



# EVALUACIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO DE UN PARQUE EÓLICO

Agustín Morán Martínez<sup>[\*]</sup>, Katia María Argüelles Díaz<sup>[\*\*]</sup>

[\*] Alumno; [\*\*] Tutora

[UO68605@uniovi.es](mailto:UO68605@uniovi.es)

Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

## RESUMEN

En este trabajo se lleva a cabo la evaluación del impacto acústico de un parque eólico que va a ser construido en la provincia de Cádiz.

Para la instalación del parque se han considerado tres posibles ubicaciones, de forma que el objetivo de este trabajo es determinar cuál es la ubicación en la que el parque generaría un menor impacto acústico sobre los núcleos residenciales y explotaciones ganaderas que se encuentran en sus proximidades.

La evaluación del impacto acústico del parque eólico se realiza mediante el software Odeon Room Acoustics, a partir del cual se han obtenido los niveles de presión sonora en las posiciones de los receptores.

## ABSTRACT

This investigation performs the assessment of the noise impact of a wind farm to be built in the province of Cádiz.

For installation of the wind farm, they have been considered three possible locations, so that the objective of this work is to determine the location where the wind farm would generate less noise impact on residential areas and farm that are nearby.

The assessment of the noise impact of the wind farm is done by Odeon Room Acoustics software, from which we have obtained the sound pressure levels at the positions of the receivers.

## INTRODUCCIÓN

Junto con el impacto visual, el ruido que generan las turbinas eólicas es la mayor fuente de contaminación que ocasionan los parques eólicos onshore o terrestres. Este ruido afecta a la población cercana, así como a la actividad ganadera y la fauna local. Por ello, con vistas a implantar un parque eólico en una determinada localización, es fundamental abordar primeramente el estudio del impacto acústico que dicho parque podría tener sobre los núcleos de población cercanos. Dado que estos estudios son previos a la fase de construcción de los parques eólicos, la mejor forma de abordarlos es mediante la simulación numérica del ruido propagado por los mismos.

Existen estudios, como el de M.A. Antón et al. [1], donde se realiza una completa descripción de los mecanismos de generación de ruido en turbinas eólicas (tonal, banda ancha, de alta frecuencia e impulsivo), así como de la normativa de regulación de ruido aplicable a parques eólicos, entre la que se pueden destacar las normas UNE EN 61400-11/2004 para la emisión e ISO 1996-2/2007 para la inmisión, la Ley de Ruido 37/2003 y los Reales Decretos 1513/2005 y 1367/2007, que trasponen y amplían la Directiva Europea 2002/49/CE sobre ruido y vibraciones. En la misma línea, en el trabajo de Rogers et al. [2] se introducen los principales mecanismos de generación de ruido en turbinas eólicas y sus efectos sobre las personas, proporcionando datos específicos para turbinas eólicas de pequeño tamaño típicas de instalaciones particulares. En



Teague et al. [3], se recogen las principales cuestiones prácticas relativas a la monitorización, modelado y cumplimiento de las normativas medioambientales de regulación de ruido en parques eólicos de Australia.

En Wagner et al. [4] se propone una clasificación de los códigos de predicción de ruido generado por parques eólicos en base a la complejidad de los mismos, de forma que pueden encontrarse códigos simples que proporcionan una estimación general del ruido a partir de parámetros de entrada básicos, códigos en los que se consideran por separado los distintos mecanismos de generación de ruido, o códigos más complejos que utilizan información completa de los mecanismos de generación de ruido relacionada con la geometría del rotor y su aerodinámica. En este trabajo se apunta además que los principales factores que deben ser tenidos en cuenta para simular correctamente la propagación del ruido son las características de la fuente, la distancia fuente-receptor, la absorción del aire, el efecto del suelo y los posibles efectos meteorológicos. En esta línea destaca también el estudio de Vargas [5], en el que se desarrolla una herramienta computacional para predecir los niveles de ruido propagados por turbinas eólicas.

Es destacable también el trabajo de Guarnaccia et al. [6], que se centra en la caracterización del ruido de parques eólicos ya operativos o en construcción. En este trabajo se construye un modelo teórico simple, basado en la consideración de las turbinas eólicas como fuentes puntuales de ruido y el suelo como material totalmente absorbente, con el que se llevan a cabo predicciones del nivel de intensidad sonora en función de la distancia de los receptores a la fuente y la altura a la que se encuentren. En el estudio de Kaliski et al. [7], tras presentar una validación de diferentes modelos numéricos de propagación del ruido generado por parques eólicos, se concluye que el algoritmo CONCAWE, que tiene en cuenta efectos meteorológicos, presenta las mejores correlaciones.

En este artículo se analiza el impacto acústico de la promoción eólica La Janda, situada en el término municipal de Vejer de la Frontera (Cádiz). Concretamente, lo que se pretende es buscar, dentro del terreno disponible para situar las turbinas eólicas, la localización óptima para el parque eólico, es decir, la que presente un menor

impacto acústico sobre las poblaciones cercanas y las explotaciones ganaderas existentes en sus inmediaciones. Para tal fin se ha empleado el software de análisis acústico Odeon Room Acoustics, a partir del cual los resultados obtenidos, en forma de mallado tridimensional, se han filtrado para facilitar su análisis, presentándose diferentes distribuciones del nivel de presión sonora (SPL) en función de la distancia entre fuentes y receptores.

## MÉTODO DE TRABAJO

Como se ha comentado en la introducción, el objeto de este trabajo de investigación es determinar la localización óptima para la instalación de un parque eólico, de forma que su impacto acústico sobre las poblaciones cercanas sea el menor posible.

Para ello se parte de tres posibles ubicaciones disponibles para el parque de aerogeneradores y se determinará cuál es la más adecuada para la implantación del mismo. Estas tres posibles ubicaciones aparecen señaladas en el mapa mostrado en la Figura 1 y se conocen como: parque eólico de Cerro Conilete (posición 1), parque eólico de loma de Suyal (posición 2) y parque eólico de loma de Peñuelas (posición 3). En cada una de las tres posiciones se pretende instalar un conjunto de tres turbinas eólicas, del modelo VESTAS AERO V-112 3 MW, con una potencia total instalada de 9 MW.



Figura 1. Mapa cartográfico con las tres ubicaciones posibles del parque eólico.



Las turbinas VESTAS que van a ser implantadas en el parque, tienen una altura del buje ( $H_b$ ) de 84 m, y su espectro de potencia acústica es el mostrado en la Figura 2.

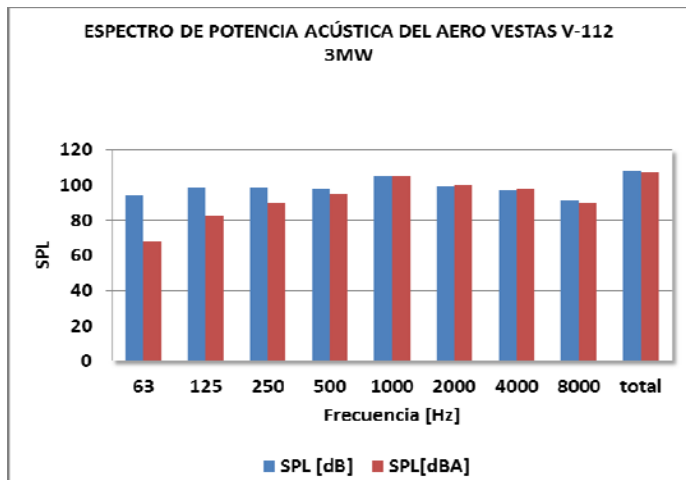


Figura 2. Espectro de potencia acústica de las turbinas.

A continuación se detallan los pasos seguidos para llevar a cabo la simulación de la propagación del ruido generado por las turbinas eólicas, en cualquiera de sus posibles localizaciones.

AEROGENERADORES CERRO CONILETE				
Nº	COORDENADAS ABSOLUTAS		COORDENADAS RELATIVAS	
	X	Y	X	Y
1	240272	4024142	1096,059	1059,38
2	240234	4023862	1058,059	779,38
3	240224	4023570	1048,059	487,38

Tabla 1. Coordenadas fuentes Cerro Conilete.

AEROGENERADORES LOMA DE SUYAL				
Nº	COORDENADAS ABSOLUTAS		COORDENADAS RELATIVAS	
	X	Y	X	Y
1	240272	4024142	1102,614	1304,57
2	240234	4023862	1059,614	1026,57
3	240224	4023570	1262,614	1534,57

Tabla 2. coordenadas fuentes Loma de Suyal.

AEROGENERADORES LOMA DE PEÑUELAS				
Nº	COORDENADAS ABSOLUTAS		COORDENADAS RELATIVAS	
	X	Y	X	Y
1	234656	4026148	701,491	1148
2	234774	4025893	819,491	893
3	234859	4025626	904,491	626

Tabla 3. Coordenadas fuentes Loma de Peñuelas.

En primer lugar, puesto que Odeon es un software diseñado intrínsecamente para simular recintos cerrados, es necesario construir un paralelepípedo de dimensiones 2000 m x 2000 m x 1000 m, para lo que se utiliza el propio editor de Odeon. A continuación, dentro del paralelepípedo, se sitúan las fuentes de ruido, en este caso las turbinas eólicas, consideradas como fuentes puntuales, es decir, radian ruido por igual en todas las direcciones espaciales. A cada fuente se le asigna el espectro de potencia acústica mostrado en la Figura 2. Estas fuentes se sitúan en todos los casos a una altura de 84 m sobre el terreno, por ser esta altura la correspondiente al buje de las turbinas. Las tablas 1 a 3, muestran las coordenadas absolutas y relativas de los aerogeneradores de cada parque eólico.

RECEPTORES CERRO CONILETE				
Nº	COORDENADAS ABSOLUTAS		COORDENADAS RELATIVAS	
	X	Y	X	Y
1	240956	4023453	1780,059	370,38
2	240991	4023544	1815,059	461,38
3	240991	4023499	1815,059	416,38
4	241023	4023532	1847,059	449,38

Tabla 4. Coordenadas receptores Cerro Conilete.

También dentro del paralelepípedo que representa el dominio simulado se colocan los receptores. Dichos receptores se ubican en posiciones coincidentes con viviendas y explotaciones ganaderas reales existentes en las proximidades de los parques. Por este motivo el número de receptores varía de un parque a otro



(cuatro receptores en el caso del parque de Cerro Conilete y cinco para los parques de Loma Suyal y Loma Peñuelas). En las tablas 4 a 6 se muestran las coordenadas absolutas y relativas de todos los receptores considerados. Señalar además que los receptores se han posicionado a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo, de acuerdo a las especificaciones de la norma de evaluación de impacto acústico en exteriores.

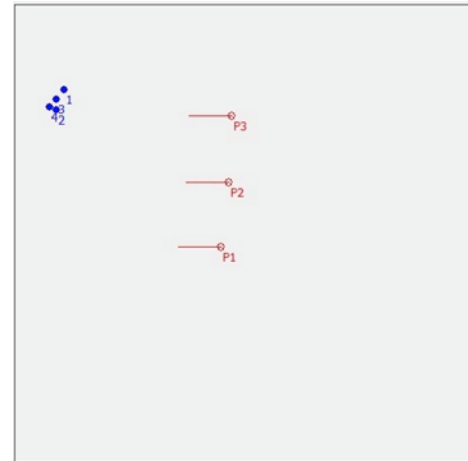
RECEPTORES LOMA DE SUYAL				
Nº	COORDENADAS ABSOLUTAS		COORDENADAS RELATIVAS	
	X	Y	X	Y
1	238793	4026030	1780,059	370,38
2	238874	4026082	1815,059	461,38
3	238958	4026103	1815,059	416,38
4	239041	4026118	1847,059	449,38
5	238696	4026178	1570,3	435,7

**Tabla 5. Coordenadas receptores Loma de Suyal.**

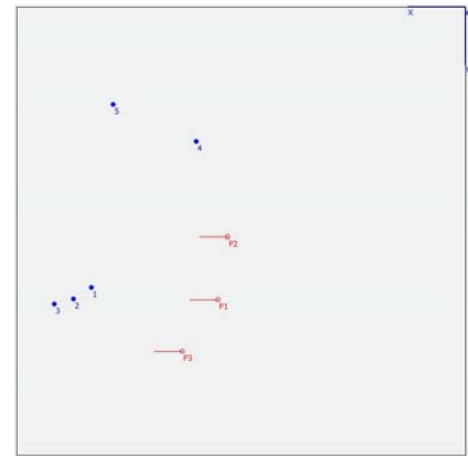
RECEPTORES LOMA DE PEÑUELAS				
Nº	COORDENADAS ABSOLUTAS		COORDENADAS RELATIVAS	
	X	Y	X	Y
1	234430	4026286	475,5	1286,44
2	234438	4025781	483,87	781,59
3	234289	4025439	334,84	440
4	234335	4025432	380,55	432
5	234300	4025386	345,84	386

**Tabla 6. Coordenadas Loma de Peñuelas.**

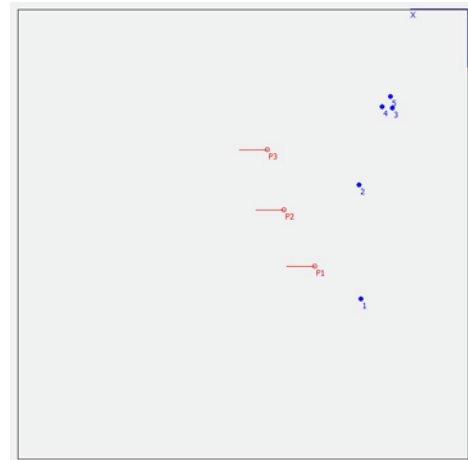
A modo de resumen, en las figuras 3 a 5 se muestra una vista en planta de las posiciones de las turbinas eólicas y los receptores considerados para cada una de las tres posibles ubicaciones del parque.



**Figura 3. Vista en planta Cerro Conilete.**



**Figura 4. Vista en planta Loma de Suyal.**



**Figura 5. Vista en planta Loma de Peñuelas.**





Los materiales que se han empleado para las paredes laterales y el techo del recinto simulado son de un material 100% absorbente, disponible en la librería de Odeon, con el fin de evitar que se generen reflexiones ficticias de rayos acústicos que podrían distorsionar los resultados. Para el suelo se utiliza como material hierba, con un coeficiente de dispersión de 0.56, por ser este tipo de vegetación la predominante en la zona donde se pretenden instalar los parques. Con el método de partículas del programa Odeon, concretamente con el método de reflexión basado en la dispersión [8], se ha calculado el número de rayos que es necesario que el programa trace para alcanzar resultados coherentes en todas las bandas de frecuencia.

Una vez que se han posicionado las fuentes y los receptores en el dominio y se han elegido correctamente los materiales de los contornos, Odeon ofrece la posibilidad de realizar un mallado parcial del recinto, equivalente a situar receptores equiespaciados entre sí a una altura concreta, con el fin de calcular el SPL para cada uno de ellos. En este caso concreto se ha elegido un mallado con una separación de 10 m entre receptores y a una altura de 4 m sobre el suelo para cumplir las especificaciones de la normativa de ruido. Finalmente se procede a realizar los cálculos de propagación de ruido.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 6 a 8 se muestran los mapas de ruido obtenidos para los tres parques. Estos mapas permiten obtener una visión cualitativa de la distribución del ruido producido por los parques eólicos a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo. La escala muestra el SPL en ponderación A, sumada para todas las frecuencias de la banda de octavas. Como puede observarse, se produce un importante decaimiento del nivel del ruido a medida que aumenta la distancia a las turbinas.

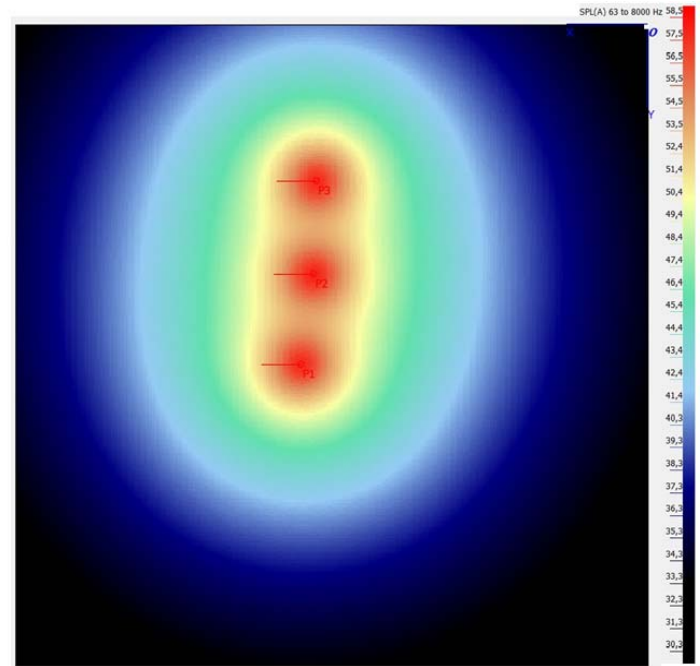


Figura 6. Mapa de ruido Cerro Conilete.

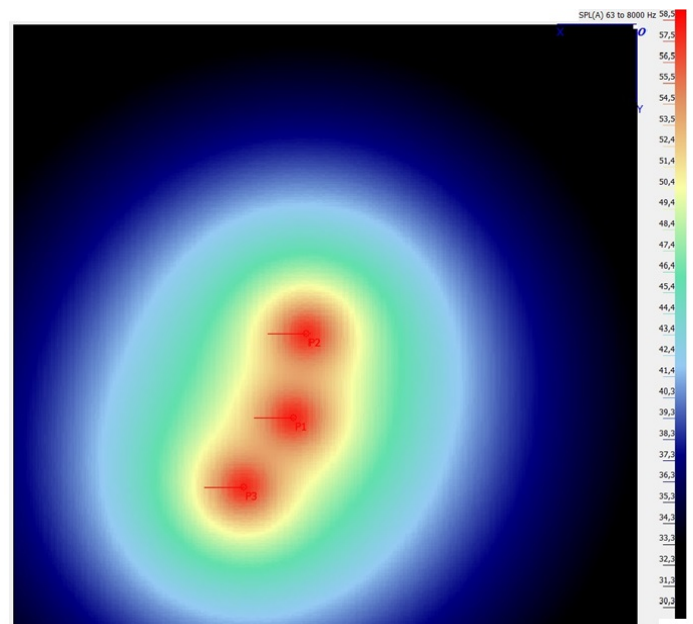


Figura 7. Mapa de ruido Loma de Suyal.

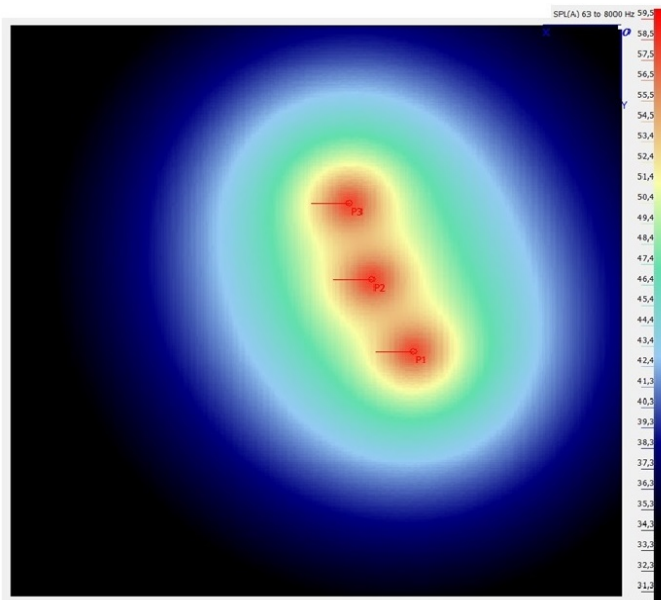


Figura 8. Mapa de ruido Loma de Peñuelas.

Con vistas a profundizar en el análisis de los resultados mostrados en las figuras previas, se ha representado gráficamente la variación del SPL en ponderación A con la distancia a las fuentes de ruido, es decir, las turbinas eólicas, a lo largo de la dirección longitudinal. Estos resultados se muestran en las figuras 9 a 11. Todos ellos corresponden a una frecuencia de 1000 Hz, característica del sistema auditivo humano.

La Figura 9 muestra los resultados obtenidos para el parque de Cerro Conilete. Como se observa en dicha figura, los valores máximos de ruido se producen en las inmediaciones de las turbinas ( $X = 1100$  m), decayendo rápidamente estos niveles a medida que aumenta la distancia a las mismas, de forma que aproximadamente a 800 m de las mismas los niveles de ruido prácticamente no superan los 35 dBA. Es interesante señalar también que la pendiente de las curvas disminuye a medida que aumenta la distancia a los aerogeneradores, siendo más proporcionales entre ellas, es decir, las distribuciones de ruido tienden a ser más uniformes.

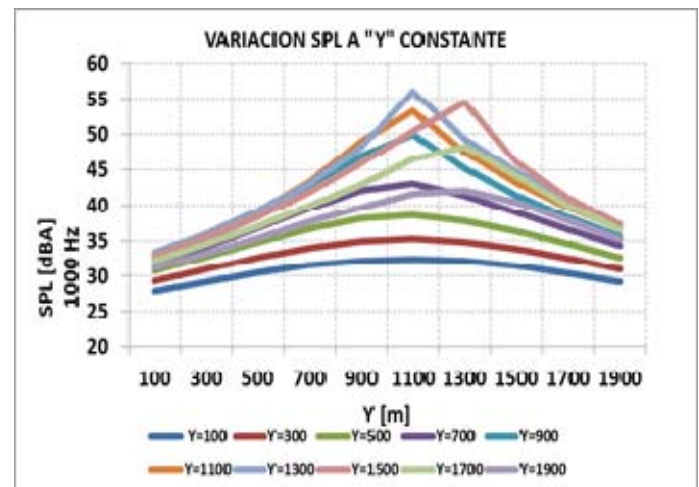


Figura 10. Variación longitudinal del SPL [dBA] con la distancia a las fuentes en Loma Sunyal.

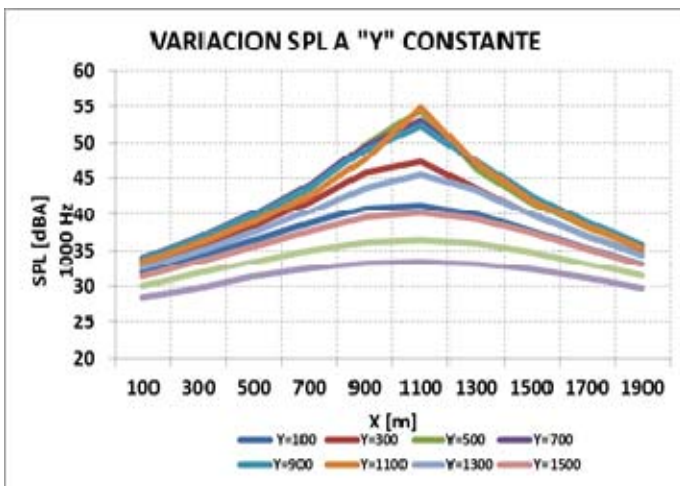


Figura 9. Variación longitudinal del SPL [dBA] con la distancia a las fuentes en Cerro Conilete.

En la Figura 10 se muestran los resultados obtenidos para el parque eólico de Loma Sunyal. Las tendencias que se observan en las distribuciones longitudinales del SPLA son similares a las obtenidas en Cerro Conilete, alcanzándose niveles de ruido ligeramente superiores en las inmediaciones de las turbinas. De hecho el máximo nivel de ruido que se obtiene es de 56.04 dBA, por encima de los 55 dBA permitidos por la norma reguladora del ruido. En cualquier caso, a distancias suficientemente alejadas de los aerogeneradores, que es donde se encuentran los núcleos residenciales más próximos, el SPLA decae a valores en torno a los 35 dBA.

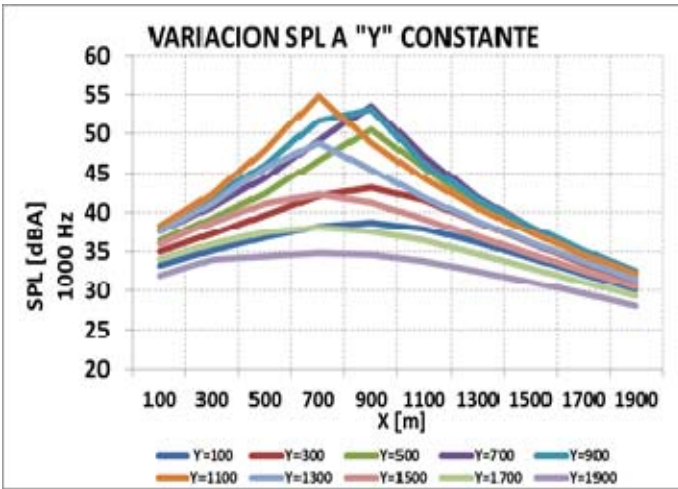


Figura 11. Variación longitudinal del SPL [dBA] con la distancia a las fuentes en Loma Peñuelas.

La Figura 11 muestra los resultados análogos a las figuras 9 y 10 para el parque eólico de Loma Peñuelas. Las tendencias observadas son claramente coincidentes con las obtenidas previamente, con niveles de ruido máximos (en torno a 55 dBA) en las proximidades de las turbinas y decayendo a medida que aumenta la distancia a las mismas, por lo que es de esperar que en los núcleos residenciales cercanos no se superen los valores límite de ruido establecidos por la normativa.

En las figuras 12 a 14 se muestran los espectros de frecuencia de cada receptor para las tres posibles ubicaciones del parque, tanto en dB como en ponderación A (dBA).

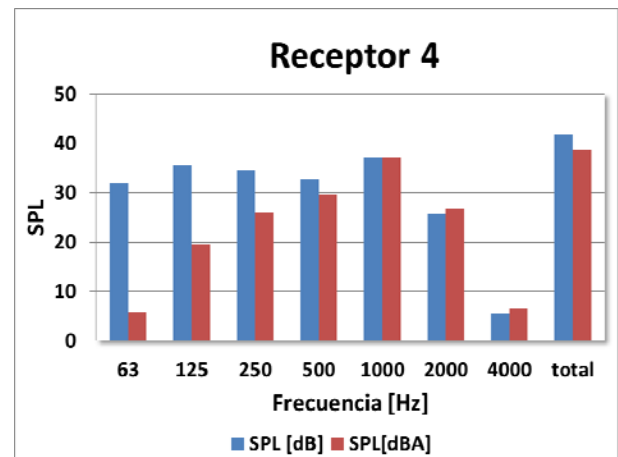
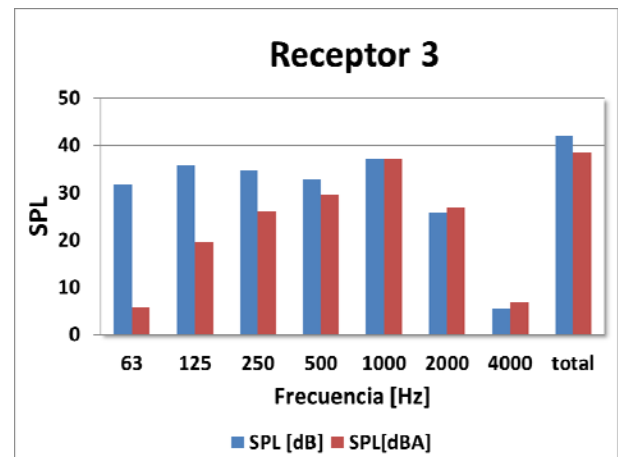
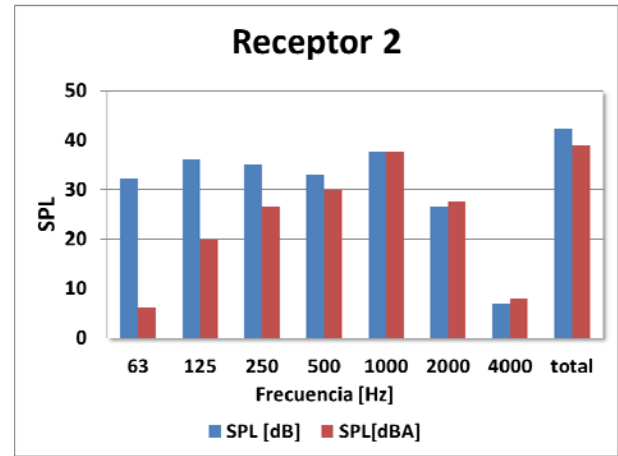
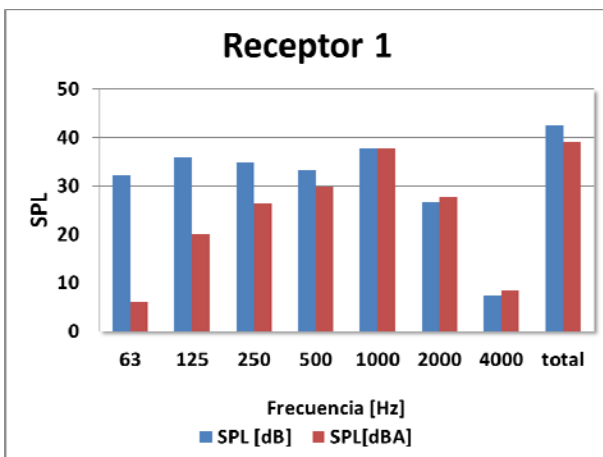


Figura 12. Espectros de frecuencia para los receptores del parque de Cerro Conilete.

La Figura 12 muestra los espectros de frecuencia correspondientes a los cuatro núcleos residenciales cercanos a Cerro Conilete. Señalar





que según el RD 1367/2007 [9], los máximos valores de ruido permitidos en un área residencial son de 45 dBA o 55 dBA, dependiendo de que sea horario nocturno o diurno.

En el parque de Cerro Conilete se observa que para ninguno de los receptores se superan los 45 dBA, de forma que el parque eólico cumpliría la legislación de ruido tanto en horario nocturno, más restrictivo, como en horario diurno. Además los niveles de ruido son muy similares en los cuatro núcleos residenciales, con máximos que se obtienen a la frecuencia de 1000 Hz.

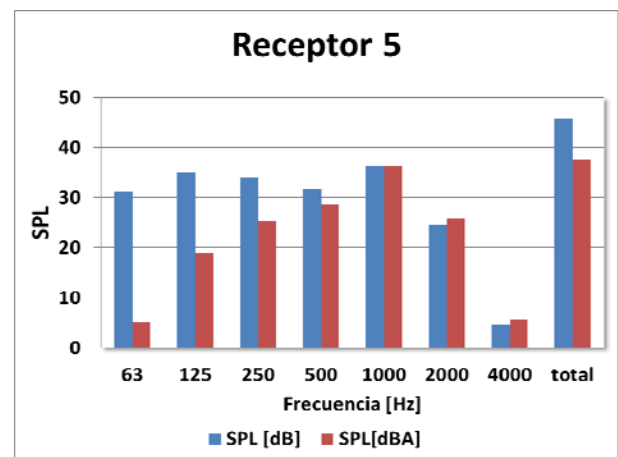
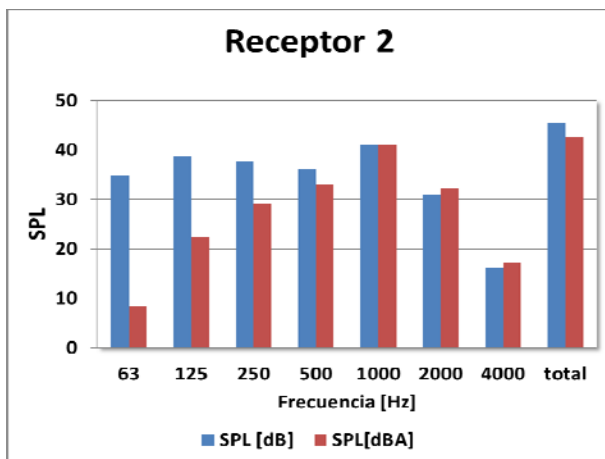
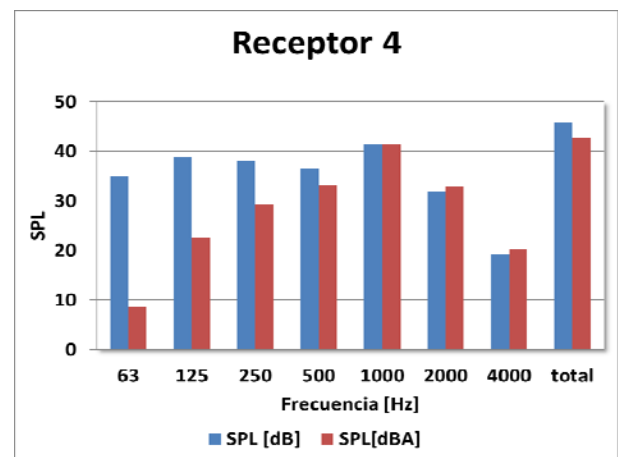
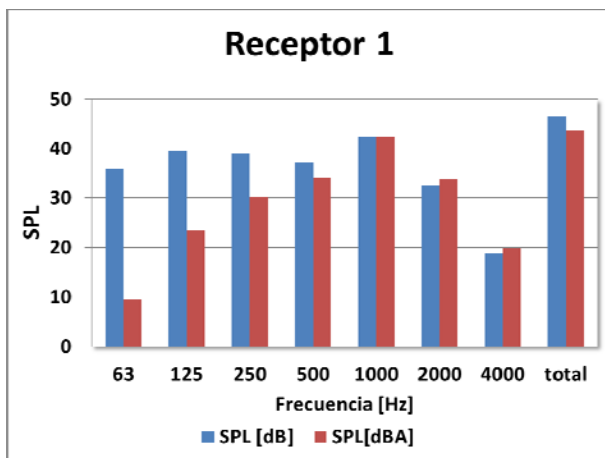
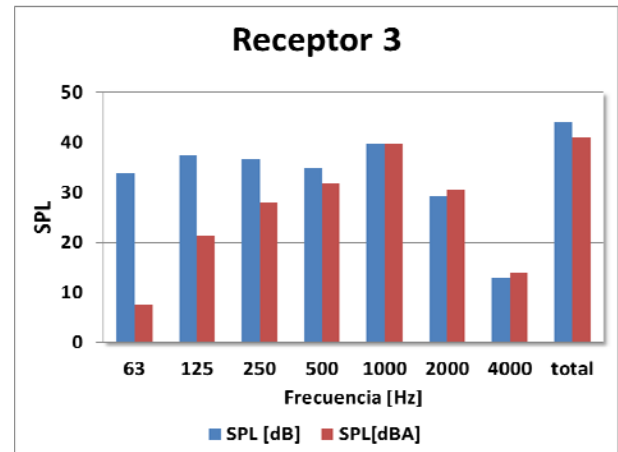


Figura 13. Espectros de frecuencia en las posiciones de los receptores del parque de Loma Sunyal.





En la Figura 13 se han representado los espectros de frecuencia correspondientes a los cinco receptores de Loma Sunyal. En este caso, al igual que ocurre en Cerro Conilete, no se superan los 45 dBA para ninguno de los núcleos residenciales considerados, aunque en general los valores del SPLA son superiores a los de Cerro Conilete. Al igual que se observa en los resultados de la Figura 12, para la frecuencia de 1000 Hz se obtienen los niveles máximos de ruido.

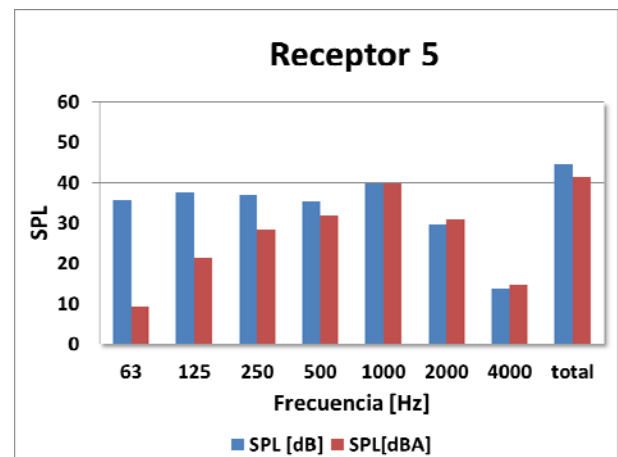
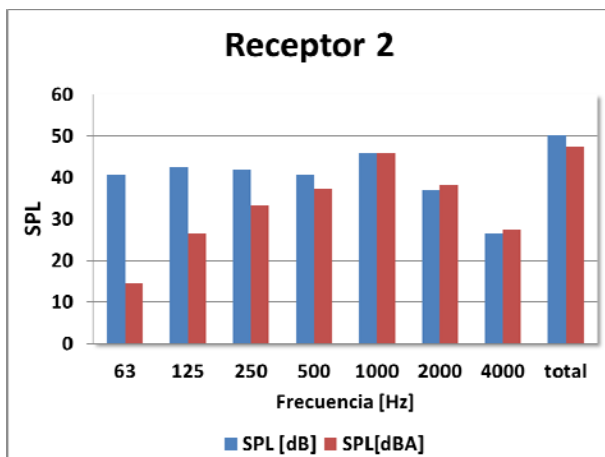
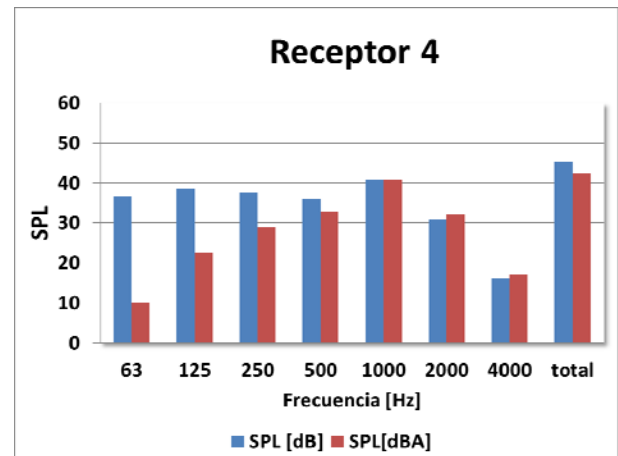
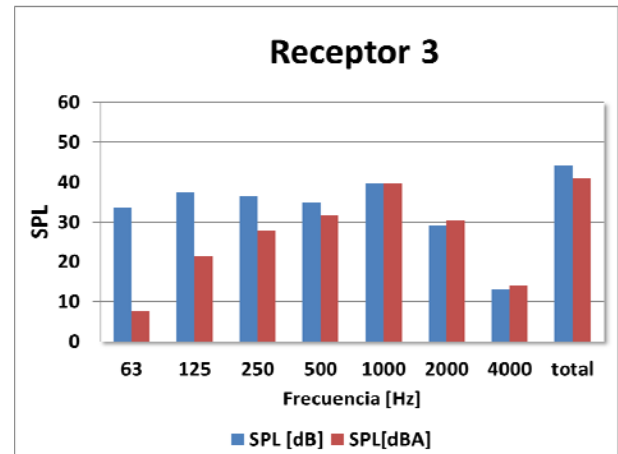
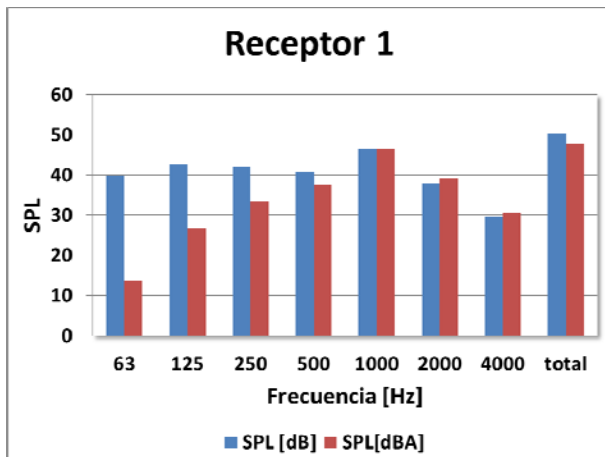


Figura 14. Espectros de frecuencia en las posiciones de los receptores del parque de Loma Peñuelas.

La Figura 14 muestra los espectros de frecuencia correspondientes a los cinco núcleos residenciales cercanos al parque de Loma



Peñuelas. En este caso se observa que en las posiciones de los receptores 1, 2 y 4, se superan los 45 dBA, con lo que el parque no cumpliría con la legislación de ruido en horario nocturno. Al igual que en el caso de Cerro Conilete y Loma Sunyal, la frecuencia a la que se obtienen niveles de ruido más elevados corresponde a 1000 Hz.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha llevado a cabo la evaluación del impacto acústico de un parque eólico que va a ser construido en la provincia de Cádiz. Para la construcción del parque se han propuesto tres posibles ubicaciones, siendo necesario evaluar cuál de ellas es la más idónea con vistas a cumplir los requisitos establecidos en la Ley del Ruido. Para ello se ha utilizado el software Odeon Room Acoustics con vistas a obtener numéricamente los valores del SPL que generaría el parque en los núcleos residenciales próximos a las tres ubicaciones propuestas.

En vista de los resultados obtenidos a partir de las simulaciones, en este estudio del impacto acústico del parque eólico se concluye que su ubicación óptima, desde el punto de vista de la generación de ruido, es la ubicación conocida como Cerro Conilete. En dicha ubicación el nivel de ruido generado por el parque en los núcleos residenciales que se encuentran en sus proximidades no supera los 45 dBA, con lo que se cumplen las especificaciones dadas en el RD 1367/2007 de 19 de Octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003 del 17 de Noviembre del Ruido. Adicionalmente, y como ventaja añadida, en las proximidades de Cerro Conilete se encuentran cuatro núcleos residenciales, mientras que en las cercanías de Loma Sunyal y Loma Peñuelas hay cinco núcleos, por lo que el número de personas a las que afectaría el parque sería menor.

## NOMENCLATURA

$H_h$  Altura del buje.  
 SPL Nivel de presión sonora [dB].  
 SPLA Nivel de presión sonora con ponderación A [dBA].

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi tutora Katia María Argüelles Díaz el apoyo recibido durante la realización de este trabajo de investigación. Así mismo, quiero agradecer a los profesores del Área de Mecánica de Fluidos su dedicación a la hora de impartir la docencia en el Máster de Energía, lo que me ha servido para adquirir los conocimientos necesarios para realizar este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] Antón, M.A.; Pérez Lacorzana, J.M.; "Evaluación de los riesgos en fase de diseño de los aerogeneradores". Informe interno del Centro de Acústica Aplicada
- [2] Rogers, A.L.; Manwell, J.F.; Wright, S.; "Wind Turbine Acoustic Noise". Renewable Energy Research Laboratory University of Massachusetts at Amherst January 18, 2006
- [3] Teague, P.; "Prediction, Validation, Assessment and Compliance of Wind Farm Noise in Australia" Fourth International Meeting on Wind Turbine Noise, 2011
- [4] Wagner, S.; Bareiß, R.; Guidati, G.; "Wind Turbine Noise". EUR 16823 Universidad de Stuttgart, 1996
- [5] Vargas, L.F.C.; "Wind Turbine Noise Prediction". Instituto Superior Técnico, Universidad Técnica de Lisboa, Noviembre 2008
- [6] Guarnaccia, C.; Lenza, T.L.L.; Quartieri, J.; "On the propagation model of wind farm noise". Fourth International Meeting on Wind Turbine Noise, 2011
- [7] Kaliski; Duncan; (2008). "Improving Predictions of Wind Turbine Noise Using PE Modeling." Presented at NOISE-CON 2011 - Institute of Noise Control Engineers, Portland, OR, July 2011
- [8] Odeon Room Acoustics program (user Manual) Version 10.1
- [9] RD 1367/2007 de 19 de Octubre por el que se desarrolla la Ley 37/2003 del 17 de Noviembre del Ruido