

EL AYER Y EL HOY EN LA PRECISIÓN DE LOS ESTUDIOS ACÚSTICOS DE PARQUES EÓLICOS

S. Pedersoli¹, M. Machimbarrena², R. Sorribas Panero³

¹Dpto. Física Aplicada, ETS Arquitectura

Av. Salamanca s/n, 47014 Valladolid España

e-mail: ¹architecturalacoustics.ste@gmail.com ²mariao@opt.uva.es

³Laboratorio de Tecnología Acústica de Crivasa

c/ Turquesa 35, 47012 Valladolid España

e-mail: rsorribas@crivasa.com

Resumen

El proyecto persigue valorar la exactitud de los resultados proporcionados por los programas predictivos empleados en el estudio de impacto acústico de parques eólicos en su fase pre-operacional. Para un parque elegido como caso de estudio, se realiza un análisis comparativo entre los resultados obtenidos con un sistema de cálculo propio elaborado en base a la norma ISO 9613 y dos versiones, publicadas en años diferentes, de un software de evaluación del ruido en exteriores elegidas para confrontar los métodos predictivos empleados actualmente con los disponibles hace unos años. Se validarán los modelos empleados con una campaña de mediciones “in situ” comparando los valores calculados y medidos de niveles globales y componentes frecuenciales para estimar sus grados de precisión. Con el trabajo se vuelve a evaluar el parque eólico después de unos años de funcionamiento valorando eventuales alteraciones en el espectro de potencia sonora de las turbinas.

Palabras-clave: ruido ambiental, impacto acústico, parques eólicos, ISO 9613, software predictivo.

Abstract

This paper aims to evaluate the accuracy of the results obtained by noise predictive programs used in the study of the acoustic impact of wind farms in its pre-operational phase. For a wind farm selected as a model due to its topographic characteristics common to other examples, a comparative analysis was conducted between the results obtained with a manual calculation model based on ISO 9613 and, two versions, published in different years, of the same outdoor noise calculation program chosen to confront predictive methods currently employed with the ones available few years ago. Those models have been validated with some environmental measurements campaign by comparing calculated and measured values of global levels and frequency spectrum in order to estimate the accuracy of the prediction software applied. The project also gives the possibility to revalue the wind farm a few years after and thus assess possible changes of turbines sound power level and its noise impact.

Keywords: ambient noise, acoustic impact, wind farms, ISO 9613, predictive software.

PACS no. 43.50.Rq, 43.50.Sr

1 Introducción

La energía eólica constituye una fuente de energía atractiva porque es inagotable, no contamina y su tecnología de aprovechamiento parece ser completamente madura. Sin embargo sigue teniendo una escasa aceptación entre la población que reside en la cercanía de parques eólicos por el impacto ambiental que comportan estas instalaciones. La causa principal de los factores negativos es la naturaleza misma del aire que, teniendo un peso específico pequeño no transmite fácilmente la energía obligando a fabricar máquinas de gran tamaño para aumentar el área de captación del viento. La envergadura de las partes de un aerogenerador, además de encarecer su producción y dificultar su instalación, produce un impacto visual inevitable alterando la estética del paisaje, crea riesgos de mortandad entre la avifauna y puede producir molestias por el ruido generado por su funcionamiento.

Un estudio [1] elaborado sobre poblaciones cercanas a algunos parques eólicos, ha demostrado que los aspectos más críticos son los relacionados con el impacto visual y el ruido y que el segundo factor afecta a menos personas que el impacto visual, pero de manera más molesta.

Tabla 1 – porcentaje de personas que sufren diferentes molestias provocadas por un parque eólico

molestia	vibraciones	sombras en interiores	sombras en exteriores	movimiento aspas	impacto visual	ruido aspas
no percibido	90	69	65	52	43	65
percibido, no molesto	6	14	20	29	30	9
ligera molestia	3	11	9	10	14	9
molestia grave	1	3	2	5	7	7
molestia severa	0	3	4	4	6	10

El empleo de nuevos materiales y técnicas constructivas ha llevado en los últimos años la industria eólica a la construcción de aerogeneradores de mayores dimensiones. En un futuro cercano se espera que puedan aparecer modelos de 150 m de diámetro por una potencia nominal de 10 MW aunque la técnica es bastante madura como para poder llegar a rotores de 250 m [2]. Siguiendo la directriz dibujada en el gráfico de la figura 1 elaborada por un estudio [3] para relacionar el diámetro de las turbinas con su potencia sonora, cabe esperar que en futuro el aumento de las dimensiones de los aerogeneradores pueda venir acompañado por el constante incremento de sus emisiones sonoras.

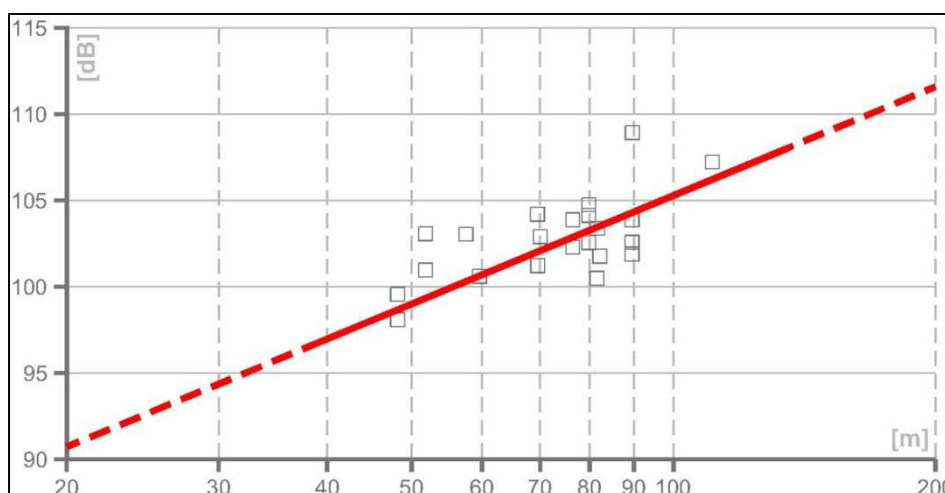


Figura 1 – comparativa entre diámetro del rotor y la potencia sonora de las turbinas

2 Mecanismos de emisión sonora en las turbinas eólicas

La cuantificación del impacto acústico de un aerogenerador se especifica indicando su nivel de potencia sonora, una medida de la energía acústica radiada por la fuente expresada en función de la frecuencia en bandas de octava. El valor global de emisión sonora de una turbina eólica se debe a las contribuciones del ruido mecánico originado por el movimiento de las partes de la máquina y el ruido aerodinámico debido a las turbulencias creadas en el aire por la rotación de las aspas [4] [5] [6] [7]. Mientras que la componente mecánica en los últimos años ha disminuido notablemente gracias a mejoras técnicas, el ruido aerodinámico sigue siendo un problema de difícil solución en fase de diseño, tanto que representa la componente principal del ruido producido por un aerogenerador moderno. Un estudio sobre los focos sonoros en un aerogenerador [8] ha demostrado que el ruido debido a las aspas se genera mayoritariamente durante la fase descendente de la rotación en una zona más distante del centro con el aumentar de la frecuencia debido al diferente tamaño de los vórtices generados. Se ha evidenciado la variación de estas zonas con el cambio del ángulo de incidencia del viento respecto al plano del rotor. En una segunda medición de la emisión sonora de las aspas en tres diferentes condiciones (limpia, sin tratar y desgastada) los espectros promediados de las mediciones muestran claramente que la hoja dañada es más ruidosa que las demás.

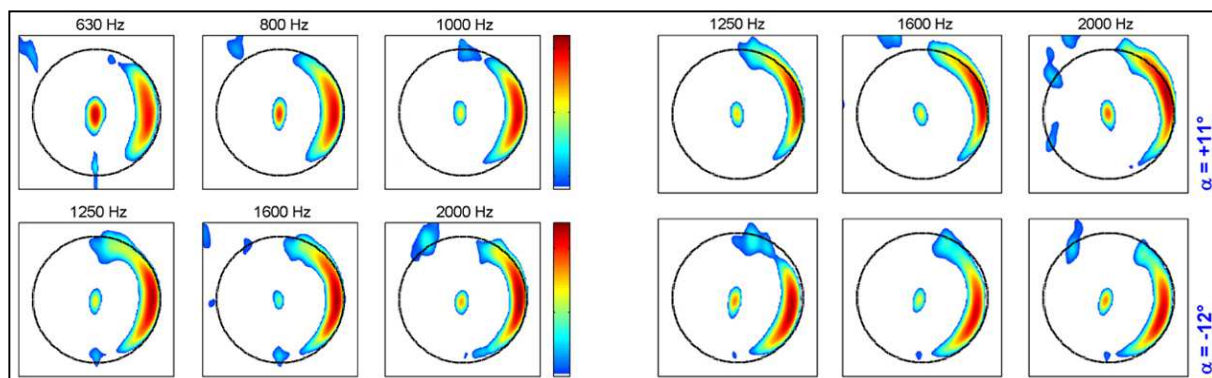


Figura 2 – fuentes de ruido en el plano del rotor (izq.) y variación con la incidencia del viento (dcha.)

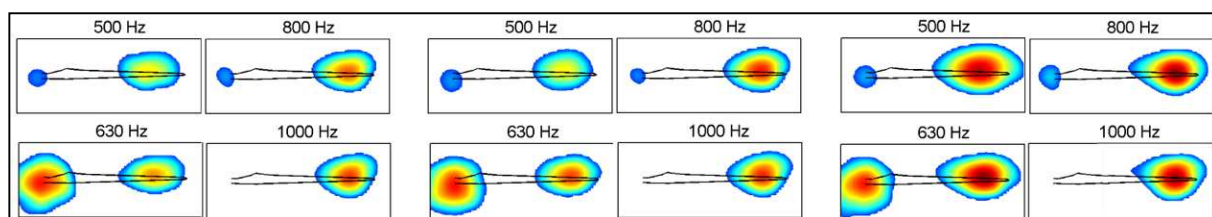


Figura 3 – fuentes de ruido según el estado del asa: limpia (izq.), normal (cen.) y desgastada (dcha.)

Un ensayo análogo, [9] presentado en la figura 4, ha evidenciado cómo en una turbina de mayor potencia el área de emisión se extiende a casi todo el círculo dibujado por el rotor, aunque sigue manteniéndose como área más ruidosa el tramo de movimiento descendente. El ruido mecánico en este caso es inferior que en el anterior y aparece un efecto de reflexión producido por las aspas en correspondencia de la torre. Con estas premisas, un reciente estudio [10] ha cuantificado la mayor emisión sonora del tramo más externo de las palas. Un último artículo [11] finalmente ha demostrado cómo varía el impacto sonoro de una turbina eólica sobre el terreno dibujando una curva de directividad del aerogenerador en la cual se evidencia una mayor emisión sonora en las direcciones perpendiculares a los planos de rotación de las aspas.

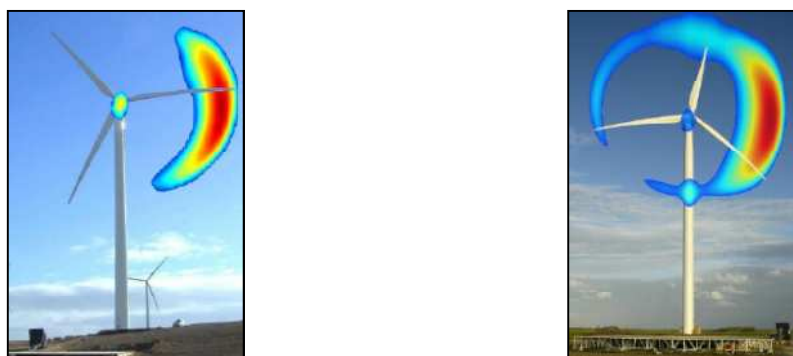


Figura 4 – fuentes de ruido en diferentes turbinas: Gamesa G58 850 kW (izq.) y GE 2500 kW (dcha.)

Los resultados de los estudios demuestran como el ruido aerodinámico resulta ser la componente sonora más importante de un aerogenerador y que se caracteriza por ser una fuente distribuida a lo largo de una parte de la trayectoria de las aspas y con una fuerte directividad en los planos perpendiculares al rotor; se genera así una incongruencia con la modelación de estos focos sonoros en los programas de cálculo donde vienen equiparados a fuentes puntuales omnidireccionales colocadas a la altura del eje.

3 Problemáticas relativas al impacto acústico de los aerogeneradores

Otro aspecto controvertido es la evaluación de las molestias creadas por estas instalaciones: si para algunas organizaciones industriales el ruido generado por los parques eólicos no es un problema, se pueden citar muchas fuentes que opinan lo contrario. Entre ellas se señala la posición de unos estudios médicos [12] [13] que van más allá de la exposición de la población a altos niveles sonoros profundizando dos aspectos de difícil tratamiento como son los infrasonidos y los batimientos. Como demostrado por numerosos estudios, [14] los infrasonidos y las bajas frecuencias son una componente fundamental en el ruido de las turbinas eólicas tanto que se ha llegado a la conclusión de que podrían ser los factores que explicaran por qué los niveles de ruido que produce una turbina eólica generan afecciones sobre la población mayor de las que cabría esperar. Las bajas frecuencias son una característica significativa en la emisión sonora en los aerogeneradores que difícilmente viene tomada en consideración en el estudio de impacto acústico de un parque eólico donde se evalúan solamente los niveles globales ponderados A. Es, sin embargo, un aspecto a tener en consideración porque, como se evidencia en la figura 5 elaborada a partir de un estudio del propio autor, con la distancia, el nivel en las bandas de octava de altas frecuencias disminuye más rápidamente que las bajas, comportando una ligera modificación de los espectros de ruido percibidos por los receptores colocados a diferentes distancias de la fuente sonora.

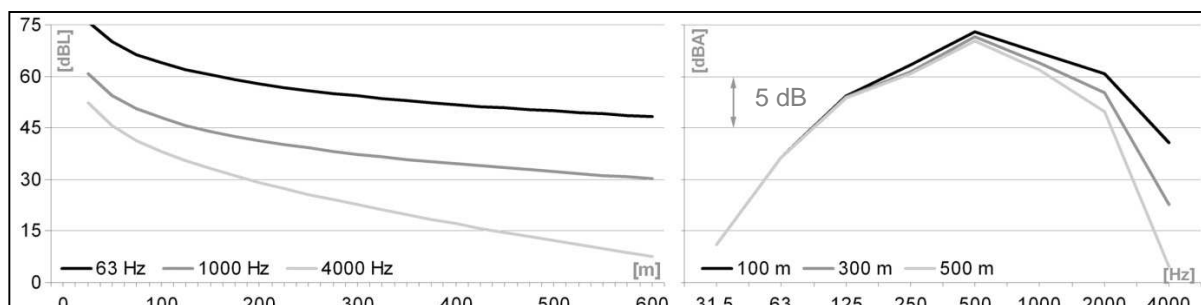


Figura 5 – propagación de ondas sonoras de diferentes frecuencias y espectro generado

4 Métodos predictivos

La metodología a emplear para realizar un estudio de impacto acústico de un parque eólico debería estructurarse en tres fases: una primera análisis de la situación pre-operacional que permita obtener datos de origen y referencia, una segunda de simulación mediante software de las condiciones esperadas en la fase operacional y una tercera, englobada dentro del plan de seguimiento y vigilancia ambiental, en la que se obtengan datos reales una vez haya entrado en funcionamiento la instalación. Se trata de una metodología que conlleva largos trabajos de campo en la fase pre-operacional y en la situación final que, por motivos económicos, se tienden a reducir a lo mínimo indispensable reconduciendo el proceso planteado a la única fase intermedia de simulación predictiva para el cálculo de la situación acústica final sin comprobar los resultados a través de mediciones “in situ”. Se entiende, por lo tanto, la importancia de la fase predictiva en el estudio del impacto acústico generado por un parque eólico y cómo deba basarse en una correcta implementación de los parámetros en los programas de predicción y en su exactitud a la hora de evaluar los efectos generados.

Con el objeto de realizar una comparativa entre programas de cálculo para la elaboración de mapas acústicos se han seleccionado una serie de software para testar las posibilidades que proporcionan al usuario en la construcción del modelo de un parque eólico. La investigación del impacto acústico de un proyecto en todos los programas evaluados responde al mismo esquema lógico de trabajo que empieza por la construcción geométrica del modelo, sigue con la modelación de los aerogeneradores como fuente sonora y culmina con la introducción de los datos ambientales y el cálculo del mapa acústico resultante. Mientras que la introducción de la geometría de los elementos que componen el modelo a investigar y el método de cálculo son bastante parecidos, las mayores diferencias entre los modelos residen en el método que se emplea para la simulación de las fuentes sonoras. En este caso se pueden clasificar las herramientas computacionales en dos grupos según la versatilidad que ofrecen a la hora de gestionar un aerogenerador como fuente sonora: frente a un grupo que los simplifica como fuentes de ruido caracterizadas por un único espectro de potencia sonora, un segundo grupo contempla la existencia de un conjunto de espectros variable con la velocidad del viento. Si en el primer caso es el usuario quien tiene que fijar un único espectro de potencia independientemente de las condiciones ambientales, con los programas del segundo grupo el aerogenerador dispone de un grupo de espectros diferenciados por la velocidad del viento de referencia y que vienen ponderados según las condiciones de ventosidad del sitio.

Tabla 2 – software evaluados para la realización del trabajo

grupo 1	grupo 2
CadnaA 4.2.139 de DataKustik GmbH	Predictor LimA 7810 V8.11 de Brüel & Kjær A/S
IMMI 6.3.1 de Wölfel Software GmbH	WindFarmer 5.0.8.2 de Garrad Hassan & P. Ltd
Predictor LimA 7810 V6.20 de Brüel & Kjær A/S	WindPro 2.8 de EMD International A/S
SoundPLAN 7.1 de Braunstein + Berndt GmbH	

Con el empleo de los programas se ha evidenciado cuáles son los elementos que se necesitan para el estudio del impacto acústico de un parque eólico. Estos parámetros se pueden agrupar en tres grandes conjuntos: los de tipo geográfico, útiles para construir el modelo tridimensional del entorno; los datos relativos a los aerogeneradores, que permiten simularlos como fuentes acústicas; y los factores de tipo climático, que intervienen en el cálculo de la propagación del sonido en espacios exteriores.

5 Bases del estudio

5.1 Parque eólico objeto del estudio

La instalación objeto del estudio es el parque eólico experimental denominado “Dueñas” construido en 2006, situado a un kilómetro y medio al norte del pueblo homónimo de la provincia de Palencia. Consta de 4 aerogeneradores modelo G-58 de Gamesa de 850 kW de potencia unitaria, equipados con un rotor tripala de 58 metros de diámetro instalados sobre torre metálica troncocónica de 55 metros de altura y distribuidos a lo largo de los 750 m del linde este del paramo. Para la recopilación de los datos útiles a la construcción del modelo de predicción se ha procedido de diferente manera: los de tipo geográfico se han obtenidos de la base de datos cartográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y los datos de los espectros de potencia sonora de los aerogeneradores a través de otros estudios de impacto ambiental de parques eólicos. Para los factores de tipo climático se ha podido disponer de bases de datos de Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) para la ventosidad de la zona y de una estación meteorológica cercana para temperatura y humedad relativa media a lo largo del año. Se han calculado las distribuciones de frecuencia de los vientos en verano e invierno porque se trata de las estaciones respectivamente menos y más ventosas y por lo tanto las situaciones que representan los extremos del impacto acústico generado.

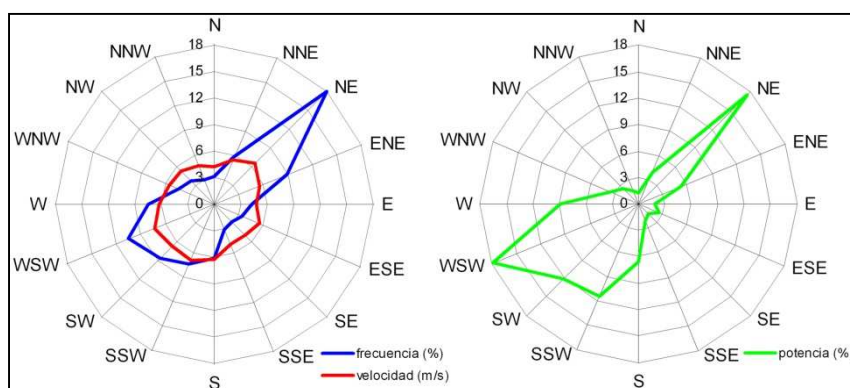
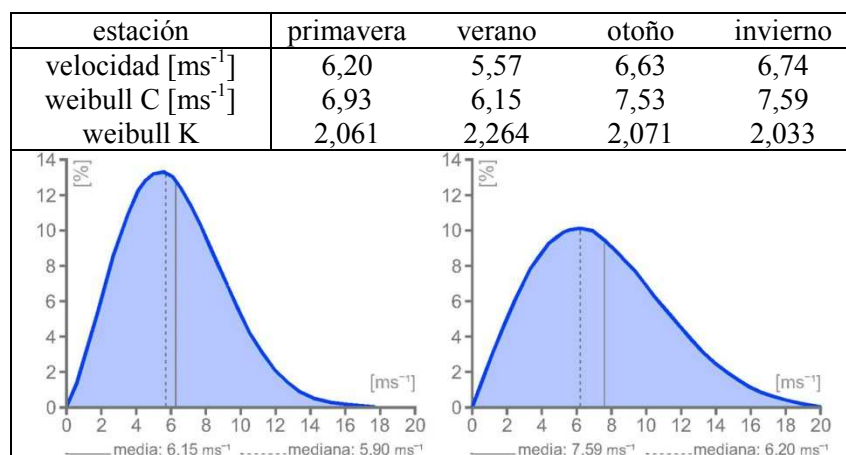


Figura 6 – frecuencia, velocidad y potencia de los vientos modelizados

Tabla 3 – viento a 80 metros en diferentes estaciones y gráficas de verano e invierno en el punto IDAE



5.2 Métodos predictivos empleados

En el estudio comparativo entre programas de predicción se ha empleado un software del primer grupo como representante de la metodología de estudio de impacto acústico más antigua y un programa del segundo grupo que ejemplifica las herramientas más modernas. Para mantener una continuidad en el trabajo, se han elegido las dos versiones señaladas anteriormente del programa Predictor Lima 7810 de Brüel & Kjær. Sucesivamente se han comparado con un método de cálculo construido por el autor para la verificación del funcionamiento y precisión de los demás software.

Tabla 4 – software empleados para la modelización del parque eólico

	Predictor Lima V6	Predictor Lima 8	sistema de cálculo propio
año	2007	2011	2012
modelado fuentes	un espectro	grupo de espectros ponderados por frecuencia	grupo de espectros ponderados por frecuencia
método propagación	ISO 9613	ISO 9613	ISO 9613
método de trabajo	espacial	espacial	puntual
resultados	niveles globales A	niveles globales A valores bandas de octava	niveles globales A, C, L valores bandas de octava

El sistema de cálculo propio realizado para este estudio se ha creado con la finalidad de conocer más de cerca el funcionamiento de un programa predictivo, recreando paso por paso los cálculos que efectúa. Para ello se ha empleado una hoja de cálculo del programa Microsoft excel en la cual se han implementado todos los cálculos necesarios para la evolución del impacto acústico del parque eólico estudiado. El método de cálculo recrea el parque eólico formado por 4 aerogeneradores esquematizándolo como en la figura 7 donde cada fuente sonora viene situada en el espacio por sus coordenadas x, y, z con respecto al receptor y para la cual hay que especificar una serie de datos geométricos útiles para el cálculo de la propagación del sonido.

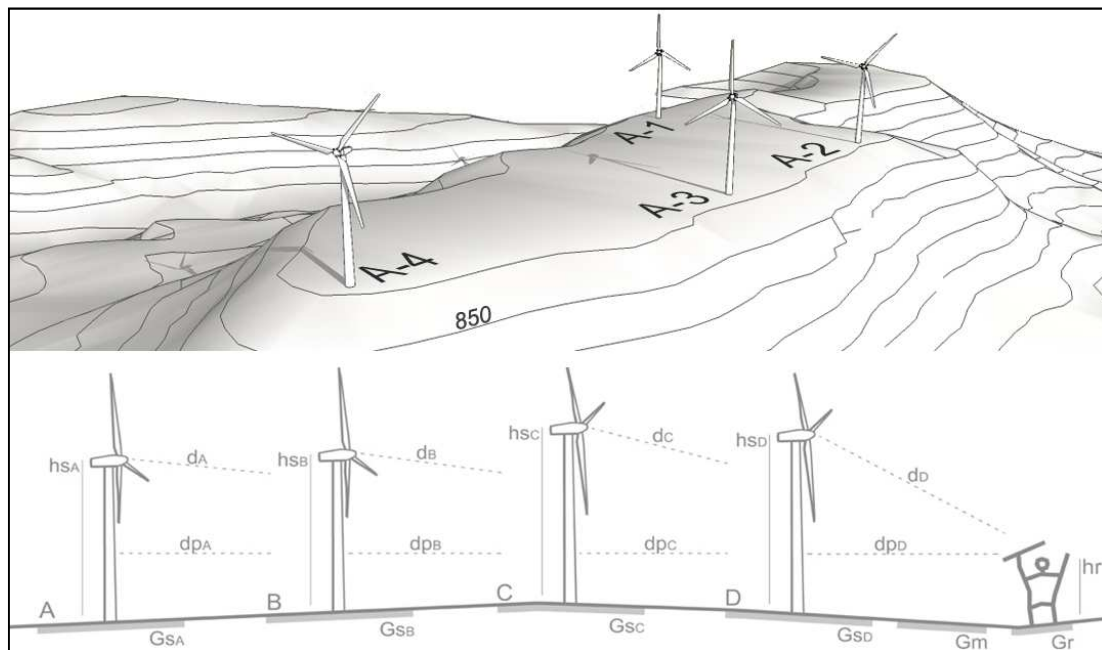


Figura 7 – modelización del parque eólico a través del método de cálculo construido

Para cada aerogenerador se ha calculado el espectro de potencia sonora ponderando los valores de emisión sonora a diferentes velocidades de viento por la probabilidad con la cual se verifican tales condiciones. De la misma manera que los software de evaluación del impacto acústico de los parques eólicos, se ha empleado la ecuación (1) para combinar los espectros de potencia sonora a diferentes velocidades de viento normalizado con una matriz de probabilidad de que se verifiquen esas condiciones de viento.

$$L_E = 10 \cdot \log \left(\sum_{j=V_{ci}}^{V_{co}} \left(\frac{U_j}{100} \cdot 10^{L_{w,i,j}/10} \right) \right) \quad (1)$$

- V_{ci} velocidad de cut-in de la turbina [ms^{-1}]
 V_{co} velocidad de cut-out de la turbina [ms^{-1}]
 U_j frecuencia con que ocurre la velocidad del viento j [%]
 $L_{w,i,j}$ potencia del foco por banda (índice i) y clase de velocidad de viento (índice j) [dB]

El cálculo de la propagación del sonido en exteriores se basa en la metodología indicada en la norma técnica ISO 9613 y presentada en la ecuación (2). De esta manera se calcula el espectro del ruido de los aerogeneradores en los puntos receptores elegidos para su comparación con los valores medidos.

$$L_T = L_{T(DW)} - C_{met} \quad (2)$$

- L_T nivel de presión sonora equivalente en el tiempo T
 $L_{T(DW)}$ nivel de presión sonora equivalente en el tiempo en condiciones favorables (downwind)
 C_{met} coeficiente meteorológico

En el cálculo del valor de $L_{T(DW)}$, debido a las características del sito de estudio, no se daban los presupuestos para la presencia de algunos parámetros de absorción presentados en la norma y, por lo tanto, se han eliminado del cálculo que finalmente ha quedado como indicado en la ecuación (3).

$$L_T = L_W - A_{div} - A_{atm} - A_s - A_r - A_{fol} - C_{met} \quad (3)$$

- L_W nivel de potencia sonora expresado en dB con una potencia de referencia de 1 pW
 A_{div} atenuación debida a la divergencia geométrica
 A_{atm} atenuación causada por la absorción atmosférica
 A_s atenuación por el efecto del terreno en la zona del foco sonoro
 A_r atenuación por el efecto del terreno en la zona del receptor
 A_{fol} atenuación provocada por la vegetación

En el cálculo de C_{met} se ha empleado la metodología indicada en la norma técnica y, para la obtención del parámetro C_0 necesario para este efecto se ha procedido como expresado en la ecuación (4).

$$C_0 = -10 \cdot \log \left(\frac{T_m}{100} \cdot 10^{-K_m/10} + \frac{T_q}{100} \cdot 10^{-K_q/10} + \frac{T_g}{100} \cdot 10^{-K_g/10} \right) \quad (4)$$

donde:

- T_m, T_q, T_g frecuencia con que ocurre una situación de sotavento (m), una situación media entre viento cruzado y sotavento (q) y una situación media entre barlovento y sotavento (g).
 K_m, K_q, K_g nivel de desviación en una situación de sotavento (m), en una situación media entre viento cruzado y sotavento (q) y en una situación media entre barlovento y sotavento (g).

6 Campaña de mediciones

6.1.1 Caracterización de las fuentes sonoras

Para caracterizar la emisión sonora de los aerogeneradores se han efectuado mediciones en puntos situados en la vertical respecto al rotor con una altura de 1,5 m del suelo. Para cada torre se ha realizado una medición de larga duración y un ciclo de corta duración. En cada una de ellas se midieron velocidad del viento, temperatura y humedad relativa. El valor del viento ha servido para evaluar a qué velocidad estaba funcionando el aerogenerador durante la medición mientras que con los datos ambientales se han calculado las absorciones que influyeron en la propagación del sonido desde el rotor del aerogenerador hasta el punto de medición de manera que, restando el valor de esas correcciones, se ha calculado el nivel de potencia sonora de la turbina, tal y como se puede apreciar en la tabla 5. Se ha corregido cada una de las medidas de cada torre y se han promediado entre ellas para obtener el espectro de potencia sonora actual de cada turbina. En la figura 12 se presenta la comparativa entre el valor corregido y el espectro proporcionado por el fabricante en la ficha técnica de la máquina para una velocidad de viento de 4 ms^{-1} , similar a las condiciones de medición. Se trata de los espectros de las torres A-1 y A-2 que han resultado ser las que más se diferencian de los de referencia. El dato que finalmente se ha introducido en el modelo de predicción ha sido el promedio entre los espectros de cada torre que se presenta en la figura 13 que ha resultado ser bastante más elevado en las bandas de octava desde 125 Hz hasta 2000 Hz, provocando una mayor diferencia entre los valores globales de cada velocidad de viento ponderado A respecto a aquellos sin ponderar.

Tabla 5 – procedimiento para determinar los valores de corrección para el espectro de potencia sonora

medición		correcciones aplicadas				potencia sonora			
banda octava	nivel [dBL]	divergencia geométrica	absorción atmosférica	absorción terreno	aportación otras torres	medido [dBL]	ficha [dBA]	correc. [dBA]	correc. [dB]
31,5 Hz	61,57	45,57	0,00	-1,50	-0,37	105,27	65,87	66,16	-0,29
63 Hz	58,06	45,57	0,00	-1,50	-0,37	101,76	75,56	74,66	+0,90
125 Hz	54,51	45,57	0,03	-1,21	-0,37	98,53	82,43	81,36	+1,07
250 Hz	53,11	45,57	0,08	-1,43	-0,32	97,02	88,42	86,26	+2,16
500 Hz	50,67	45,57	0,17	-1,43	-0,30	94,69	91,49	88,86	+2,63
1 kHz	47,73	45,57	0,29	-1,43	-0,27	91,90	91,90	89,76	+2,14
2 kHz	42,44	45,57	0,57	-1,43	-0,22	86,94	88,14	87,66	+0,48
4 kHz	38,96	45,57	1,61	-1,43	-0,10	80,62	81,62	80,76	+0,86
8 kHz	21,37	45,57	5,56	-1,43	0,00	71,07	69,97	67,86	+2,11
global	-	-	-	-	-	-	96,70	94,80	+1,90

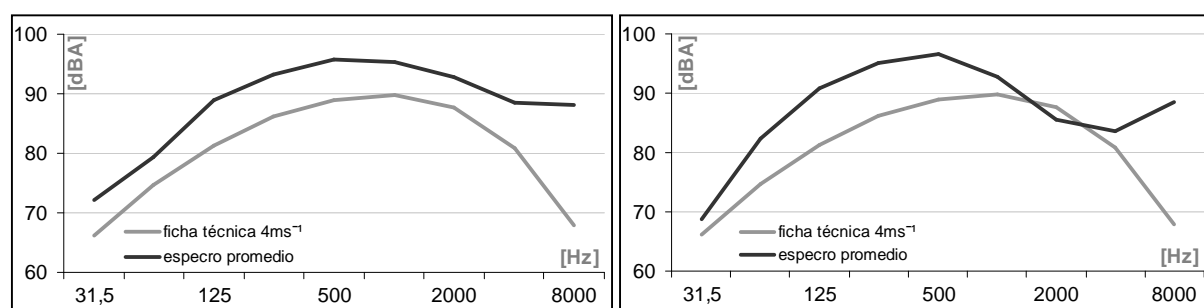


Figura 8 – espectros de potencia sonora corregidos de las torres A-1 (izq.) y A-2 (dcha.)

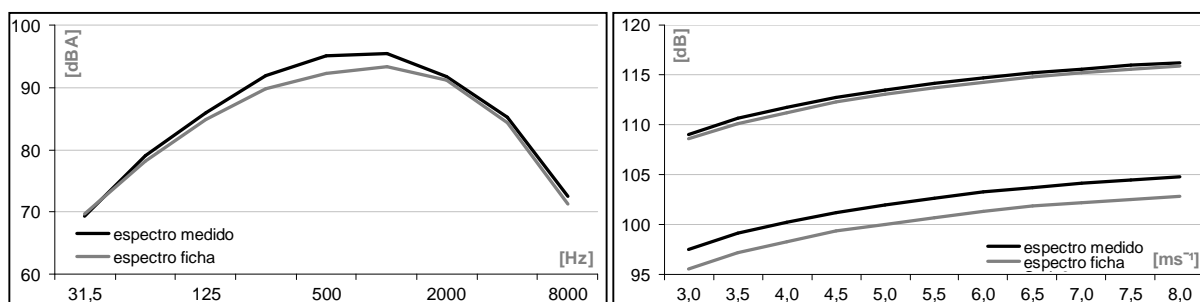


Figura 9 – espectro de potencia sonora corregido de las torres y comparativa entre niveles globales

6.1.2 Medidas de control

Para la validación de los cálculos realizados con los programas de predicción se ha dibujado una cuadrícula de 125 x 125 m fijando en cada vértice un punto receptor donde evaluar el ruido para comparar los valores medidos con los calculados en los tres casos. Debido a las condiciones orográficas, se tuvieron que descartar una serie de puntos al ser estos inaccesibles. En los demás puntos se realizaron medidas de larga y corta duración, en cuatro días, de manera que se cubriera un amplio abanico de condiciones ambientales, garantizando de esta manera la realización de un estudio lo más generalizado posible. Se han realizado 5 series de 3 medidas de larga duración simultáneas para evaluar los niveles globales en las mismas condiciones a lo largo del parque. En cuanto a las de corta duración, se realizó una medición por cada punto accesible y día aunque, para mantener una buena calidad de los resultados obtenidos, se descartaron todas aquellas que presentaban una diferencia entre los parámetros L_{Aeq} y L_{A95} mayor de 1 dB, nivel que fue fijado a priori como límite para detectar la eventual presencia de fuentes de ruido ajenas a los aerogeneradores. Finalmente se consideraron válidas las mediciones realizadas en 20 puntos y diferentes días, horas y condiciones ambientales.

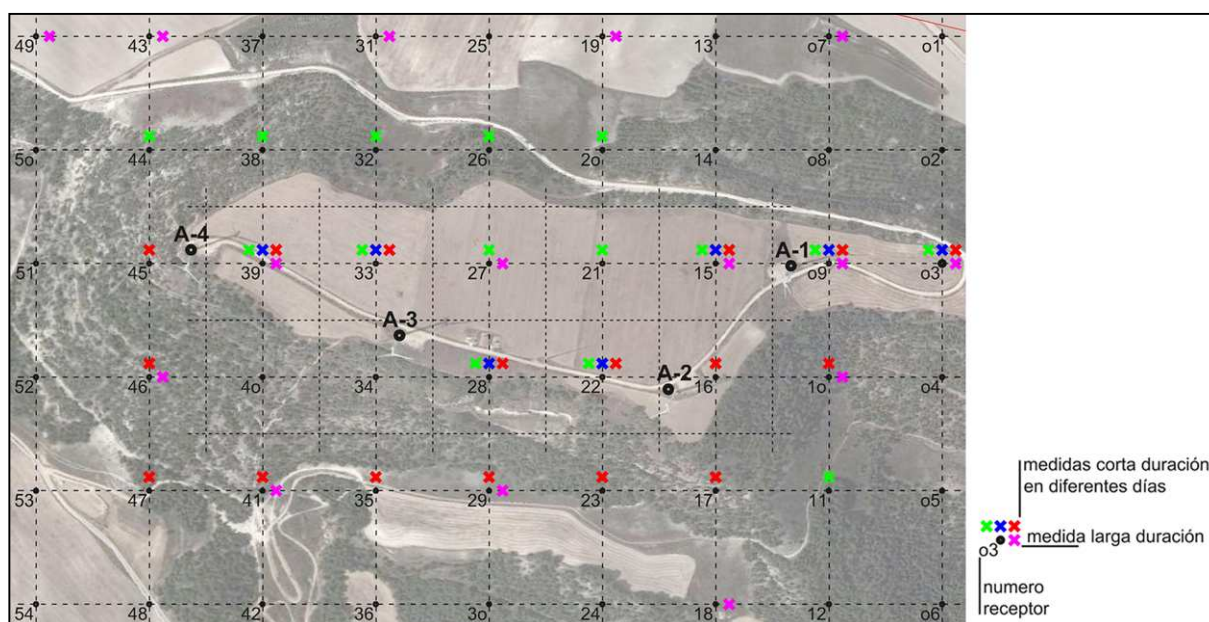


Figura 10 – plano de los puntos receptores y de las mediciones realizadas

7 Valoración de los resultados

Para la correcta valoración de los resultados se ha tenido que descartar los obtenidos con el programa de predicción Predictor Lima V6, debido a la imposibilidad de fijar un espectro de potencia sonora de los aerogeneradores que fuera acorde a las condiciones ambientales en el momento de la toma de datos. En la figura 15 se presenta la comparativa entre los valores medidos y calculados con el programa Predictor Lima V8.11 y el modelo de cálculo propio para los puntos medidos en condiciones de viento de hasta 6 ms^{-1} y los que se midieron con vientos más fuertes. Los valores calculados con los dos modelos presentan una buena aproximación en todas las bandas de octava a los valores medidos con vientos moderados dando una desviación estándar en sus valores globales de 1,72 dBA y 2,59 dBL en el caso del software, y de 1,87 dBA y 2,30 dBL en el caso del método de cálculo, unos valores considerados aceptables, si se cotejan con la incertidumbre típica de mediciones de niveles ambientales. La comparación con las mediciones efectuadas en condiciones de vientos más fuertes presentan mayores diferencias debido a la imposibilidad de realizar mediciones donde el viento no influyera en los valores obtenidos por el sonómetro. Finalmente se ha realizado una evaluación de impacto acústico del parque eólico en la cual se nota una buena similitud entre los dos modelos validados, y ciertas discrepancias con el programa Predictor Lima V6.

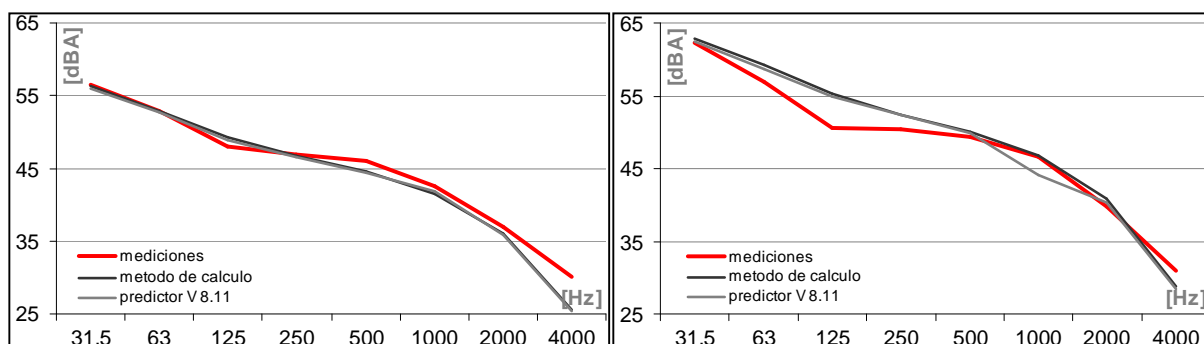


Figura 11 – valores medidos y calculados para vientos hasta 6 ms^{-1} (izq.) y de de mas de 6 ms^{-1} (dcha.)

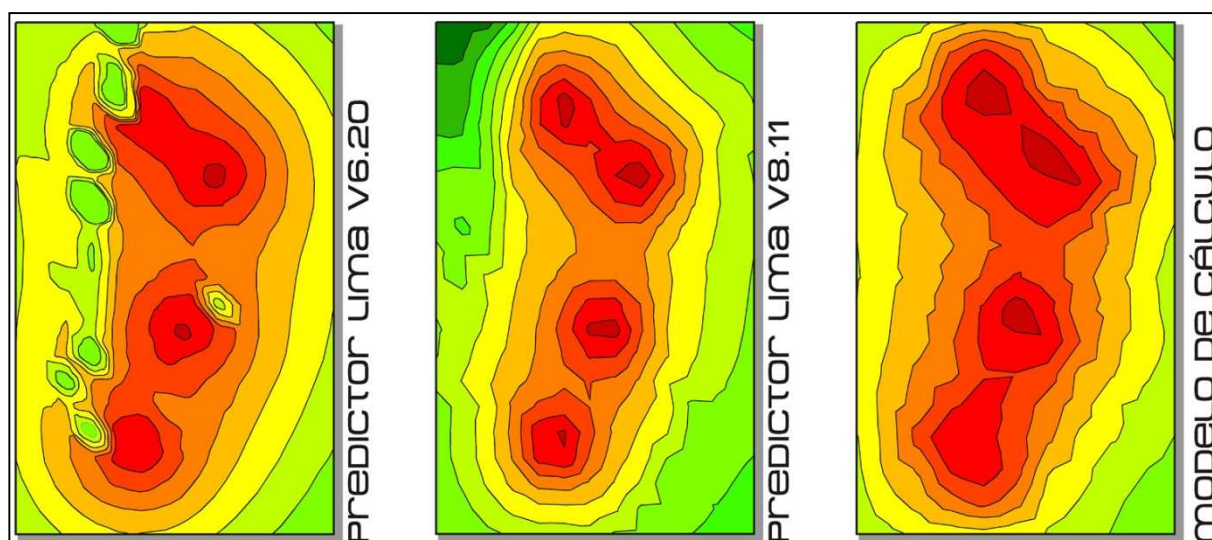


Figura 12 – comparativa entre las curvas isófonas obtenidas con los software y el método de cálculo

8 Conclusiones

El estudio ha demostrado una gran diferencia entre los programas de predicción sonora que vienen siendo empleados desde hace años en la evaluación del impacto acústico de un parque eólico remarcando cómo, la gestión de los aerogeneradores como foco sonoro variable que proporcionan las herramientas más modernas, permite alcanzar una buena exactitud en los resultados. Sin embargo, el trabajo ha puesto en evidencia la cantidad de parámetros que el técnico debe manejar correctamente para obtener tales niveles de precisión y cómo no se puede prescindir de mediciones “in situ” para valorar los resultados obtenidos, aspecto que normalmente no se contempla en los planes de vigilancia ambiental.

Agradecimientos

Quería agradecer a la empresa Crivasa S.A. por ofrecerme sus medios y todo el instrumental necesario en la realización del estudio y de especial manera a Raquel Sorribas del Laboratorio de Tecnología Acústica y a María Machimbarrena de la Universidad de Valladolid por el apoyo y ayuda recibidos.

Referencias

- [1] Van den Berg, F.; Pedersen, E.; Bouma, J.; Bakker, R. *Project WINDFARM perception Visual and acoustic impact of wind turbine farms on residents*. FP6-2005-Science-and-Society-20, 2008.
- [2] EWEA *Up wind. Design limits and solutions for very large wind turbine*, 2011.
- [3] Velsler L. et. al, *Wind energy*; BWE-Service GmbH 2005.
- [4] Wagner, S.; Bareiß, R.; Guidati, G.; *Wind Turbine Noise*, Springer-Verlag, 1996.
- [5] Pinder, J. Mechanical noise from wind turbines. *Wind engineering*, Vol. 16(3), 1992 pp.158-168.
- [6] Hayes, M. *How noise is generated by wind turbines - The mechanisms of noise generation*, Institute of Acoustic Wind Farm Noise 2, 2006.
- [7] Romero-Sanz, I.; Matesanz, A. Noise management on modern wind turbines, *Wind engineering*, Vol.32(1), 2008 pp 27–44.
- [8] Oerlemans, S.; Méndez López, B. Acoustic array measurements on a full scale wind turbine. *11th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*, Monterey 2005.
- [9] Schepers, J.G.; et. al, T. SIROCCO: Silent Rotors by Acoustic Optimisation. *Wind Turbine Noise Conference*, Lyon, 20-21 Septiembre de 2007.
- [10] Hayashi, K.; Nishino, T.; Hosoya, H.; Fukami, K.; Matsuo, T.; Kuroiwa, T. Low-noise design for wind turbine blades, *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review* Vol. 49(1), 2012.
- [11] Prediction of wind turbine noise and validation against experiment, Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium, National Aerospace Laboratory NLR.
- [12] Harry, A. *Wind turbines, noise and health*, 2007.
- [13] Frey, B.J.; Hadden, P.J. *Noise radiation from wind turbines installed near homes: effects on noise and health*, 2007.
- [14] Rogers, A.; Manwell, J.; Wright, S. *Wind turbine acoustic noise*, Renewable Energy Research Laboratory - University of Massachusetts at Amherst, 2006.