

Universidade de Vigo



Facultade de Ciencias

Trabajo de Fin de Grado

ESTUDIO DE IMPACTO ACÚSTICO DE PARQUE EÓLICO

Trabajo realizado por:

David Lago Lago

Dirigido por:

Raquel Olalla Nieto Muñiz

Marta Vázquez Domínguez

Titulación:

Grado en ciencias ambientales

Ourense, julio de 2020

Dra. Raquel-Olalla Nieto Muñiz, profesora titular del área de Física de la Tierra, del departamento de Física Aplicada de la Universidad de Vigo y la Dra. **Marta Vázquez Domínguez** investigadora del Área de Física de la Tierra, del departamento de Física Aplicada de la Universidad de Vigo,

INFORMAN:

Que el trabajo titulado "**Estudio de impacto acústico de parque eólico**" presentado por **D. David Lago Lago**, con **D.N.I.: 36152745-B**, y autorizamos su presentación como **Trabajo Fin de Grado del Grado de Ciencias Ambientales** al considerarlo apto para ser defendido.

Ourense, 3 de julio de 2020

D^a. Raquel-Olalla Nieto Muñiz

D^a. Marta Vázquez Domínguez

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	OBJETO	5
3.	NORMATIVA Y LEGISLACIÓN APLICABLE	6
3.1.	MARCO NORMATIVO	6
3.1.1.	MARCO EUROPEO	6
3.1.2.	MARCO NACIONAL	6
3.1.3.	MARCO AUTONÓMICO	9
3.1.4.	MARCO LOCAL	9
3.2.	EXIGENCIAS ACÚSTICAS APLICABLES	9
4.	ENTORNO Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	10
4.1.	LOCALIZACIÓN	10
4.2.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PARQUE EÓLICO	11
5.	HERRAMIENTAS PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA ACÚSTICO	13
5.1.	SOFTWARE DE SIMULACIÓN	13
5.2.	VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS	13
6.	SIMULACIÓN Y RESULTADOS	15
6.1.	CONFIGURACIÓN DEL ENTORNO	15
6.2.	CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE RUIDO	17
6.3.	SIMULACIÓN Y RESULTADOS	17
7.	CONCLUSIONES	19
8.	AGRADECIMIENTOS	20
9.	BIBLIOGRAFIA	21
10.	ANEXO I: MAPA DE RUIDO DEL PARQUE EÓLICO	23
11.	ANEXO II: FICHA TÉCNICA DE ESPECIFICACIÓN DE RUIDO DE LOS AEROGENERADORES	24

1. INTRODUCCIÓN

Se denomina contaminación ambiental a la presencia de componentes nocivos (químicos, físicos o biológicos) en el medio ambiente (entorno natural y artificial), que creen un perjuicio a los seres vivos que lo habitan. La causa principal por la que se inicia la contaminación ambiental es la actividad humana.

En lo que respecta a nuestro estudio se trata de la contaminación acústica;

“Se entiende por contaminación acústica la presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente.”

La contaminación acústica tiene características concretas que lo diferencian; es barato de producir ya que necesita muy poca energía para ser emitido, no deja residuos, ni tiene un efecto acumulativo en el medio, a diferencia que en los seres vivos que, si lo tiene, se percibe solo por un sentido, tiene un radio de acción bajo con respecto a otros contaminantes.

Esta contaminación puede causar efectos negativos sobre los habitantes de una población, reduciendo su calidad de vida, modificando sus actividades y generando un problema de salud. Por ello es necesario determinar los niveles de ruido que sufre dicha población.

Para tratar de solucionar se establecieron legislaciones que fijan los niveles máximos de ruido permitidos dependiendo el tipo de zona a la cual afecta, estableciendo tanto a nivel nacional como autonómico, legislación que fija los niveles máximos de ruido permitidos dependiendo del tipo de zona en cuestión (si es una zona residencial, industrial, docente sanitaria, etc). En este proyecto se lleva a cabo el estudio de la contaminación acústica en Baleira. Se llevan a cabo el cálculo de medidas de los niveles de ruido en los puntos estratégicos establecidos y se implementa la simulación que nos permite ver cómo se distribuye el ruido por toda la zona, de esta forma se verificará si se está cumpliendo con la legislación vigente sobre la contaminación acústica.

2. OBJETO

El objeto principal del presente estudio es, por tanto, el de comprobar la huella de ruido que generan los aerogeneradores previstos en el Parque Eólico, así como el de evaluar su contribución al ruido ambiental ya existente en la zona, con el fin de analizar su influencia sobre el entorno. Para ello se ejecutarán los siguientes trabajos;

- Realización del estudio de impacto acústico en el entorno del Parque Eólico debido a los 4 aerogeneradores previstos, dentro del término municipal de Baleira, en la provincia de Lugo;
- Procedimiento realizado y las conclusiones alcanzadas.

3. NORMATIVA Y LEGISLACIÓN APLICABLE

3.1. MARCO NORMATIVO

3.1.1. MARCO EUROPEO

La Unión Europea viene abordando desde hace años la lucha contra el ruido en el marco de su política medioambiental a través de directivas comunitarias que tienen por objeto la reducción de la contaminación acústica generada por los distintos tipos de emisores acústicos existentes.

En el año 2002 entró en vigor la **Directiva 2002/49/CE**, de 25 de junio, sobre la evaluación y gestión de ruido ambiental, con la que se pretende, por un lado, establecer un enfoque común destinado a evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos, incluyendo las molestias, derivados de la exposición al ruido ambiental; y, por otro lado, crear una base científica que permita tomar medidas a nivel comunitario, encaminadas a reducir la emisión de ruido de las principales fuentes de ruido.

Esta Directiva se complementó con la conocida como *Recomendación de 6 de agosto de 2003 relativa a las Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario y los datos de emisiones correspondientes*, donde se establecen los métodos estándar de cálculo para la evaluación de los diferentes focos de ruido. En particular, la Comisión Europea decidió desarrollar un método común armonizado para la evaluación del ruido generado por el tráfico viario, ferroviario y aeroportuario, así como por las actividades y focos industriales. A este método se le ha denominado **CNOSSOS-EU** (*Common NOise aSSessment methOdS*) y su principal objetivo es el establecimiento de una metodología común para la realización de los Mapas Estratégicos de Ruido, de tal modo que los resultados obtenidos en cada Estado Miembro sean fiables, realistas y que además puedan ser comparables entre sí. El método CNOSSOS-EU aporta, además, una herramienta fundamental para el cálculo general de los niveles de ruido que generan los citados focos, así como para la evaluación de la exposición de la población al ruido ambiental. Esta información permitirá a los Estados Miembros detectar el grado de afección acústica de cualquier entorno y diseñar en consonancia los planes de acción de lucha contra el ruido, con mayor precisión y eficiencia de lo que se lo obtenía con la metodología empleada hasta la fecha.

3.1.2. MARCO NACIONAL

La Directiva comunitaria fue traspuesta al ordenamiento jurídico nacional a través de la **Ley 37/2003**, de 17 de noviembre, **del Ruido**. El objeto de esta ley no es simplemente el de transponer la anterior Directiva, sino además el de cohesionar las diferentes ordenaciones sobre contaminación acústica existentes en España.

El ámbito de aplicación de esta Ley se delimita a todos los emisores acústicos de cualquier índole, así como las edificaciones en calidad de receptores acústicos, excluyendo aquellas actividades que, por su naturaleza, tiene una reglamentación específica (ambiente laboral o militar), así como las actividades domésticas o vecinales reguladas mediante ordenanzas locales.

En la Ley del Ruido se definen dos conceptos fundamentales a la hora de hablar en términos de contaminación acústica:

- **Emisor acústico**, entendido como cualquier actividad, infraestructura, equipo, maquinaria o comportamiento que genere contaminación acústica.

- **Calidad acústica**, definida como el grado de adecuación de las características acústicas de un espacio a las actividades que se realizan en su ámbito, evaluado, entre otros factores, de acuerdo a los niveles de inmisión y emisión acústica.

Es labor del Gobierno establecer la reglamentación correspondiente mediante la cual fijar los *objetivos de calidad acústica* aplicables a los distintos tipos de área acústica en que se zonifica el territorio, en función de los distintos tipos de suelo, de tal modo que se garantice en todo el territorio un nivel mínimo de protección frente a la contaminación acústica.

El **Real Decreto 1513/2005**, de 16 de diciembre, desarrolla la Ley del Ruido en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental. En él se define un marco destinado a evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos, incluyendo las molestias, de la exposición al ruido ambiental y completar la incorporación al ordenamiento jurídico español la Directiva 2002/49/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

En dicho Decreto se definen también los **índices de ruido**, así como los métodos de evaluación de los mismos y los efectos nocivos asociados. En los índices de ruido destacan los siguientes:

- L_d (índice de ruido día): índice de ruido asociado a la molestia durante el período día, comprendido entre las 7:00 y las 19:00 horas.
- L_e (índice de ruido tarde): índice de ruido asociado a la molestia durante el período tarde, comprendido entre las 19:00 y las 23:00 horas.
- L_n (índice de ruido noche): índice de ruido asociado a la molestia durante el período noche, comprendido entre las 23:00 y las 7:00 horas.
- L_{den} (índice de ruido día-tarde-noche): índice de ruido asociado a la molestia global.

Este Real Decreto establece además la elaboración de *Mapas Estratégicos de Ruido* para determinar la exposición de la población al ruido ambiental, así como la adopción de *Planes de Acción* para prevenir y reducir dicho ruido y, en particular, cuando los niveles de exposición puedan tener efectos nocivos en la salud humana.

El desarrollo reglamentario de la Ley del Ruido se completa con el **Real Decreto 1367/2007**, de 19 de octubre, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, y su posterior modificación del **Real Decreto 1038/2012**, de 6 de julio. Así, entre los aspectos más relevantes que abarcan, destacan los siguientes:

- ✓ La definición de otros índices de ruido y de vibraciones, como los siguientes:
 - $L_{Amáx}$, para evaluar los niveles sonoros máximos durante un periodo temporal de evaluación.
 - $L_{k,x}$, para evaluar la molestia y los niveles sonoros, con correcciones de nivel por componentes tonales emergentes, por componentes de baja frecuencia o por ruido de carácter impulsivo, promediados a largo plazo, en el periodo temporal de evaluación "x".
 - L_{aw} , para evaluar la molestia de los niveles de vibración máximos, durante un periodo temporal de evaluación, en el espacio interior de edificios.

- ✓ Las aplicaciones de dichos índices, sus efectos y molestias sobre la población, así como su repercusión en el medio ambiente.
- ✓ La delimitación de los distintos tipos de **áreas acústicas**:
 - **Tipo a**: Sectores de territorio con predominio de suelo de uso residencial.
 - **Tipo b**: Sectores de territorio con predominio de suelo de uso industrial.
 - **Tipo c**: Sectores de territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.
 - **Tipo d**: Sectores de territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en las áreas de tipo c.
 - **Tipo e**: Sectores de territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural.
 - **Tipo f**: Sectores de territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte u otros equipamientos públicos que los reclamen.
- ✓ El establecimiento de los **objetivos de calidad acústica** para cada área. Según las modificaciones establecidas en el Real Decreto 1038/2012 para la Tabla A del Anexo II del Real Decreto 1367/2007, los objetivos de calidad acústica correspondientes a cada una de las áreas acústicas definidas y referenciados a 4 metros de altura, son los mostrados en la tabla a continuación:

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L _d	L _e	L _n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	60	60	50
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	65	65	55
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c).	70	70	65
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	73	73	63
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	75	75	65
f	Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen. (1)	(2)	(2)	(2)

(1) En estos sectores del territorio se adoptarán las medidas adecuadas de prevención de la contaminación acústica, en particular mediante la aplicación de las tecnologías de menor incidencia acústica de entre las mejores técnicas disponibles, de acuerdo con el apartado a), del artículo 18.2 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.

(2) En el límite perimetral de estos sectores del territorio no se superarán los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al resto de áreas acústicas colindantes con ellos.

Nota: Los objetivos de calidad aplicables a las áreas acústicas están referenciados a una altura de 4 m.»

Tabla 1. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes (fuente: R.D. 1367/2007 y R.D. 1038/2012)

- ✓ El Real Decreto 1367/2007 establece también en la tabla B de su anexo II los objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a viviendas, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales.

Uso del edificio	Tipo de Recinto	Índices de ruido		
		L_d	L_e	L_n
Vivienda o uso residencial	Estancias	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Hospitalario	Zonas de estancia	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Educativo o cultural	Aulas	40	40	40
	Salas de lectura	35	35	35

(1) Los valores de la tabla B, se refieren a los valores del índice de inmisión resultantes del conjunto de emisores acústicos que inciden en el interior del recinto (instalaciones del propio edificio, actividades que se desarrollan en el propio edificio o colindantes, ruido ambiental transmitido al interior).

Nota: Los objetivos de calidad aplicables en el espacio interior están referenciados a una altura de entre 1,2 m y 1,5 m.

Tabla 2. Objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a viviendas, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales

3.1.3. MARCO AUTONÓMICO

En lo que respecta a la Comunidad Autónoma de Galicia, el **Decreto 106/2015, del 9 de junio, sobre contaminación acústica de Galicia** establece en su artículo 3 las competencias de la Administración General de la Comunidad Autónoma de Galicia en materia de medio ambiente, en particular, en el control y cumplimiento de la normativa de contaminación acústica, la exigencia de las medidas correctoras, si fueran necesarias, así como el control de los métodos de evaluación de los efectos nocivos en el marco del Real Decreto 1513/2005, en lo referido a la evaluación y gestión del ruido ambiental. Asimismo, el Decreto 106/2015 establece en su artículo 6 que toda nueva infraestructura de competencia autonómica o local situada en Galicia deberá respetar los valores límite de recepción establecidos en el Real Decreto 1367/2007, en función del área acústica afectada.

3.1.4. MARCO LOCAL

Los Concellos intervinientes carecen en la actualidad de una normativa específica de protección del medio ambiente contra la contaminación acústica.

3.2. EXIGENCIAS ACÚSTICAS APLICABLES

En base al marco normativo, por tanto, se toman como referencia los objetivos de calidad acústica aplicables a **áreas acústicas residenciales**, con la finalidad de garantizar que el impacto acústico sobre las viviendas más próximas al parque eólico objeto de estudio se mantienen dentro de los límites establecidos en la Tabla 1. Puesto que los aerogeneradores pueden entrar en funcionamiento de manera continua y simultánea, independientemente del momento del día, resulta indiferente emplear cualquiera de los índices globales de ruido para la evaluación de los niveles de ruido en el entorno, ya sea el L_d (periodo día), el L_e (periodo tarde) o el L_n (periodo noche). No obstante, se toma como valor límite de referencia el del objetivo de calidad establecido para el **periodo nocturno** en áreas acústicas residenciales, esto es, **55 dBA**, por resultar ser dicho periodo el más restrictivo.

4. ENTORNO Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

4.1. LOCALIZACIÓN

El presente estudio se realiza sobre el Parque Eólico, ubicado en el término Municipal de Baleira, provincia de Lugo. Este Parque se localiza en una zona en la que se ubican a mayor o menor distancia diferentes núcleos de viviendas.

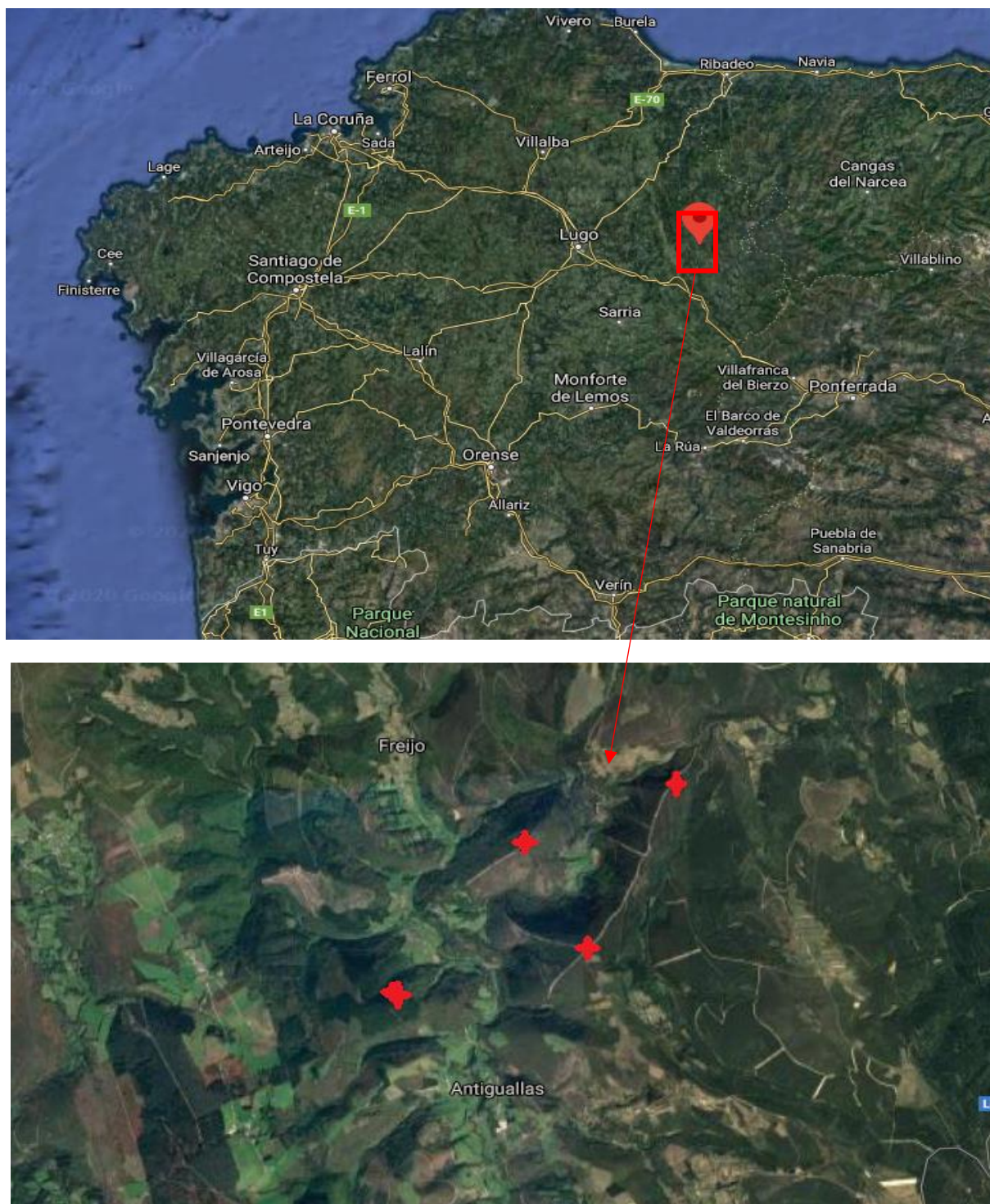


Figura 1. Localización aproximada del Parque Eólico de ejemplo situado en Baleira, Lugo (marcada en el mapa superior en el recuadro en rojo). En el mapa inferior se indican las posiciones de los cuatro aerogeneradores con las cruces en rojo.

El Parque Eólico está compuesto por cuatro aerogeneradores y estará destinado a la producción de energía eléctrica aprovechando la energía eólica, permitiendo así ahorrar otras fuentes energéticas como son los combustibles fósiles y fomentando el uso de otras opciones energéticas renovables y alternativas.

4.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PARQUE EÓLICO

El Parque Eólico, objeto del presente estudio, lo componen **cuatro aerogeneradores**, de la marca ENERCON, modelo E-92 de 2350 kW de potencia, cuyas principales características son las indicadas a continuación:

- Turbina eólica: E92/2300
- Potencia: 2350 kW
- Diámetro rotor: 92 m
- Altura buje: 78 m

En lo referente a la potencia acústica de cada generador, ésta depende directamente de la velocidad del viento, de manera que a velocidades de viento bajas (menos de 5 m/s), la potencia acústica es menor, mientras que a velocidades de viento elevadas (superior a 5 m/s), la potencia acústica se va incrementando progresivamente. El fabricante proporciona los siguientes datos relativos a la potencia acústica de los aerogeneradores en función de la velocidad del viento, de manera que a velocidades inferiores a 5 m/s la potencia acústica es de aproximadamente 99 dBA, mientras que a velocidades por encima de 9 m/s la potencia acústica alcanza los 105 dBA.

Velocidad del viento a 10 m de altura (m/s)	Potencia acústica L_w (dBA)
5	99,4
6	101,9
7	103,3
8	104,2
9	105,0
10	105,0

Tabla 3. Niveles máximos de potencia acústica del aerogenerador en función de la velocidad del viento

La potencia acústica máxima de cada aerogenerador es, por tanto, de 105 dBA. En el Anexo II se recoge la ficha de especificaciones técnicas de estos aerogeneradores.

Por último, se muestran en la siguiente tabla las coordenadas UTM (Datum etrs89, huso 29) de los aerogeneradores analizados extraída del proyecto general:

Vértice	UTM-X	UTM-Y	AYUNTAMIENTO
AE 1	651889,5	4764401,3	Baleira
AE 2	650852,9	4762858,1	Baleira
AE 3	652433,8	4763466	Baleira
AE 4	653049,9	4764915	Baleira

Tabla 4. Coordenadas de los aerogeneradores pertenecientes al Parque Eólico

5. HERRAMIENTAS PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA ACÚSTICO

5.1. SOFTWARE DE SIMULACIÓN

Para la modelización de entorno objeto de estudio y la simulación del impacto acústico en el medio ambiente se hace uso del software de simulación **CadnaA** (*Computer Aided Noise Abatement*), en su versión XL, desarrollado por la empresa Datakustik.

Este software permite el cálculo, predicción, presentación y valoración de los niveles de exposición al ruido de un entorno dado a base a las fuentes de ruido definidas previamente. CadnaA está implementado en el lenguaje de programación C/C++ y permite la óptima comunicación tanto con otras aplicaciones Windows™ como procesadores de texto, hojas de cálculo, programas de CAD y bases de datos GIS.

Para el cálculo de la huella de ruido en el entorno planteado se toma como base el método de cálculo descrito en CNOSSOS-EU, según lo indicado en el apartado 3.1, el cual estandariza el protocolo de atenuación del sonido en campo abierto.



Figura 2. Ejemplo de mapa acústico obtenido con CadnaA

5.2. VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS

GIS (*Geographic Information Systems*) es un sistema de gestión, análisis y presentación de datos geográficos, que son representados usando unos determinados paquetes de información tales como mapas, globos, paquetes de datos geográficos etc.

ESRI es una empresa dedicada al diseño y desarrollo de la primera tecnología de sistemas de información geográfica. Así, ha desarrollado una potente herramienta de tratamiento de datos geográficos llamada **ArcGIS**.

El paquete ArcGIS posee una rama de edición llamada **ArcGIS Desktop** en la cual están incluidos el ArcInfo, ArcEditor, ArcView y ArcMap. Este último ha sido el elegido en su versión 10.1 para editar y representar los datos de los trazados.

Esta herramienta GIS se utiliza por diversas razones: principalmente por comodidad, puesto que posee todas las aplicaciones y maneja todos los aspectos a tener en cuenta de una base de datos geográfico y,

además, por manejar un tipo de datos muy útil para el tratamiento de bases de datos geográficas: el **shapefile**.

El formato **ESRI Shapefile (SHP)** es un formato propietario abierto de datos espaciales desarrollado por la compañía ESRI. Originalmente se creó para la utilización con ArcGIS, pero actualmente se ha convertido en formato estándar *de facto* por la importancia que los productos ESRI tienen en el mercado GIS. Es, a su vez, el formato exigido por el Ministerio de Fomento para la entrega en formato digital de mapas de ruido.

Un shapefile es un formato vectorial de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos geográficos y los atributos asociados a ellos. El formato carece de capacidad para almacenar información topológica.

ArcGIS permite la comunicación con CadnaA, de manera que se pueden exportar de este último la capa de los niveles de ruido generada en simulación, así como otras capas que se puedan considerar de interés, y visualizarlas en ArcGIS con el resto de capas que conformen el proyecto.

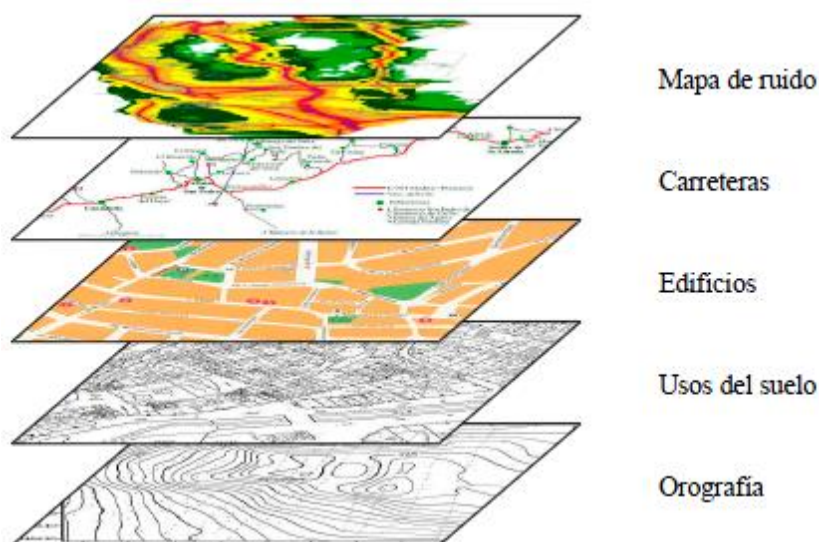


Figura 3. Ejemplo de capas de datos en ArcGIS

6. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

Para el cálculo predictivo de los niveles de ruido en el entorno descrito se emplea el software profesional CadnaA, en su versión XL, por estar diseñado específicamente para el cálculo, evaluación y predicción de la contaminación acústica generada por fuentes de ruido a su alrededor.

6.1. CONFIGURACIÓN DEL ENTORNO

En base a los datos proporcionados por el Peticionario, se lleva a cabo el modelado en CadnaA del entorno objeto de estudio y que influye en la propagación del sonido en campo libre. Dicho modelado se lleva a cabo en 3 fases:

☞ **FASE 1**

En una primera fase se configura CadnaA para llevar a cabo la simulación de impacto acústico:

- **Configuración general**

En primer lugar, se define el método de cálculo CNOSSOS-EU como el estándar para el cálculo de los niveles de ruido generados por fuentes de ruido en medio ambiente exterior, como en este caso los distintos aerogeneradores del parque eólico.

- **Configuración de reflexiones**

Para este tipo de cálculos se configuran las reflexiones con un orden máximo de reflexión de 1, lo que equivale a decir que únicamente se han de considerar las reflexiones de 1^{er} orden. En base al manual de buenas prácticas, las calles y carreteras se consideran, en términos acústicos, totalmente reflectantes ($G=1$), mientras que los edificios se consideran parcialmente absorbentes ($G=0.2$) y una absorción acústica media para jardines y terrenos blandos ($G=0.5$).

- **Configuración de condiciones meteorológicas**

La influencia de las condiciones meteorológicas en la propagación del sonido se configura de manera que la probabilidad de ocurrencia de condiciones atmosféricas favorables a la propagación del sonido en todas las direcciones es de un 50% durante el periodo diurno, de un 75% durante el periodo de tarde y de un 100% durante el periodo nocturno.

- **Configuración del MDT (Modelo Digital del Terreno)**

Para obtener el modelo 3D del entorno se aplica la técnica de triangulación de los puntos de cota, elevando los emisores con cota negativa a cota de terreno positiva.

- **Configuración de la malla de cálculo**

Por último, se configura una malla de cálculo de 10 metros x 10 metros, suficiente para el análisis de la zona de estudio, y una altura de recepción de 4 metros sobre el nivel del terreno, tal y como indica la legislación vigente.

☞ **FASE 2**

Una vez configurados los parámetros de cálculo en CadnaA, se implementa el modelo del entorno objeto de estudio, entendiendo por tal aquel con las curvas de nivel del terreno, las edificaciones próximas existentes y el resto de objetos susceptibles de influir en la propagación acústica del sonido.

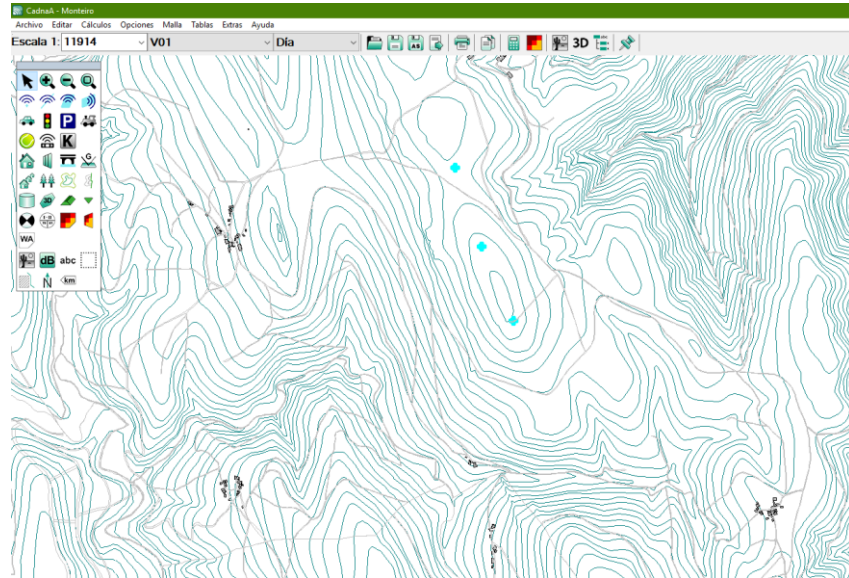


Figura 4. Ejemplo del modelo digital del terreno de una zona del entorno del Parque Eólico

☞ **FASE 3**

En tercer lugar, se implementan en el modelo de CadnaA el parque eólico y los aerogeneradores adecuadamente georreferenciados en la ubicación proyectada, ajustándolos al modelo digital del terreno.



Figura 5. Modelo 3D del Parque Eólico modelado en CadnaA

6.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE RUIDO

En este caso, las fuentes de ruido objeto de estudio son los cuatro aerogeneradores previstos para el Parque Eólico. Cada uno de ellos se ha configurado con una altura relativa de 107 metros sobre el nivel del suelo y con una potencia acústica de 104,9 dBA, esto es, en las condiciones de instalación y funcionamiento más desfavorables estándar en términos de propagación acústica.

6.3. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

La huella acústica correspondientes al funcionamiento de los aerogeneradores con una potencia de 104,9 dBA se muestra en el plano adjunto en el Anexo I.

Según se comprueba en de la huella acústica resultante, los niveles de ruido en las áreas de afección próximas a los núcleos de viviendas debidos al funcionamiento de los dos aerogeneradores están por debajo de los objetivos de calidad acústica establecidos para los diferentes periodos del día, siendo estos de 65 dBA para el día/tarde, y de 55 dBA para el periodo nocturno.

Se puede ver tanto en los fragmentos que se muestran a continuación, como en el plano general de resultados del Anexo I, como no hay ninguna vivienda que se vea incluida incluso dentro de la isófona de 50 dBA.

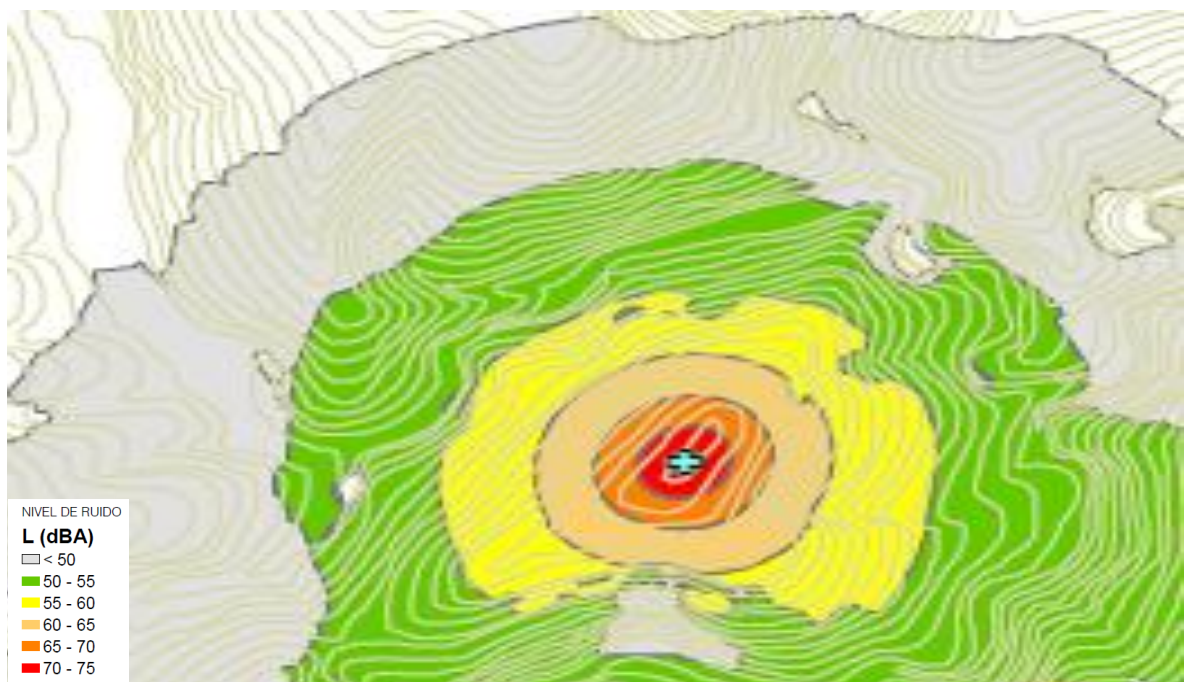


Figura 6. Fragmento del plano de resultados AE1.

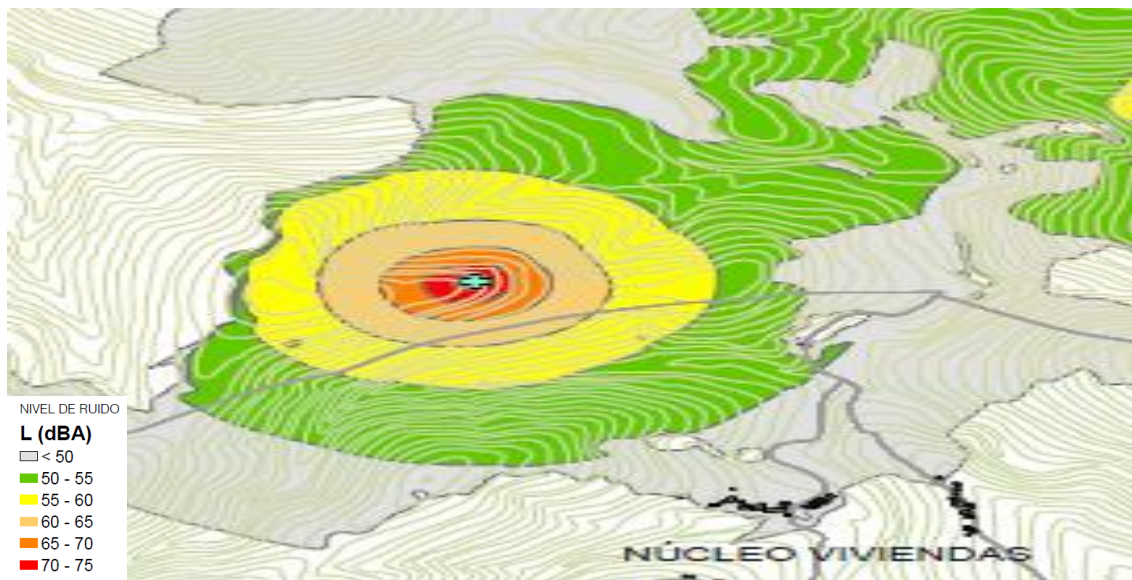


Figura 7. Fragmento del plano de resultados AE2



Figura 8. Fragmento del plano de resultados AE3 y AE4

7. CONCLUSIONES

Del estudio realizado se extraen las siguientes apreciaciones:

- El objeto del presente estudio es el de analizar el impacto acústico en el entorno del Parque Eólico, en el término municipal de Baleira, provincia de Lugo. El Parque Eólico indicado consta de cuatro aerogeneradores, cuyas características básicas se indican en el apartado 4.2.
- El análisis del impacto acústico debido al funcionamiento de los aerogeneradores se realiza mediante el software de simulación CadnaA, en su versión XL. Esta herramienta permite realizar un modelado 3D del entorno y definir los aerogeneradores como fuentes de ruido industrial, cuyo modelo de propagación sonora se rige por el método de cálculo CNOSSOS-EU
- La huella acústica correspondientes al funcionamiento de los aerogeneradores con una potencia máxima estándar de 104,9 dBA se muestra en el plano adjunto en el Anexo I, y según se comprueba, los niveles de ruido en las áreas de afección próximas a los núcleos de viviendas debidos al funcionamiento de los cuatro aerogeneradores cumplen con los objetivos de calidad acústica establecidos para los diferentes periodos del día, siendo estos de 65 dBA para el día/tarde, y de 55 dBA para el periodo nocturno. Se comprueba que no hay ninguna vivienda que se vea incluida incluso dentro de la isófona de 50 dBA.

En base a lo anterior, se concluye lo siguiente:

El funcionamiento continuo y simultáneo de los aerogeneradores previstos para el Parque Eólico, en el término municipal de Baleira, provincia de Lugo, genera una huella sonora tal que los niveles de ruido en las viviendas más cercanas se mantienen por debajo del valor Límite establecido para los objetivos de calidad acústica en áreas residenciales y, en particular, durante el periodo nocturno, por ser éste el que requiere de mayor protección contra la contaminación acústica.

8. AGRADECIMIENTOS

Debo agradecer de manera especial y sincera al Profesora Raquel Olalla Nieto Muñiz por aceptarme para realizar este trabajo. Su apoyo, confianza y paciencia en mi trabajo y su capacidad para guiarme, han sido la clave del buen trabajo. Le agradezco también dedicación y ayuda. Muchas gracias Profesora.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento a la empresa de Ingeniería Acústica Sonen, en especial a Oscar Outumuro por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de mi formación y ayuda. Debo destacar, por encima de todo, su disponibilidad y paciencia.

9. BIBLIOGRAFIA

DIRECTIVA 2002/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental

Diario Oficial de las Comunidades Europeas ES 18.7.2002

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=LV>

Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.

Publicado en:

«BOE» núm. 276, de 18 de noviembre de 2003, páginas 40494 a 40505 (12 págs.)

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-20976>

Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

Publicado en:

«BOE» núm. 301, de 17/12/2005.

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2005-20792>

Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Publicado en:

«BOE» núm. 254, de 23/10/2007.

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-18397>

Real Decreto 1038/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Publicado en:

«BOE» núm. 178, de 26 de julio de 2012, páginas 53556 a 53557 (2 págs.)

https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2012-9984

CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE, TERRITORIO E INFRAESTRUCTURAS

DECRETO 106/2015, de 9 de julio, sobre contaminación acústica de Galicia.

DOG Núm. 145/Lunes, 3 de agosto de 2015/Pág. 32021

https://www.xunta.gal/dog/Publicados/2015/20150803/AnuncioCA02-280715-0002_es.html

Manual cadnaa:

<https://www.datakustik.com/products/cadnaa/cadnaa/>


Manual Arcgis:

<https://www.esri.es/producto/arcgis-desktop/>

Manual Shapefile:

<https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>

11. ANEXO II: FICHA TÉCNICA DE ESPECIFICACIÓN DE RUIDO DE LOS AEROGENERADORES

	Sound Power Level E-92	Page 1 of 3
---	------------------------	----------------

Sound Power Level of the **ENERCON E-92** Operational Mode 0s / OM 0s (Data Sheet)

Imprint

Editor: ENERCON GmbH • Dreekamp 5 • 26605 Aurich • Germany

Telephone: 04941-927-0

Fax: 04941-927-109

Copyright: Unless otherwise specified in this document, the contents of this document are protected by copyright of ENERCON GmbH. All rights reserved. No use, including any copying or publishing, of this information is permitted without the prior written consent of ENERCON GmbH.

Updates: ENERCON GmbH reserves the right to continuously update and modify this document and the items described therein at any time without prior notice.

Revision

Revision: 1.2

Department: ENERCON GmbH / DIC-SP-AS

Glossary

WEC means an ENERCON wind energy converter.

WECs means more than one ENERCON wind energy converter.

Document Information:	© Copyright ENERCON GmbH. All rights reserved.	
Author/Revisor/ date:	RWo / 07.2016	Documentname
Approved / date:	NNo / 07.2016	Revision /date:
Translation / date		D0369631-2.doc

Sound Power Level for the E-92 with 2350 kW rated power

		in relation to standardized wind speed v_g at 10 m height					
hub height v_g in 10 m height	78m	85m	98 m	104 m	108 m	138 m	
	5 m/s	99,4 dB(A)	99,5 dB(A)	99,9 dB(A)	100,0 dB(A)	100,1 dB(A)	100,5 dB(A)
6 m/s	101,9 dB(A)	102,0 dB(A)	102,2 dB(A)	102,2 dB(A)	102,3 dB(A)	102,6 dB(A)	
7 m/s	103,3 dB(A)	103,3 dB(A)	103,4 dB(A)	103,5 dB(A)	103,5 dB(A)	103,7 dB(A)	
8 m/s	104,2 dB(A)	104,2 dB(A)	104,4 dB(A)	104,4 dB(A)	104,5 dB(A)	104,7 dB(A)	
9 m/s	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	
10 m/s	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	
95% rated power	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	105,0 dB(A)	

		in relation to wind speed at hub height								
wind speed at hub height [m/s]	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Sound Power Level [dB(A)]	99,5	101,4	102,5	103,6	104,1	104,6	105,0	105,0	105,0	

1. The relation between the sound power level and the standardized wind speed v_g in 10 m height as shown above is valid on the premise of a logarithmic wind profile with a roughness length of 0.05 m. The relation between the estimated sound power level and the wind speed at hub height applies for all hub heights. During the sound measurements the wind speeds are derived from the power output and the power curve of the WEC.
2. A tonal audibility of $\Delta L_{sk} < 2$ dB can be expected over the whole operational range (valid in the near vicinity of the turbine according to IEC 61400-11 ed. 2).
3. The sound power level values given in the table are valid for the Operational Mode 0s. The respective power curve is the D0351440-0_#_eng_#_PC_E-92_2350kW_OM0s_calculated_V1.0.
4. Due to the typical measurement uncertainties, if the sound power level is measured according to one of the accepted methods the measured values can differ from the values shown in this document in the range of +/- 1 dB.

Document information:		© Copyright ENERCON GmbH. All rights reserved.	
Author/Revisor/ date:	RW0 / 07.2016	Documentname	
Approved / date:	NN0 / 07.2016	Revision /date:	
Translation / date			D0359631-2.doc

Accepted measurement methods are:

- a) IEC 61400-11 ed. 2 („Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques; Second edition, 2002-12”), and
- b) the FGW-Guidelines („Technische Richtlinie für Windenergieanlagen – Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte”, published by the association “Fördergesellschaft für Windenergie e.V.”, 18th revision).

If the difference between total noise and background noise during a measurement is less than 6 dB a higher uncertainty must be considered.

5. For noise-sensitive sites it is possible to operate the E-92 with reduced rotational speed and reduced rated power during night time. The sound power levels resulting from such operational mode can be provided in a separate document upon request.
6. The sound power level of a wind turbine depends on several factors such as but not limited to regular maintenance and day-to-day operation in compliance with the manufacturer’s operating instructions. Therefore, this data sheet can not, and is not intended to, constitute an express or implied warranty towards the customer that the E-92 WEC will meet the exact sound power level values as shown in this document at any project specific site.

Document information:	© Copyright ENERCON GmbH. All rights reserved.	
Author/Revisor/ date:	RWo / 07.2016	Documentname
Approved / date:	NNo / 07.2016	Revision /date:
Translation / date		D0369631-2.doc