LwA) standing at the bottom of the aero generator remains below 70 dBA. It has also been observed that the oldest installations have higher noise emissions in spite of their smaller size and power capacity. This leads us to the conclusion that both energetic and acoustic performance of wind power plants installations have improved over the last years.

Keywords: noise aero generator, noise map power plants.

1 Introducción

Actualmente, la preocupación del hombre por las reservas energéticas va en aumento, no sólo por la mayor dificultad de encontrar recursos que sean relativamente baratos, sino también por los primeros síntomas de un cambio climático en la Tierra, debido a las emisiones contaminantes provocadas principalmente por derivados de ciertas fuentes de energía no renovable. Estas razones han originado que se comiencen a usar de forma más extendida nuevas fuentes energéticas renovables y no contaminantes, como es el caso de la energía eólica.

La energía eólica es una de las fuentes más baratas y puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas como las centrales térmicas de carbón (considerado tradicionalmente como el combustible más barato). Esto lleva a un creciente interés del hombre por este tipo de energía renovable y ha creado un auténtico “boom”, haciendo que se multipliquen los parques eólicos en toda España así como los estudios relacionados con la mejora de éstos.

Pero se plantea el problema del impacto acústico que pueden causar los parques eólicos, y de cómo pueden afectar a la población de sus inmediaciones. Basándonos en la indicaciones de la Directiva Europea [1] y tomando como referencia los trabajos realizados en [2], [3],[4] Y [5], con este estudio se pretende analizar, valorar, evaluar y proponer acciones de control sobre el impacto acústico-ambiental que pueden causar los aerogeneradores, basándose en una serie de resultados obtenidos a partir de mediciones “in situ” en diversos parques eólicos, además de estudiar la evolución temporal de los aerogeneradores desde el punto de vista acústico.

Para ello, se ha analizado y evaluado el impacto acústico-ambiental de los aerogeneradores de diversos parques eólicos, elegidos de forma que comprendan todo el periodo desde los inicios de instalación en Castilla y León hasta los más modernos, para poder hacer una posterior comparativa y sacar resultados concluyentes. Además se evalúa el tipo y el nivel de ruido producido a partir de los espectros de ruido obtenidos, para valorar el efecto que pudiera tener en la zona y en la población más cercana.

También se valorará a partir de las medidas realizadas, la composición espectral del ruido producido, y se realizará una representación en forma de mapas isofónicos que permita observar la distribución de los niveles sonoros y la influencia tanto de la orografía como de la velocidad y dirección del viento.

1.1 Componentes de un aerogenerador

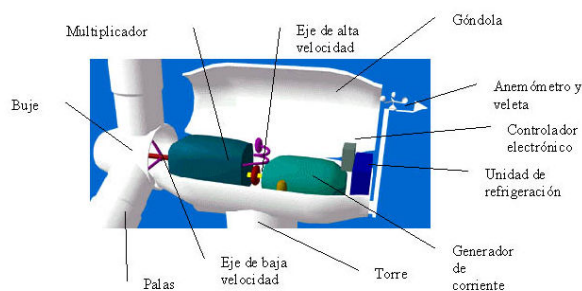


Figura 1- Componentes de un aerogenerador

En la figura 1 se muestra un breve esquema de los principales elementos que componen un aerogenerador: Rotor, góndola, torre y cimentación. El rotor está compuesto por las palas y el buje. Las palas capturan el viento y transmiten su potencia hacia el buje. El buje sirve de unión entre las palas y la góndola, se encarga de transmitir el movimiento de las palas a la góndola. La góndola contiene los componentes claves del aerogenerador: caja multiplicadora, sistema de frenado, sistemas de orientación, ejes de alta y baja velocidad, generador de corriente,

controladores electrónicos, veleta y anemómetro.

En la actualidad, prácticamente todos los aerogeneradores se construyen con torre tubular metálica, constituida por tramos de 20-30 m con bridas atornilladas o incluso, los nuevos modelos, llevan un montacargas para el acceso a la parte superior de operarios y material. La cimentación de un aerogenerador es principalmente función de sus dimensiones y de las características geotécnicas del terreno.

El emplazamiento de los parques eólicos debe elegirse adecuadamente para garantizar su viabilidad y asegurar un buen rendimiento una vez instalados. Los bosques y las grandes ciudades ralentizan mucho el viento, mientras que las pistas de hormigón de los aeropuertos sólo lo ralentizan ligeramente. Las superficies de agua son incluso más lisas que las pistas de hormigón, y tendrán por tanto menos influencia sobre el viento, mientras que la hierba alta y los arbustos ralentizan el viento de forma considerable. El aerogenerador se parará automáticamente si la velocidad del viento excede de 25 m/s, con el fin de proteger a la turbina y sus alrededores.

La interacción entre el flujo de aire atmosférico y el rotor de un aerogenerador da lugar a un campo fluctuante de presiones. Características tales como la turbulencia del flujo, la geometría del rotor y el acabado superficial de las palas que lo componen influyen en tales fluctuaciones de presión. Ese campo fluctuante de presiones se caracteriza por presentar un determinado espectro, pudiendo aparecer componentes espectrales dentro del rango audible, hablándose entonces de emisiones acústicas. Así mismo, el sistema de orientación del aerogenerador y la caja multiplicadora también constituyen fuentes de ruido.

Las emisiones acústicas en un aerogenerador pueden tener dos orígenes: ruido mecánico y ruido aerodinámico.

El ruido mecánico está producido por componentes metálicos moviéndose o chocando unos contra otros, debido a las duras condiciones que deben soportar estas máquinas, que se encuentran siempre expuestas a todo tipo de inclemencias meteorológicas. Los avances en ingeniería han hecho que el ruido mecánico no sea un problema.

El ruido aerodinámico se produce cuando el viento choca contra diferentes objetos a una cierta velocidad. La búsqueda de palas más silenciosas continúa, pero la mayoría de los beneficios de esta investigación repercuten en un aumento de la velocidad de giro y en un aumento de la producción de energía, ya que en general el ruido no constituye un problema en sí mismo.

2 Metodología

Para realizar el trabajo se seleccionaron 3 parques eólicos con diferentes tipos de aerogeneradores que abarcasen un periodo de tiempo que permita analizar su evolución tecnológica. Las características principales de los parques estudiados se recogen en la tabla 1.

Tabla 1: Características principales de los parques estudiados

Parque eólico	Municipio	Fecha de instalación	Modelo aerogenerador	Número aerogeneradores	Potencia Unitaria(kW/h)	Potencia total (MW/h)
“El Pical”	Barruelo de Santillán (Palencia)	Enero de 2000	Gamesa G-47	31	660	20,5
“Carrasquilla”	Pedrosa del Príncipe (Burgos)	Febrero de 2002	Gamesa G-52	58	850	49,3
“El Peru”	Villadiego (Burgos)	Junio de 2006	Ecotécnia G-80	32	1670	53,5

En cada parque se buscó la mejor alineación posible de los aerogeneradores, evitando otras fuentes sonoras e irregularidades orográficas. Se estimaron las distancias entre puntos de medida suficientes para apreciar un descenso en el nivel sonoro global (25 m) y la distancia máxima de influencia de la fuente (200 m).

Para la distribución de puntos de medida se dibujó sobre el terreno un mallado de puntos, figura 2, consistente en líneas perpendiculares a cada alineación de aerogeneradores estudiada, distanciadas cada 25 m, hasta una distancia de 200 m desde la alineación correspondiente. A partir de esta distancia el nivel sonoro medido se mantenía constante (para valores iguales de velocidad del viento) a pesar de que aumentase la distancia. Esto nos indica que a partir de esa distancia los niveles sonoros registrados se deben principalmente al viento y no influye el ruido emitido por los aerogeneradores, y sus emisiones acústicas quedan enmascaradas por el ruido producido por el viento.



Figura 2- Mallado con los puntos de medida

En los extremos de las alineaciones de los 3 parques, para obtener una mejor representación, se consideraron dos líneas en ángulo de 45° respecto a la alineación correspondiente, además de una línea en la misma dirección de la alineación, figura 2. En cada punto se realiza una medida de distintos parámetros acústicos (L_{eq} , L_{max} , L_{90} ,...) y de la velocidad media y máxima del viento, durante 1 minuto.

3 Resultados

Los resultados de este trabajo se presentan en tres apartados que exponemos a continuación.

3.1 Espectro

En la figura 3 se representa el nivel equivalente (Leq) en 1/3 de octava y el nivel global, en dB y en dBA, medido en cada uno de los parques a 1,5 m de distancia de la torre de cada tipo de aerogenerador, para observar el espectro de emisión producido por las máquinas en sus cercanías y los niveles a los que podría estar expuesto un operario del parque durante las tareas de reparación o mantenimiento.

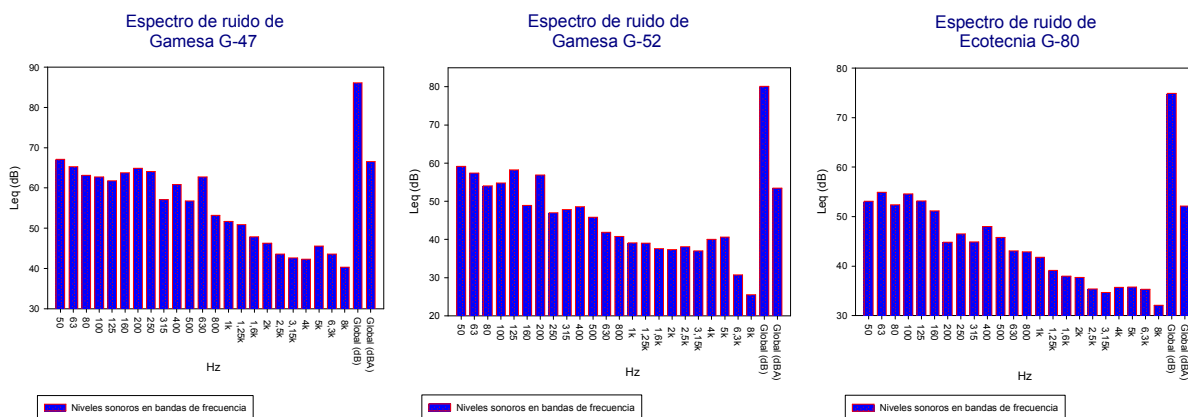


Figura 3: Espectro de ruido de los distintos modelos de aerogeneradores (año de instalación: 2000, 2002 y 2006 respectivamente)

Las gráficas de la figura 3 dan una idea de la distribución frecuencial del sonido producido por los aerogeneradores estudiados. Los tres modelos tienen un espectro de ruido caracterizado por componentes de baja y media frecuencia que hace que exista gran diferencia en el nivel global según que se mida en dB o en dBA. La componente de baja frecuencia es relativamente importante, al haber niveles altos en bandas de frecuencia por debajo de 160 Hz. También se observa que carecen de componentes impulsivas y tonos puros al no destacar ninguna banda sobre sus adyacentes. El modelo *Gamesa G-47* es el aerogenerador que tiene niveles mayores en todas las bandas, es el modelo más antiguo de los tres y pertenece al parque con más años de funcionamiento. La comparación resulta más sencilla si los resultados se representan en una sola gráfica, figura 4, en la que se ponen de manifiesto las diferencias y similitudes en el espectro de ruido medido en cada parque.

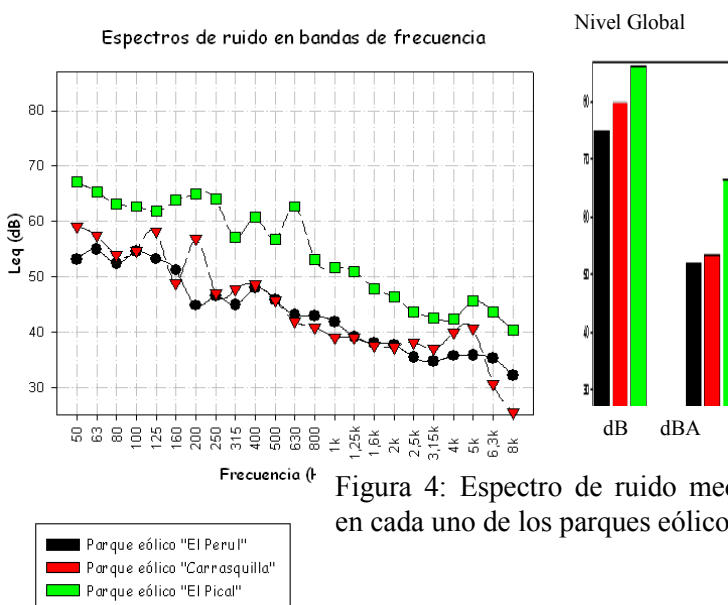


Figura 4: Espectro de ruido medido en cada uno de los parques eólicos

Al hablar de *contaminación sonora* es común aludir sólo a sonidos audibles, considerados entre 50 y 15000 Hz aproximadamente, pero se deja de lado a los de muy baja frecuencia, al ser prácticamente indetectables por el oído humano. Estos sonidos de baja frecuencia que apenas son detectados por el oído, influyen de manera considerable en la salud y calidad de vida del ser humano, agudizándose por el efecto de vibración que produce.

A los sonidos de baja frecuencia se les suele llamar “*estresores de fondo*” porque forman parte integral del ambiente diario del individuo, sin que éste sea capaz de detectar sus efectos. Parece ser que el impacto de estos estresores crónicos es acumulativo y el ser humano experimenta un gradual deterioro, del rendimiento cognitivo y de su calidad de vida.

Si la exposición a sonidos de muy baja frecuencia es continuada y los niveles son importantes aunque no se perciban, pueden afectar al sistema cognitivo, cardíaco y respiratorio. Esto es más acusado si los sonidos son de muy baja frecuencia, entre 10 y 40 Hz.

Una forma de minimizar este ruido de baja frecuencia, generalmente producido por la circulación del aire sobre obstáculos como la torre, el buje o las palas, es colocar el rotor a barlovento o “aguas arriba” para evitar la interacción que se puede producir entre las palas y la torre cuando posicionamos el rotor a sotavento o “aguas abajo”; pero lo mejor es actuar en el diseño de la máquina en el periodo de proyecto, antes de su implantación en el parque.

El viento es un gran condicionante para que se produzcan niveles de ruido elevados en las inmediaciones del parque, la mayor parte del ruido producido en el aerogenerador es ruido aerodinámico producido por el movimiento de la hélice y las palas chocando contra el viento. Esto significa que cuanto mayor es la velocidad del viento, mayor es el nivel de emisión de ruido aerodinámico del aerogenerador, ya que éste aumenta con la velocidad en punta de pala y la velocidad de rotación. Los aerogeneradores en los tres parques analizados, tienen una hélice tripala, lo cual es una ventaja en cuanto a los posibles niveles de emisión de ruido ya que si fueran de dos palas operarían con velocidades de punta de pala muy superiores a los de tres palas, con el consiguiente aumento de ruido aerodinámico producido y serían mucho más sensibles a las vibraciones.

3.2 Mapas de distribución sonora

A continuación se presentan los mapas de distribución sonora en el área acústica en las inmediaciones de la alineación de cada parque. Se dibujan a través de líneas isofónicas a 1,5 metros del suelo. Se han obtenido mediante medidas “in situ” y se han dibujado a través de coordenadas que representan la distancia en metros respecto del primer aerogenerador. Han sido realizados con el software de tratamiento gráfico Sigmaplot 10.0 asignándole niveles de ruido medidos en las coordenadas adecuadas. Este tipo de mapas darán idea del ambiente sonoro en la zona estudiada

a) Parque el Perul,

b) Parque Carrasquilla

c) Parque el Pical

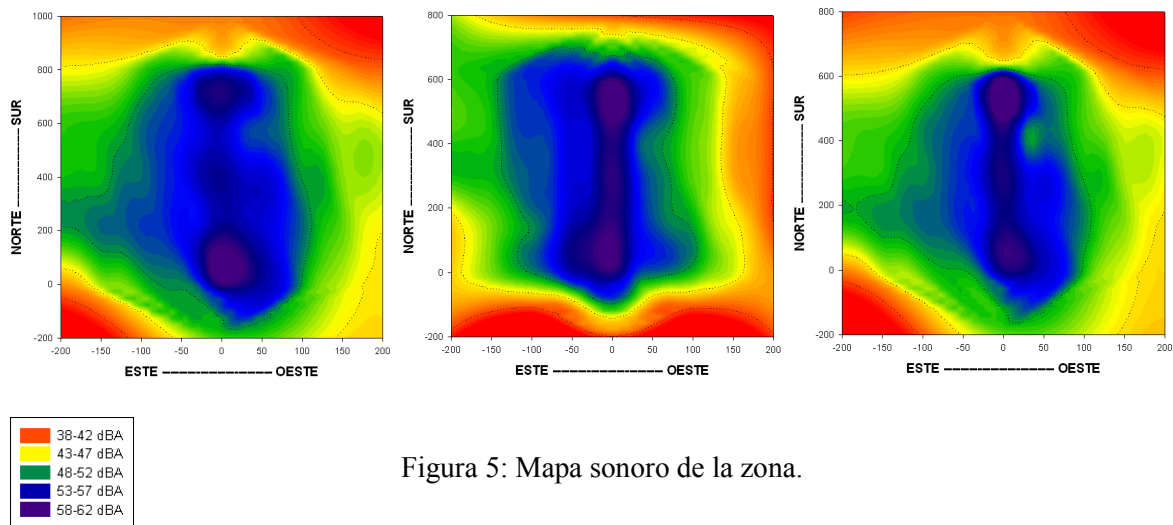


Figura 5: Mapa sonoro de la zona.

En la figura 5 a) se observa la disposición de la alineación de aerogeneradores (la zona con los niveles más altos, representados en morado y azul oscuro), y cómo a medida que nos alejamos de éstos va disminuyendo el nivel de ruido obtenido, siendo más acusado a barlovento o “aguas arriba” que coincide con el Oeste geográfico en la primera gráfica.

En la figura 5b) la dirección del viento era Noroeste haciendo que aumentaran los niveles sonoros “aguas abajo” y además se pone de manifiesto la presencia de un desnivel en el extremo norte haciendo que las líneas isofónicas sean más próximas entre sí y apareciendo niveles sonoros más bajos en esa parte del mapa.

En el caso representado en la figura 5c) los niveles sonoros obtenidos son superiores. Se aprecia también la influencia de la dirección del viento, que en este caso tenía dirección Oeste. Otro dato que se puede extraer es que en la zona Sur la pendiente de la montaña era pronunciada lo cual implica curvas de nivel estrechas, justo al contrario de lo que ocurre en la zona Norte, donde la presencia de otros aerogeneradores hace que los niveles sonoros no caigan tan rápido.

Las tres gráficas anteriores ponen de manifiesto que el área acústica correspondiente al parque eólico “El Pical”, figura 5c) es el que causaría mayor grado de molestia ya que es el que mayores niveles sonoros tiene, aunque ninguno de los tres es especialmente ruidoso.

3.3 Modelización de la fuente sonora

El último paso fue modelizar este tipo de fuente de ruido con dos modelos de fuente ideal como son: la fuente puntual y la fuente lineal.

Idealmente el nivel sonoro producido por una fuente decrece con la distancia. Si la fuente es puntual la expresión es: $L_{puntual} = 20\log(R/R_{min})$ y para una fuente lineal $L_{lineal} = 10\log(R/R_{min})$ Siendo R la distancia a la fuente y R_{min} la distancia de referencia, que en este caso se ha tomado como la mínima distancia de medida al aerogenerador (25 m).

Estas expresiones no tienen en cuenta los diversos factores de atenuación (tipo de suelo, atmósfera, posible vegetación,...)

Calculando la atenuación con la distancia, de una fuente lineal y una fuente puntual de forma teórica, se puede comparar con la de nuestras fuentes (datos obtenidos en las mediciones), figura 6.

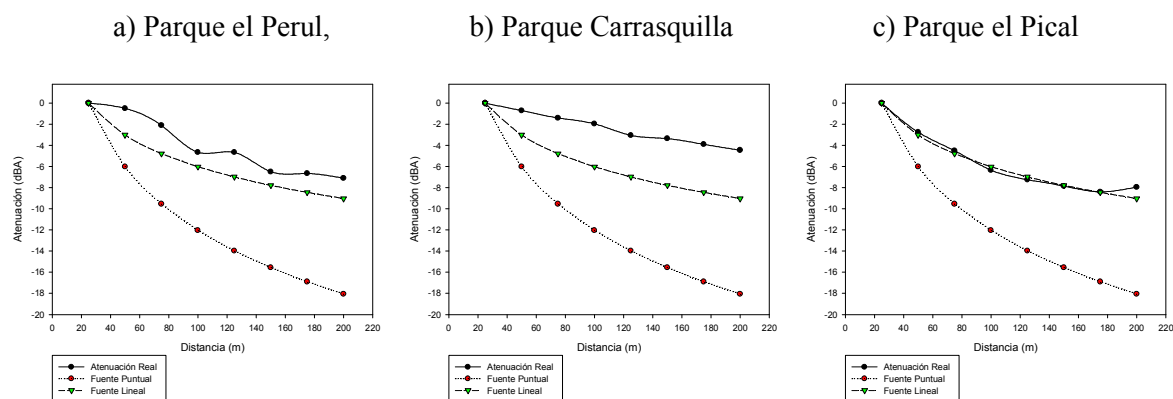


Figura 6 : Comportamiento de los aerogeneradores como fuente puntual y fuente lineal

En la figura 6 a) se observa que los aerogeneradores del parque “El Perul” se aproximan al modelo de atenuación de una fuente lineal ideal ya que, aunque cuantitativamente no coinciden, cualitativamente sí.

En la figura 6 b) se observa una situación similar a la anterior pero con mayores diferencias entre los valores medidos y los calculados. Por tanto, también los aerogeneradores del parque “Carrasquilla” se aproximan al modelo de atenuación de una fuente lineal ideal cualitativamente aunque no coinciden cuantitativamente. En la figura 6 c) la atenuación real es casi similar a la de una fuente lineal ideal (este parque se encuentra rodeado de un bosque tupido con abundantes árboles y vegetación que actuaban de barrera acústica natural y hacía que la velocidad del viento fuera menor a la altura del sonómetro y del anemómetro).

Podemos decir por tanto que los aerogeneradores se asemejan más a un modelo de fuente lineal que puntual.

Estas máquinas vienen especialmente diseñadas para que su emisión acústica sea mínima sin reducir la eficacia y el rendimiento de la actividad para la que han sido diseñadas. Se puede actuar sobre la fuente para reducir el ruido de origen mecánico, de origen aerodinámico y de origen magnético. Por ejemplo, colocando material absorbente delante de los ventiladores de la parte del rotor se puede reducir el ruido generado por el mismo, actuando de silenciador.

También se podría actuar sobre el medio de propagación con algún tipo de barrera acústica como los árboles, que actuarían de barrera natural. El inconveniente es que si su altura es grande, afectarían a la velocidad del viento y disminuiría el rendimiento y la productividad de los aerogeneradores. La efectividad de este tipo de barreras es sobre todo a altas frecuencias [6]. Cuanto mayor sea la densidad de los árboles y más cerca estén de la fuente, mayor será la atenuación producida por ellos.

En caso necesario se pueden aplicar las medidas de control sobre el receptor, la protección auditiva y la reducción del tiempo de exposición del trabajador afectado. Aunque a la vista de los niveles producidos no sería necesario aplicar estas medidas al trabajador.

4 Conclusiones

Analizando los resultados obtenidos en este trabajo podemos obtener las siguientes conclusiones

- El ruido procedente de este tipo de máquinas no es excesivamente elevado, tanto en nivel global (se obtienen valores menores de 70 dBA a pie de aerogenerador en el caso del *Gamesa G-47*, el más ruidoso) como en el rango de frecuencias audible, con lo cual no ocasionaría problemas de salud importantes si la exposición al ruido no es prolongada.
- Los resultados espectrales del ruido producido por los aerogeneradores muestran que, en general, se trata de un ruido en el que predominan las bajas y medias frecuencias, resultando un sonido fundamentalmente en el rango de las frecuencias graves.
- En los tres casos de parques estudiados, los aerogeneradores están diseñados para que se autocoloque el rotor a barlovento o “aguas arriba”, de tal forma que se minimizan los ruidos de baja frecuencia, evitando la interacción que se produce entre las palas y la torre.
- Los resultados de la *modelización de la fuente sonora*, muestran que los aerogeneradores se aproximen mejor al comportamiento de una fuente lineal que puntual.
- La evolución de los aerogeneradores con el paso de los años, tanto en su diseño, como en su implantación, ha mejorado, y da mejores prestaciones en cuanto a rendimiento y en cuanto a menor impacto acústico.
- Los pueblos más próximos a los parques eólicos analizados y que pudieran resultar más susceptibles de sufrir “*contaminación acústica*” debida al ruido de los aerogeneradores, se encuentran a una distancia superior a 400 metros, con lo que en los casos analizados los aerogeneradores no producen efectos de contaminación acústica en la población.

Como conclusión general podemos decir que ha habido una evolución con el tiempo, tanto de las prestaciones energéticas como de las acústicas, debido principalmente a la inversión en investigación en este campo, a que han surgido empresas dedicadas en exclusiva a este sector y a la mejor formación del personal para el mantenimiento de los aerogeneradores.

5 Discusiones

El aumento espectacular de la energía eólica como fuente de electricidad en todo el mundo, y con mayor relevancia en los países desarrollados, ha destapado nuevas necesidades para el desarrollo del sector. Esto se traduce en nuevas tecnologías y fuertes inversiones para la investigación y el desarrollo del sector, un ejemplo claro es el Centro Nacional de Energías Renovables (CENER) instalado en Sangüesa (Navarra, España). El CENER constituye lo que será el más complejo laboratorio de ensayo de aerogeneradores de los existentes hasta ahora en el mundo. Allí se pretende ensayar, entre otros, las nuevas palas de más de 100 metros y los mástiles proporcionales a su altura. Entre las pruebas que se realizan destaca la de caracterizar las propiedades físicas y hacer ensayos estáticos y de fatiga de las nuevas palas que podrán medir entre 3 y 6 metros de anchura y 5.000 y 12.000 kilos de peso cada una.

Otro de los proyectos importantes consiste en la investigación en materiales, sobre todo los destinados a las palas. Estas se podrían fabricar con fibra de vidrio y resina epoxi o con fibra de carbono. La última opción aunque presenta problemas como el aumento del precio y la conductividad de este material (presentando problemas en caso de tormentas), reduce mucho el peso y alarga la vida útil de las palas. Este centro también cuenta con laboratorios para el ensayo del tren de potencia, bancadas para ensayo de góndolas, túnel del viento y un laboratorio de materiales compuestos. Así como un parque eólico experimental para que las empresas puedan probar sus prototipos y certificarlos.

La tecnología avanza a pasos agigantados y en el mundo de los aerogeneradores no lo es menos. Otras líneas futuras más centradas en la mejora del impacto acústico ambiental de este tipo de instalaciones pueden ser las siguientes:

- Mejora en el desarrollo del diseño interno del aerogenerador consiguiendo mejores resultados en cuanto a menores emisiones acústicas, no sólo del ruido aerodinámico, sino también del ruido de origen magnético y mecánico.
- La instalación de mayor número de parques eólicos marinos, destacándose este como un sector de creciente interés, debido a la mayor producción de este tipo de parques y a la posible utilización de aerogeneradores de mayor tamaño y potencia generada.

Agradecimientos

A todas las personas que nos han permitido y nos han facilitado la realización de las medidas en los tres parques eólicos estudiados.

Referencias

- [1] Directiva 49/2002/CE sobre “evaluación y gestión de ruido ambiental
- [2] Martínez, J.; Ferri, M.; Alba, J.; Ramis, J.; García, J. Evaluación Acústica Medioambiental del Parque Eólico la Cuerda. Escuela Politécnica Superior de Gandía.

- [3] Cueto Tadeu, A.; Amado Mendes, P.; Antonio J. 3D Elastic wave propagation modelling in the presence of 2D fluid-filled thin inclusions. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, Vol. 30(3), 2006, pp. 176-193.
- [4] Cataldo J., Gutiérrez A., Impacto acústico de un aerogenerador en ambiente urbano,
- [5] Cueto Ancela, J.L., rivas Calvete, S., Hernández Molina, R., Metodología para la evaluación del impacto sonoro producido por los parques eólicos en Andalucía. *Tecniacústica*, Gandía 2006
- [6] “Propagación del sonido en bosques. Análisis comparativo de las medidas in situ, en laboratorio y de los valores predichos por un modelo”. Tarrero Fernández A. Biblioteca virtual “Miguel de Cervantes”. www.cervantesvirtual.com

<http://www.cener.com> “Fundación CENER CIEMAT, Centro Nacional de Energías Renovables”

<http://www.energiasrenovables.ciemat.es> “Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas del Ministerio de Educación y Ciencia”

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

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

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