



**GUÍA PARA LA APLICACIÓN DEL DS N° 38, DE 2011,
DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE,
QUE ESTABLECE NORMA DE EMISIÓN DE RUIDOS
GENERADOS POR FUENTES QUE INDICA,
PARA PROYECTOS DE PARQUES EÓLICOS EN EL SEIA**



**GUÍA PARA LA APLICACIÓN DEL DS N° 38, DE 2011,
DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE,
QUE ESTABLECE NORMA DE EMISIÓN DE RUIDOS
GENERADOS POR FUENTES QUE INDICA,
PARA PROYECTOS DE PARQUES EÓLICOS EN EL SEIA**

Editores:

Ministerio del Medio Ambiente
Servicio de Evaluación Ambiental

Diagramación y Fotografías:

David Parra

Ilustraciones:

Alejandro Armendariz

2020



La Guía para la aplicación del DS N° 38, de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece norma de emisión de ruidos generados por fuentes que indica, para proyectos de parques eólicos en el SEIA, ha sido elaborada por el Departamento Ruido, Lumínica y Olores del Ministerio del Medio Ambiente, en colaboración de la División de Energías Sostenibles del Ministerio de Energía, la División de Gestión Ambiental y Cambio Climático del Ministerio de Energía y el Servicio de Evaluación Ambiental.

Este documento corresponde a uno de los resultados del Convenio entre el Ministerio de Energía y el Ministerio del Medio Ambiente, para abordar la gestión del ruido de parques eólicos en Chile.

Agradecemos a todas las personas que han hecho posible esta publicación, especialmente por la revisión del texto al personal del Servicio de Evaluación Ambiental, Ministerio de Energía y Ministerio del Medio Ambiente.

Contenidos

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. OBJETIVOS Y ALCANCES	5
2. CONCEPTOS RELEVANTES	6
2.1. AEROGENERADOR	6
2.2. PERFIL DE VIENTO	7
2.3. RUIDO DE AEROGENERADORES Y PARQUES EÓLICOS	8
3. APLICACIÓN DE LA NORMA DE RUIDO EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PARQUES EÓLICOS	10
3.1. ASPECTOS RELEVANTES DEL DS 38/2011 MMA	10
3.2. CONDICIONES DE VERIFICACIÓN DE LA NORMA	11
3.3. RUIDO DE FONDO	11
3.4. INSTRUMENTAL DE MEDICIÓN	13
4. CRITERIOS EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PARQUES EÓLICOS	14
4.1. ÁREA DE INFLUENCIA	14
4.2. PREDICCIÓN DE IMPACTOS	14
4.2.1. POTENCIA ACÚSTICA DE AEROGENERADORES	15
4.2.2. MODELOS PARA LA PREDICCIÓN DE NIVELES DE RUIDO	15
4.3. MONITOREO DE RUIDO	18
4.4. EFECTO SINÉRGICO	19
5. RECOMENDACIONES	20
5.1. METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DE VIENTO A ALTURA DE BUJE	20
5.1.1. TORRE DE MEDICIÓN CON ANEMÓMETRO EN LA ALTURA DE BUJE	20
5.1.2. MEDICIÓN CON SISTEMA SODAR O LIDAR EN LA ALTURA DE BUJE	20
5.1.3. TORRE DE MEDICIÓN CON ANEMÓMETRO O SISTEMA SODAR O LIDAR CON MEDICIONES EN ALTURAS DISTINTAS A LA ALTURA DE BUJE	20
5.2. VERIFICACIÓN DE POTENCIA ACÚSTICA	21
5.3. DISEÑO EN LA CONFIGURACIÓN DE PARQUES EÓLICOS	22
6. BIBLIOGRAFÍA	24
6.1. BIBLIOGRAFÍA CITADA	24
6.2. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	25

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS Y ALCANCES

Los proyectos de centrales generadoras de energía que deben presentarse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) son aquellos mayores a 3 MW, según lo establecido en la letra c) del artículo 10 de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (Ley N° 19.300) (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 1994), y en el artículo 3º del Decreto Supremo N° 40, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que aprueba el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (Reglamento del SEIA) (Ministerio del Medio Ambiente 2012).

La identificación de las partes, obras y acciones de un proyecto, así como de sus emisiones, efluentes y residuos, forman parte de la descripción del proyecto¹, tanto en una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) como en un Estudio de Impacto Ambiental (EIA). A partir de dicha descripción es posible realizar una primera identificación de potenciales impactos ambientales, la que se complementa una vez conocidas las características del área de influencia.

Para establecer si los impactos identificados son o no significativos, se requiere realizar una estimación del impacto, ya sea cualitativa o cuantitativa, dependiendo de la información disponible. A la identificación y estimación de impactos se le denomina predicción de impactos.

La significancia de todos los impactos identificados y estimados se establece en función de criterios establecidos en la Ley N° 19.300, el Reglamento del SEIA y en guías específicas, etapa identificada como evaluación de impactos.

Este documento busca orientar la correcta aplicación del Decreto Supremo N° 38, de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, que Establece Norma de Emisión de Ruidos Generados por Fuentes que Indica (DS N° 38/2011 MMA) (Ministerio del Medio Ambiente 2011), en la evaluación ambiental de proyectos de centrales eólicas² que son presentados en el SEIA, con la finalidad de reducir el margen de discrecionalidad y contribuir en la tecnificación del proceso de calificación ambiental de esta tipología de proyectos.

¹ Mayores detalles en la “Guía para la descripción de centrales eólicas de generación de energía eléctrica en el SEIA” (Servicio de Evaluación Ambiental, 2020).

² Al conjunto de aerogeneradores se le denomina parque eólico.

2. CONCEPTOS RELEVANTES

2.1. AEROGENERADOR

Un aerogenerador³ es un equipo que convierte la energía cinética del viento en otra forma de energía, preferentemente en energía eléctrica.

Los principales componentes de un aerogenerador son los siguientes:

- Palas (aspas), encargadas de capturar la fuerza o energía del viento y transmitir su potencia al buje.
- Buje o rotor, elemento de unión de las palas o el conjunto de palas al eje del rotor.
- Góndola, compartimiento cerrado que contiene los componentes más importantes del aerogenerador, colocado en la parte superior de la torre.
- Torre, elemento que sustenta la estructura.
- Cimentación, conjunto de elementos estructurales que dan sustento al aerogenerador.

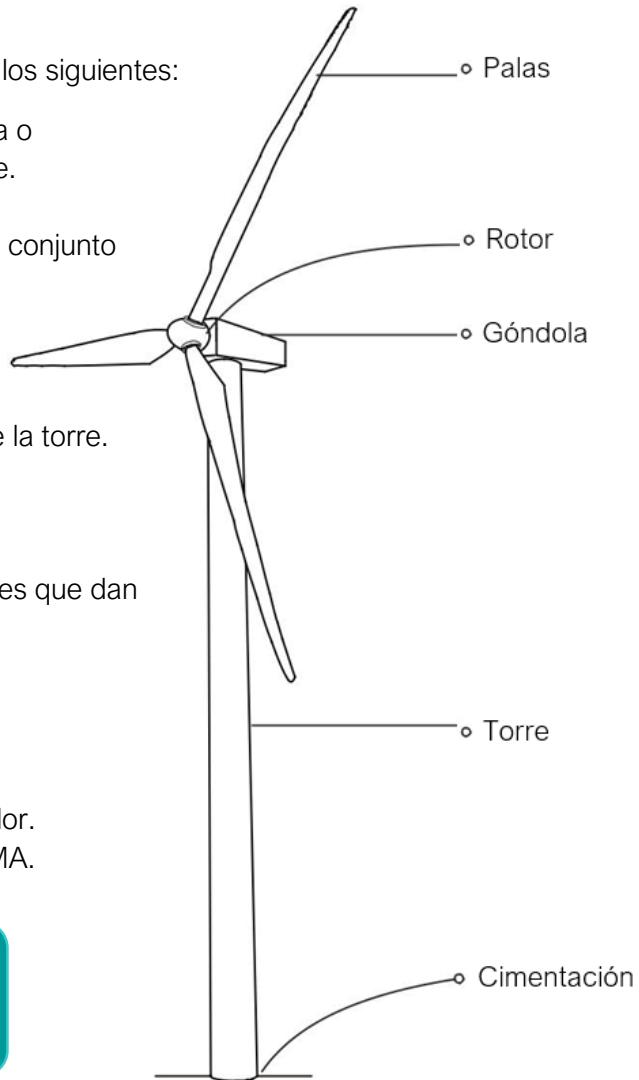


Figura 1. Principales componentes de un aerogenerador.

Fuente: Elaboración Propia MMA.

En el presente documento se utilizará el concepto de **altura de buje**, referido a la altura del centro del rotor del aerogenerador medido desde el suelo.

³ Existen distintos tipos de aerogeneradores, no obstante, los más comunes son aquellos de eje horizontal, comúnmente de 3 palas.

2.2. PERFIL DE VIENTO

El viento es el movimiento de masas de aire a diferentes velocidades de acuerdo con las diferencias en la presión atmosférica. Por esto, es común caracterizar el viento de acuerdo a un perfil de velocidades para diferentes alturas. Un perfil de viento es la representación gráfica de la variación de las velocidades de viento con la altura. Se representa por una firma característica de una condición de viento para diferentes alturas, en un escenario en particular. La Figura 2 presenta un ejemplo de dos perfiles de viento.

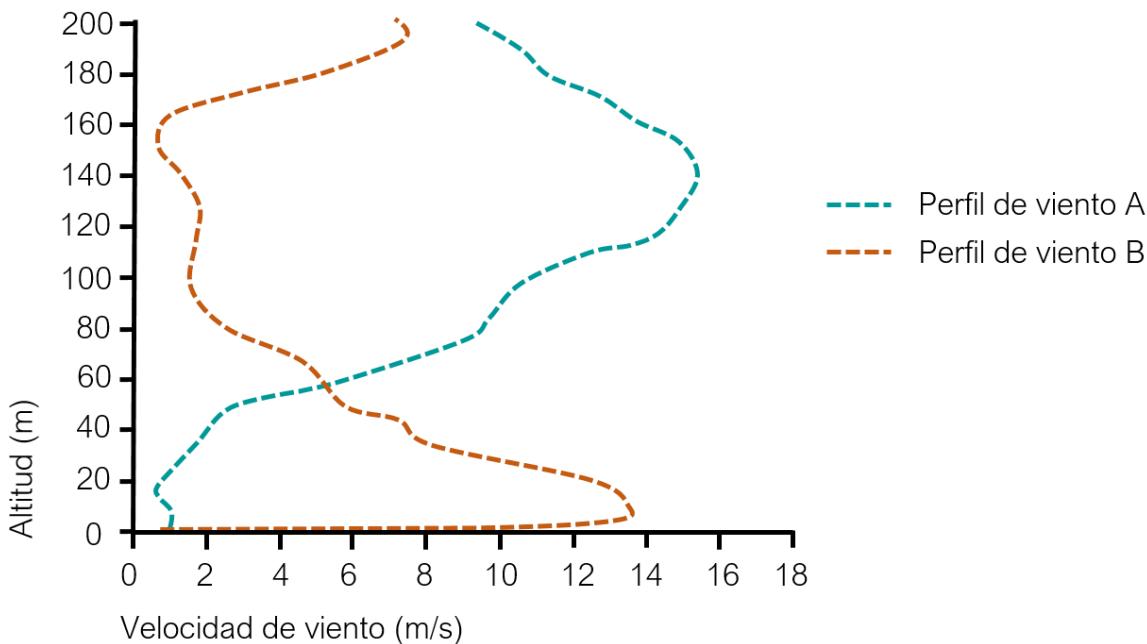


Figura 2. Ejemplo de perfiles de viento.

Fuente: Elaboración Propia MMA.

Para la operación de aerogeneradores, existen ciertas condiciones que determinan la activación o desactivación de los mismos.

- **Velocidad de activación:** Velocidad de viento mínima a la altura de buje para la cual el aerogenerador comienza a suministrar potencia o energía eléctrica. Usualmente desde los 3 m/s a altura de buje.
- **Velocidad de desactivación:** Velocidad a la cual el aerogenerador inicia el proceso de frenado. Usualmente alrededor de los 25 m/s a altura de buje.

Una condición óptima para la caracterización acústica de parques eólicos, hace referencia al perfil de viento A, en donde la velocidad de viento es mínima en altura de medición y la velocidad de viento en altura de buje (100 m), es la necesaria para el funcionamiento de los aerogeneradores.

2.3. RUIDO DE AEROGENERADORES Y PARQUES EÓLICOS

Un aerogenerador puede producir ruido a partir de las distintas fuentes que lo componen. Cada una de ellas aporta de manera diferente a la totalidad de las emisiones de ruido del aerogenerador. Sin embargo, es posible clasificar las emisiones acústicas de aerogeneradores en ruido mecánico y ruido aerodinámico (Lowson 1996, Burdisso 2014).

El ruido mecánico es aquel producido por los equipos y maquinarias ubicados en el interior de la góndola: generador eléctrico, caja multiplicadora, sistemas de frenos, hidráulicos, orientación, entre otros. Particularmente este ruido tiene características tonales⁴ distinguibles (ver Figura 3).

El ruido aerodinámico es la parte dominante del ruido de un aerogenerador y es generado por el flujo del aire alrededor de la superficie de las palas. Este ruido puede ser percibido a grandes distancias, dependiendo de las condiciones atmosféricas y configuración del parque eólico.

El ruido aerodinámico puede ser también sub-clasificado, identificando los siguientes fenómenos (ver Figura 3):

- Ruido de turbulencia de entrada: Producido por la interacción del flujo de aire con el borde de entrada de las aspas.
- Ruido de borde de salida: Producido por la interacción del flujo de aire con el borde de salida de las aspas.
- Auto-ruido: Producido por la interacción de las aspas con la torre.



Figura 3. Ejemplo de las componentes del ruido de un aerogenerador.
Fuente: Elaboración Propia MMA.

⁴ Presencia de frecuencias específicas que sobresalen por sobre el espectro de ruido global de la fuente.

Por otro lado, los fenómenos de propagación y percepción del ruido de aerogeneradores tienen directa relación con las características del entorno. La Figura 4 presenta una comparación de dos escenarios de propagación en un parque eólico con presencia de una fuente externa. Es importante observar que la propagación del ruido está directamente relacionada a la dirección del viento.

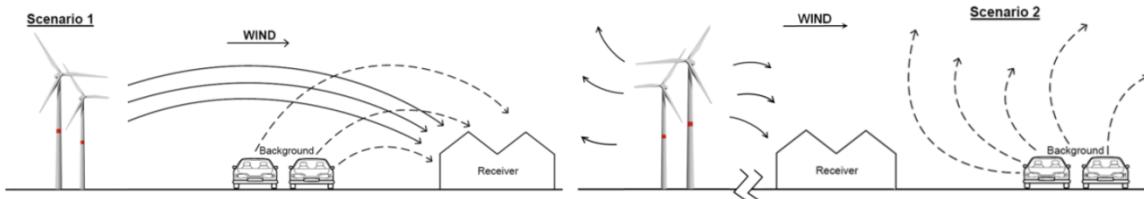


Figura 4: Escenarios de propagación del ruido de aerogeneradores

Fuente: The Working Group on Noise from Wind Farms 1996.

El ruido de un parque eólico se puede propagar a grandes distancias, incluso mayores a 2 km (Colin, Con y Kristy 2017), por esta razón las distancias mínimas de separación entre viviendas y aerogeneradores, adoptadas por diferentes países y estados, van desde los 500 m hasta los 2 km (Cave 2013).

El ruido aerodinámico de un aerogenerador se caracteriza por presentar variaciones constantes de los niveles de presión sonora en breves intervalos de tiempo (entre los 0,7 a 1,5 segundos, aproximadamente). Dicho fenómeno se denomina amplitud modulada y su variación depende del tamaño del aerogenerador y de la velocidad del viento. Internacionalmente, se hace referencia a este tipo de ruido como “swishing” o “whoosing”, caracterizado como ruido pulsante y es considerado la principal causa de molestia para residentes cercanos a parques eólicos.

En ocasiones, es posible percibir el ruido de un grupo de aerogeneradores, dependiendo de la posición del receptor y las condiciones atmosféricas, lo cual generará un efecto de sincronización de los aerogeneradores provocando un aumento en la amplitud de modulación o bien, en la frecuencia de modulación.

Teniendo a la vista los conceptos relevantes (numeral 2), es que a continuación se presenta la aplicación de la norma de ruido en la evaluación ambiental de parques eólicos en el SEIA (numeral 3), los criterios en la evaluación ambiental de estos parques (numeral 4) y algunas recomendaciones (numeral 5).

3. APLICACIÓN DE LA NORMA DE RUIDO EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PARQUES EÓLICOS

3.1. ASPECTOS RELEVANTES DEL DS 38/2011 MMA

En Chile, el ruido de proyectos de parques eólicos está regulado por el DS N° 38/2011 MMA. En el SEIA, estos proyectos deben demostrar el cumplimiento de dicha normativa ambiental.

El DS N° 38/2011 MMA establece la norma que regula el ruido de fuentes que indica en el país. La norma regula actividades productivas, comerciales, de esparcimiento y de servicio, estableciendo los límites de ruido máximo en períodos diurno y nocturno, para la zona en la cual se encuentre el receptor. Así también, se presentan los procedimientos de medición del ruido y el método de obtención del Nivel de Presión Sonora Corregido⁵ (NPC), valor que finamente se compara con el límite de la norma para el caso específico. No obstante, dada la especificidad de las características del ruido de parques eólicos, es necesario definir los aspectos relevantes que relacionan las características de la emisión de esta fuente, en relación a la normativa.

- **Condiciones de verificación de la norma:** El DS N° 38/2011 MMA establece que las mediciones para obtener el NPC se efectuarán en la propiedad del receptor, en el lugar, momento y condición de mayor exposición al ruido, de modo que se represente la situación más desfavorable para dicho receptor. Tomando en consideración que las condiciones de operación de los parques eólicos dependen de la velocidad de viento a altura de buje, entre otros factores, y ya que se presenta una alta variabilidad de los niveles de ruido producto de las características de los parques eólicos, incluso para una misma velocidad de viento, es necesario establecer un criterio para la obtención del NPC, con el fin de identificar la condición de mayor exposición al ruido para cada receptor.
- **Ruido de fondo:** De igual forma, para la medición del ruido de fondo, el DS N° 38/2011 MMA establece que las mediciones se realizarán bajo las mismas condiciones de medición a través de las cuales se obtuvieron los valores para la fuente emisora de ruido. De esta forma, se hace necesario establecer un criterio objetivo para la medición del ruido de fondo que tenga relación con las condiciones de operación del parque eólico en su escenario más desfavorable.
- **Instrumental:** El DS N° 38/2011 MMA establece que los procedimientos de medición se realizarán con un instrumental específico, certificado para tales fines, con el fin de asegurar la calidad de los datos medidos. Bajo el mismo propósito, debido a las condiciones de operación del parque eólico y la alta probabilidad de la presencia de

⁵ Es aquel nivel de presión sonora continuo equivalente, que resulta de aplicar el procedimiento de medición y las correcciones establecidas en la norma de ruido.

ráfagas de viento en proyectos de parques eólicos, este documento profundiza en el instrumental de medición.

3.2. CONDICIONES DE VERIFICACIÓN DE LA NORMA

Existen condiciones particulares en donde puede ser identificada la mayor emisión de ruido del parque eólico, y condiciones en donde a la vez, existe el menor ruido de fondo. Estas condiciones permiten identificar la situación de mayor exposición al ruido (la mayor diferencia entre el ruido de la fuente y el ruido de fondo), la cual sucede típicamente bajo condiciones de velocidad de viento mediana-alta (6 a 12 m/s). Además, la emisión de ruido de un parque eólico es muy variable en ese rango, por lo que se hace necesario evaluar todas esas situaciones.

Usualmente, un parque eólico opera a velocidades de viento entre 3 (velocidad de inicio) y 25 m/s (velocidad de corte) en altura de buje. No obstante, la caracterización acústica del parque puede realizarse en un rango más acotado de velocidades según lo mencionado anteriormente, ya que el máximo nivel de potencia eléctrica no tiene relación directa con la mayor emisión de ruido.

Para velocidades de viento menores a 6 m/s los niveles de ruido producidos por un parque eólico son difíciles de cuantificar debido a que éste no está operando en alta carga de potencia y los niveles de ruido de fondo en algunos casos predominan sobre las emisiones acústicas de la fuente producto del viento en el follaje, especialmente en el primer rango de activación (3 a 5 m/s), por lo que no es una condición representativa de la situación de mayor exposición.

Para velocidades de viento mayores a 12 m/s, el ruido de aerogeneradores usualmente permanece estable y los niveles de ruido de fondo podrían ser elevados, por lo que tampoco es representativo en todo momento practicar una evaluación por sobre ese rango de velocidades. No obstante, se debe analizar caso a caso.

La verificación de la norma se debe realizar para el rango de velocidad de viento entre 6 y 12 m/s.

Generalmente no es necesario evaluar velocidades mayores a 12 m/s, ya que la emisión de ruido es similar hasta los 25 m/s y los niveles de ruido de fondo son altos.

3.3. RUIDO DE FONDO

El DS N° 38/2011 MMA establece los niveles máximos permisibles para diferentes zonas que atienden a los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT) respectivos. Un parque eólico comúnmente se ubica en zona rural, por lo cual sus receptores se encontrarán en la misma zonificación. De esta forma, se deben considerar los límites que la norma establece para este tipo de zonas. Particularmente, y como se observa en la Tabla 1, el límite para este caso tiene directa relación con el nivel de ruido de fondo en dicha zona.

Tabla 1. Límites máximos permisibles para zona rural en el DS N° 38/2011 MMA.

Fuente: DS 38/11 MMA (Ministerio del Medio Ambiente 2011).

Límite día	Límite noche
Ruido de Fondo + 10 dB(A) con un máximo de 65 dB(A)	Ruido de Fondo + 10 dB(A) con un máximo de 50 dB(A)

Así, la definición del correcto nivel de ruido de fondo es fundamental.

El DS N° 38/2011 MMA establece que el ruido de fondo es aquel ruido que está presente en el mismo lugar y momento de medición de la fuente que se desea evaluar, en ausencia de ésta. Dicho valor, se obtiene según el procedimiento establecido en la norma, el cual establece que se debe medir bajo las mismas condiciones de medición en las cuales se obtuvieron los valores para la fuente emisora.

La medición de la fuente emisora busca reflejar la condición de mayor exposición al ruido, de modo que se represente la condición más desfavorable para el receptor. Dicha condición en un parque eólico se dará bajo una caracterización del ruido de fondo en ausencia de otras fuentes y la condición de mayor emisión de la fuente que se está evaluando.

Como se mencionó, dada la variabilidad de las emisiones de los proyectos de parques eólicos, según sus características, se debiera practicar una evaluación por rangos, en detalle, atendiendo principalmente las velocidades de viento más representativas de las emisiones acústicas (6-12 m/s), tomando en consideración el rango total de operación de la fuente (Tabla 2).

Tabla 2. Rangos de velocidad de viento para la evaluación del ruido en proyectos de parques eólicos.

Fuente: Elaboración Propia MMA.

Rango	Rango de velocidad de viento en la altura del buje
Rango 1	6 a 8 m/s
Rango 2	8 a 10 m/s
Rango 3	10 a 12 m/s
Rango 4	> 12 m/s (opcional)

Además, se deberá prever que la condición de velocidad de viento a altura de medición sea mínima de tal forma que las mediciones no se vean alteradas por ráfagas de viento que generen ruidos en el diafragma del micrófono.

Se deberá realizar una medición del ruido de fondo en al menos tres rangos de velocidad de viento a altura de buje (6-8, 8-10 y 10-12 m/s), bajo una condición óptima del perfil de viento, en donde la velocidad a altura de medición sea mínima.

3.4. INSTRUMENTAL DE MEDICIÓN

El DS N° 38/11 MMA establece el equipamiento de medición requerido para la medición de ruido. Tanto el micrófono de medición (sonómetro) como el calibrador acústico, deben cumplir con lo establecido en la mencionada disposición legal. En este sentido, de acuerdo a las características del entorno de medición en parques eólicos, se deberá considerar que el equipamiento cuente con una adecuada pantalla anti-viento, con el fin de reducir el ruido auto-inducido en el diafragma del micrófono.

Las mediciones de ruido en el entorno de un parque eólico, pueden verse afectadas por las vibraciones producidas en la membrana del micrófono con el que se está midiendo, producto de las ráfagas de viento presentes en el parque eólico, en altura de medición, debido a la inestabilidad de la atmósfera.

De esta forma, para la realización de mediciones acústicas de parques eólicos, en todo momento, se deberá utilizar pantallas anti-viento que cumplan las recomendaciones internacionales para la medición de ruido bajo condiciones de alto viento, tomando como referencia las especificaciones de la Norma Técnica IEC 61400-11 y las recomendaciones establecidas en el manual de aplicación de la Norma ETSU-R-97 (Institute of Acoustics 2013), desarrollada por especialistas del Reino Unido (ver Fotografía 1). La pantalla anti-viento deberá tener un diámetro no menor a 100 mm y una porosidad de 4 a 8 poros cada 10 mm.

Se deberá utilizar, en todo momento, una pantalla anti-viento adecuada para realizar mediciones de ruido de parques eólicos.



Fotografía 1. Ejemplo de pantalla anti-viento para la medición del ruido de parques eólicos.

Fuente: MMA.

4. CRITERIOS EN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PARQUES EÓLICOS

4.1. ÁREA DE INFLUENCIA

Se debe calcular la distancia en la cual los niveles proyectados se igualan al menor de los niveles que caracterizan la situación basal. Esta situación basal debe ser definida de acuerdo a lo establecido en el numeral 3.3. Ruido de fondo del presente documento.

En caso que no sea posible determinar el menor nivel de ruido de la situación basal, ya sea por el tipo de fuente, la ubicación del proyecto u otro motivo, para efectos de determinar el área de influencia⁶ para la población de acuerdo a lo establecido en la letra a) del art. 11 de la Ley N° 19.300, se podrá considerar como referencia el valor de 25 dBA como situación más desfavorable, la cual asume un nivel de ruido de fondo típico de un entorno rural según lo establecido en la “Guía para la predicción y evaluación de impactos por ruido y vibración en el SEIA” (Servicio de Evaluación Ambiental, 2019).

Para mayor abundamiento en la materia abordada se recomienda revisar la “Guía para la descripción del área de influencia en el SEIA” (Servicio de Evaluación Ambiental, 2017).

Criterio: Se deberá definir el área de influencia de acuerdo al menor de los niveles que caracterizan la situación basal, o bien, considerando un valor de referencia de ruido de fondo de 25 dB(A) con el objetivo de identificar a todos los potenciales receptores de ser impactados.

4.2. PREDICCIÓN DE IMPACTOS

Dentro de los aspectos relevantes para la evaluación del ruido de proyectos de parques eólicos en el SEIA, se encuentra la predicción de impactos, lo cual determina el nivel de ruido en los receptores identificados en la evaluación.

En este sentido, se apunta a aumentar la certeza de la metodología de predicción del ruido que generará un proyecto eólico, según los estándares internacionales, tomando en consideración las características del proyecto, tales como la potencia acústica de los aerogeneradores involucrados en este, y los modelos de cálculo disponibles para tales fines.

Al respecto, para mayores antecedentes sobre este tema se recomienda revisar la “Guía para la predicción y evaluación de impactos por ruido y vibración en el SEIA” (Servicio de Evaluación Ambiental, 2019).

⁶ Considerar que existe un área de influencia por cada elemento objeto de protección del SEIA, los cuales son individualizados en el artículo 11 de la Ley N° 19.300.

4.2.1. POTENCIA ACÚSTICA DE AEROGENERADORES

El nivel de potencia acústica es propio de cada marca y modelo de aerogenerador.

Como dato de entrada para la predicción acústica de proyectos de parques eólicos en el SEIA, los niveles de potencia acústica de los aerogeneradores que componen el parque eólico, deben ser presentados tomando como referencia la Norma Técnica IEC 61400-11 “Wind Turbines Generator Systems – Part 11: Acoustic Noise Measurement Techniques”, incluyendo los niveles de potencia acústica aparente para cada velocidad de viento (al menos entre 6 y 12 m/s), en bandas de frecuencia de tercios u octavas (IEC 61400-11, 2018) (ver Tabla 3).

Tabla 3. Información acústica de un aerogenerador por bandas de octava de frecuencia

Fuente: WindPRO v.3.3 (EMD International A/S 2019).

Frecuencia [Hz]	Velocidad de viento m/s											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
62,5	70,6	70	71,5	75,1	78,7	82,1	84,6	85,1	85,5	86,1	86,9	86,9
125	78,6	77,8	79,8	83,4	87	90,5	93,1	93,6	93,6	93,9	94,1	94,1
250	84,3	83,4	85,6	89,1	92,8	96,1	98,7	99,1	99	98,9	98,5	98,5
500	87,8	86,9	89,4	92,9	96,6	99,9	102,5	102,9	102,5	102,1	101,4	101,4
1000	88,3	87,5	89,6	93,1	96,8	100,2	102,8	103,2	103,2	103,4	103,3	103,3
2000	84,2	83,6	85,1	88,7	92,4	95,9	98,4	98,9	99,4	100,2	101	101
4000	81,6	80,8	82,9	86,4	90	93,3	95,9	96,4	96,3	96,5	96,4	96,4
8000	66,3	65,5	67,6	71,3	75	78,5	81,1	81,5	81,6	81,9	82,1	82,1
Nivel global dB(A)	92,1	92,3	94,4	98	101,6	105	107,6	108	108	108	108	108

La emisión de ruido de un aerogenerador depende de la velocidad de viento a la cual está operando. En ocasiones existen aerogeneradores que incorporan modos de operación silenciosos, condicionando la velocidad de operación. Adicionalmente, es posible controlar la emisión de ruido de un aerogenerador, mediante la incorporación de bordes dentados en las aspas del mismo.

Criterio: Se deberá presentar la información de la potencia acústica de los aerogeneradores que se utilizarán en el proyecto de parque eólico, presentando el nivel de potencia acústica aparente para cada velocidad de viento de interés, en bandas de frecuencia de tercios u octavas.

4.2.2. MODELOS PARA LA PREDICCIÓN DE NIVELES DE RUIDO

Existen diferentes modelos para la predicción que pueden ser aplicados para determinar los niveles de ruido generados en la operación de proyectos de parques eólicos en el SEIA.

Es necesario entender que un modelo de predicción de ruido debe ser aplicado con parámetros específicos que se ajusten a los proyectos de parques eólicos, ya que un parque eólico es una

fuente de ruido particular, no siendo homologable a las fuentes de ruido industriales con un comportamiento más estable.

En este sentido, la altura de inmisión del receptor, las características del suelo, variables atmosféricas como humedad relativa y temperatura, y la condición de propagación en relación a la velocidad del viento, deben ser abordadas de manera específica. Este documento presenta recomendaciones de modelos y parámetros que se ajustan a dichas características.

La referencia ISO 9613-2 “Acoustics - Attenuation of Sound During Propagation Outdoors - Part 2: General Method of Calculation” presenta un método de cálculo simple y de fácil acceso en diferentes softwares, sin embargo, posee algunas limitantes como la aplicación del método en grandes alturas, ya que el modelo es válido sólo para fuentes de ruido de hasta 30 m de altura. Otra limitante es que el rango de velocidades de viento considerado sólo abarca entre 0 a 5 m/s. No obstante, ISO 9613-2 puede ser aplicado de forma parametrizada, donde los parámetros permiten ajustar las limitantes del método generando resultados con mejores correlaciones con datos medidos (ISO 9613-2, 1996).

Por su parte, NORD 2000 “Nordic environmental noise prediction methods: General Nordic Sound Propagation Model and Applications in Source-Related Prediction Methods” (Kragh, et al. 2002), es un modelo validado para ruido de aerogeneradores (Søndergaard and Plovsing 2009), entregando una buena correlación entre los niveles medidos y proyectados, por lo cual es un modelo que aplica muy bien a la predicción de esta fuente. En NORD 2000 el análisis puede ser llevado a cabo para diferentes condiciones de viento.

Otras metodologías como CONCAWE “The propagation of noise from petroleum and petrochemical complexes to neighbouring communities”, son aceptadas internacionalmente, estableciendo parámetros de entrada definidos al tratarse de ruido de aerogeneradores (CONCAWE, 1981).

A partir de lo anterior, la Tabla 4 presenta un resumen de los parámetros de modelación a utilizar para la aplicación de diferentes modelos de predicción de ruido en parques eólicos.

Criterio: Se deberá utilizar un modelo de predicción parametrizado representando adecuadamente, los ajustes para los proyectos de parques eólicos, para cada velocidad de viento de interés, según la potencia acústica declarada.

Tabla 4. Parámetros recomendados para modelos de predicción de ruido de proyectos parques eólicos.

Fuente: Elaboración propia MMA.

Método	Altura de inmisión	Humedad relativa	Temperatura	Propagación del sonido	Tipo de suelo ^(b)
ISO 9613-2	4 m	70 %	10 ° C	Downwind ^(a)	G = 0,5
NORD 2000	1,5 m	70 %			Categoría D
CONCAWE	4 m	80 %			G = 0

^(a) Propagación del sonido a favor de la dirección del viento, y hacia el receptor.

^(b) El tipo de suelo se refiere a la característica de la absorción del suelo. G = 0,5 considera un suelo mixto, de absorción media y es recomendado para la predicción del ruido de parques eólicos con ISO 9613-2. Nord 2000 utiliza diferentes categorías de suelo, que van desde una categoría A que corresponde a nieve, hasta una categoría G que considera suelo duro. Se recomienda un término medio equivalente a la Categoría D. Para la aplicación del método CONCAWE se utiliza suelo duro, equivalente a un factor G = 0.

4.3. MONITOREO DE RUIDO

En el caso de la implementación de un programa de monitoreo de ruido, se deberá considerar el criterio establecido en el presente documento para las condiciones de operación de la fuente y medición del ruido de fondo, esto es, la medición para los tres rangos de velocidad de viento.

Es necesario destacar que la variabilidad de las mediciones puede ser muy alta para una misma velocidad de viento (ver Figura 5), por lo cual se recomienda un monitoreo de ruido continuo de 14 días de medición como mínimo en los puntos receptores, con el fin de realizar una evaluación del cumplimiento de la norma, identificando las muestras correspondientes a cada rango de evaluación establecido en el presente documento (ver Tabla 5). Lo anterior, permitirá incrementar el grado de certeza en la evaluación del ruido proveniente del parque eólico.

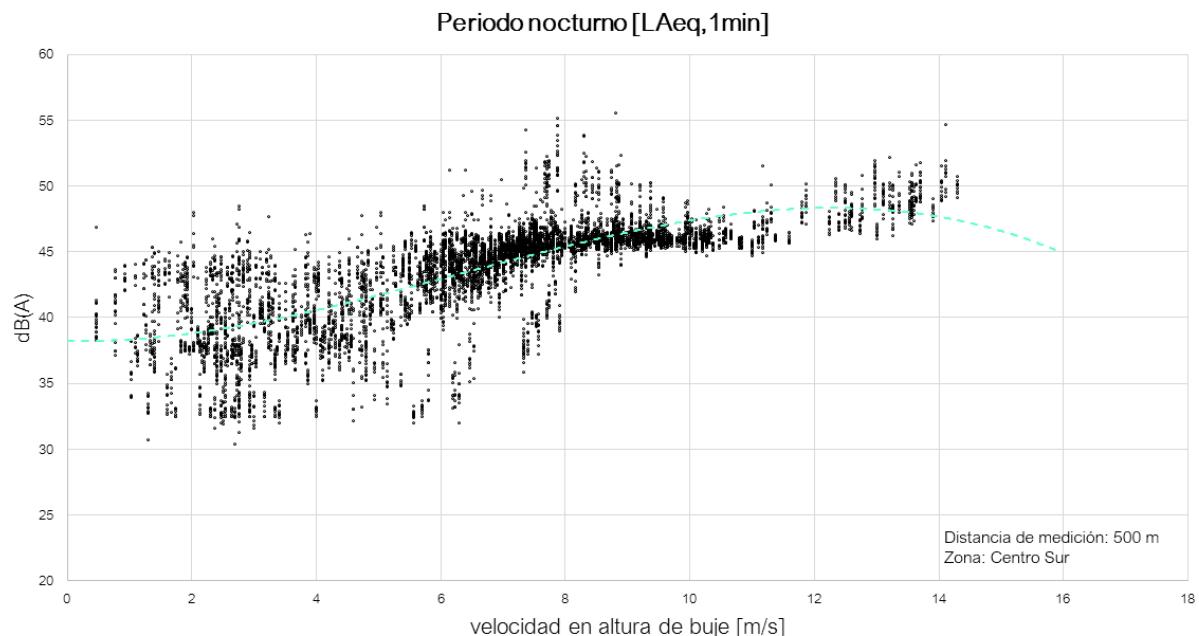


Figura 5. Ejemplo de medición del ruido de un parque eólico durante 14 días, en periodo nocturno.

Fuente: Elaboración Propia, MMA.

Tabla 5. Evaluación del NPC para cada rango de medición.

Rango de velocidad de viento	Ruido de fondo	Nivel de ruido máximo permisible (RF + 10 dB(A))	NPC periodo horario (diurno o nocturno)
6 – 8 m/s	RF_{6-8}	$NPSmáx_{6-8}$	NPC_{6-8}
8 – 10 m/s	RF_{8-10}	$NPSmáx_{8-10}$	NPC_{8-10}
10 – 12 m/s	RF_{10-12}	$NPSmáx_{10-12}$	NPC_{10-12}
12 – 25 m/s	RF_{12-25}	$NPSmáx_{12-25}$	NPC_{12-25}

Se deberá evaluar la condición de mayor exposición al ruido, determinando el valor del NPC para cada condición de viento, para cada periodo horario.

Criterio: Se deberá calcular el NPC de acuerdo al procedimiento establecido en la norma de ruido, a través de un monitoreo continuo de ruido de 14 días como mínimo, demostrando cumplimiento para cada rango de velocidad de viento, para cada periodo, diurno y nocturno.

4.4. EFECTO SINÉRGICO

Según lo indicado en el artículo 2º letra h bis) de la Ley N° 19.300, el “efecto sinérgico” se define como “aquel que se produce cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes supone una incidencia ambiental mayor que el efecto suma de las incidencias individuales contempladas aisladamente”.

A consecuencia de la distribución y caracterización del recurso eólico en ciertas zonas del país, y en el contexto de la evaluación ambiental de proyectos de parques eólicos y su agrupación en zonas de concentración, se debe tener a la vista lo establecido en el último inciso del artículo 18, letra f del Reglamento del SEIA, “Para la evaluación de impactos sinérgicos se deberán considerar los proyectos o actividades que cuenten con calificación ambiental vigente...”.

Dado que no existe una normativa nacional que evalúe el efecto sinérgico del ruido generado por proyectos de parques eólicos en Chile, lo que podría incrementar considerablemente los niveles de ruido producto de la operación de este tipo de proyectos generando un riesgo para la salud de la población, y de acuerdo a lo establecido en el último inciso del artículo 11 de la Ley N° 19.300, que establece que “A falta de tales normas, se utilizarán como referencia las vigentes en los Estados que señale el reglamento”, se podrá usar aquellas internacionales para la evaluación de dicho efecto.

La regulación de Nueva Zelanda NZS 6808:2010 “Acoustics - Wind Farm Noise” establece que la operación simultánea de parques eólicos no es necesaria de evaluar cuando el nivel de presión sonora producido por un nuevo parque eólico, en un determinado receptor, está 10 dB(A) por debajo del nivel de presión sonora producido por los parques eólicos existentes, en el mismo receptor (Standards New Zealand 2010). Lo anterior permite establecer un criterio para la evaluación del efecto sinérgico producido por el ruido generado por proyectos de parques eólicos.

Criterio: Se deberá considerar una evaluación del ruido de parques eólicos aledaños al proyecto en evaluación, con el fin de identificar los niveles de ruido generados por todos los proyectos que podrían estar afectando a los receptores involucrados.

5. RECOMENDACIONES

5.1. METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DE VIENTO A ALTURA DE BUJE

La velocidad de viento bajo la cual se debe medir el ruido de fondo y operacional, debe corresponder a la velocidad en altura de buje de los aerogeneradores y en la ubicación del parque eólico en evaluación, ya que de esta forma se están representando las condiciones de operación del parque eólico. Dado lo anterior, se debe corroborar que las mediciones se realicen en el lugar, momento y condición de mayor exposición al ruido, la cual está relacionada en este caso con la velocidad de viento en altura de buje y dirección del viento, de modo que represente la situación más desfavorable para el receptor, según lo establecido en el artículo 16 del DS N° 38/2011 MMA.

Cabe indicar que no se deben confundir las velocidades de viento en la altura de buje con las velocidades de viento a la altura del sonómetro utilizado para la medición de niveles de ruido.

5.1.1. TORRE DE MEDICIÓN CON ANEMÓMETRO EN LA ALTURA DE BUJE

Corresponde a la obtención de datos de la torre de medición ubicada dentro del proyecto. Esta torre usualmente estará ubicada en un sitio con velocidades representativas para los aerogeneradores, con un anemómetro midiendo en la altura de buje.

5.1.2. MEDICIÓN CON SISTEMA SODAR O LIDAR EN LA ALTURA DE BUJE

La metodología SODAR (Sound Detection and Ranging) LIDAR (Light Detection and Ranging), consiste en la implementación de un instrumento meteorológico para medir la dispersión de ondas acústicas o de un haz de luz, respectivamente, producida por la turbulencia atmosférica. Lo anterior, mediante señales pulsadas de sonido (SODAR) o luz (LIDAR).

Se podrá ubicar un sistema de medición SODAR o LIDAR dentro del proyecto, en un sitio con velocidades representativas para los aerogeneradores. Lo anterior, permitirá registrar datos en una altura idéntica a la altura de buje.

5.1.3. TORRE DE MEDICIÓN CON ANEMÓMETRO O SISTEMA SODAR O LIDAR CON MEDICIONES EN ALTURAS DISTINTAS A LA ALTURA DE BUJE

Esta metodología permite estimar las velocidades de viento en altura de buje a partir de la medición en dos alturas diferentes (A_1 , A_2), las cuales serán distintas a la altura de buje (A_{buje}). Las alturas de medición se determinarán de acuerdo a lo siguiente:

A_1 lo más cercano a la altura de buje posible

$$(0.5 \times A_{buje}) < A_2 < (A_1 - 20m)$$

A partir de las velocidades de viento registradas (v_1 y v_2), medidas en cada altura (A_1 y A_2), se calcula el coeficiente del perfil de viento α^7 , según la ley de potencia⁸ de perfiles de viento:

$$v_2 = v_1 \left[\frac{A_2}{A_1} \right]^\alpha, \quad \alpha = \frac{\log \left[\frac{v_2}{v_1} \right]}{\log \left[\frac{A_2}{A_1} \right]}$$

Una vez establecido el valor de α , se puede extrapolar la velocidad en la altura de buje, durante el intervalo de tiempo que se utilizó para establecer α , utilizando la velocidad v_1 medida en la altura A_1 (la más cercana a la altura de buje):

$$v_{\text{buje}} = v_1 \left[\frac{A_{\text{buje}}}{A_1} \right]^\alpha$$

Este cálculo se debe repetir para cada intervalo de medición ya que el coeficiente α no representa un valor constante.

Recomendación: Determinar el perfil de viento y la velocidad de viento a altura de buje, a partir de mediciones y/o predicciones debidamente referenciadas y validadas.

5.2. VERIFICACIÓN DE POTENCIA ACÚSTICA

El criterio para la caracterización de la potencia acústica de aerogeneradores establece que será válido presentar las emisiones de ruido de los aerogeneradores del parque eólico a partir de una certificación de la Norma Técnica IEC 61400-11, o bien, la información declarada por el titular del proyecto la que debe corresponder específicamente al modelo de los aerogeneradores informados en la evaluación ambiental, o en último caso, un modelo de referencia que presente una relación fundada de las emisiones acústicas del modelo que se utilizará.

No obstante, la potencia acústica podrá ser verificada una vez instalado el parque eólico, con el fin de verificar las características de emisión de los aerogeneradores, garantías del fabricante, entre otras.

Recomendación: Realizar mediciones de verificación de la potencia acústica de los aerogeneradores, una vez que el parque eólico haya entrado en operación, de acuerdo a la Normativa Técnica IEC 61400-11 vigente.

⁷ Exponente utilizado para describir la forma del perfil de viento.

⁸ Ley matemática que expresa las variaciones de velocidad de viento bajo la forma de una función exponencial de la altura sobre el suelo.

5.3. DISEÑO EN LA CONFIGURACIÓN DE PARQUES EÓLICOS

Involucrar la variable ruido al diseño inicial en la configuración de un proyecto eólico puede resultar en un beneficio importante para la operación del parque eólico. La Figura 6 presenta un mapa de ruido posible de generar en una etapa previa a la evaluación ambiental de un proyecto eólico, buscando definir adecuadamente el área de estudio. En este sentido, una correcta justificación, delimitación y descripción del área de influencia por elemento objeto de protección, en conjunto con una adecuada predicción y evaluación de impactos ambientales, entre otros, permitirá que el parque eólico opere en cumplimiento con la legislación ambiental y presente un estándar de protección a comunidades cercanas.

Internacionalmente, se reconoce una distancia mínima de 500 m entre viviendas y aerogeneradores para controlar los impactos por ruido (Cave 2013). No obstante, algunos países adoptan distancias mayores (hasta 2 km), con el fin de resguardar la calidad acústica de los receptores cercanos.

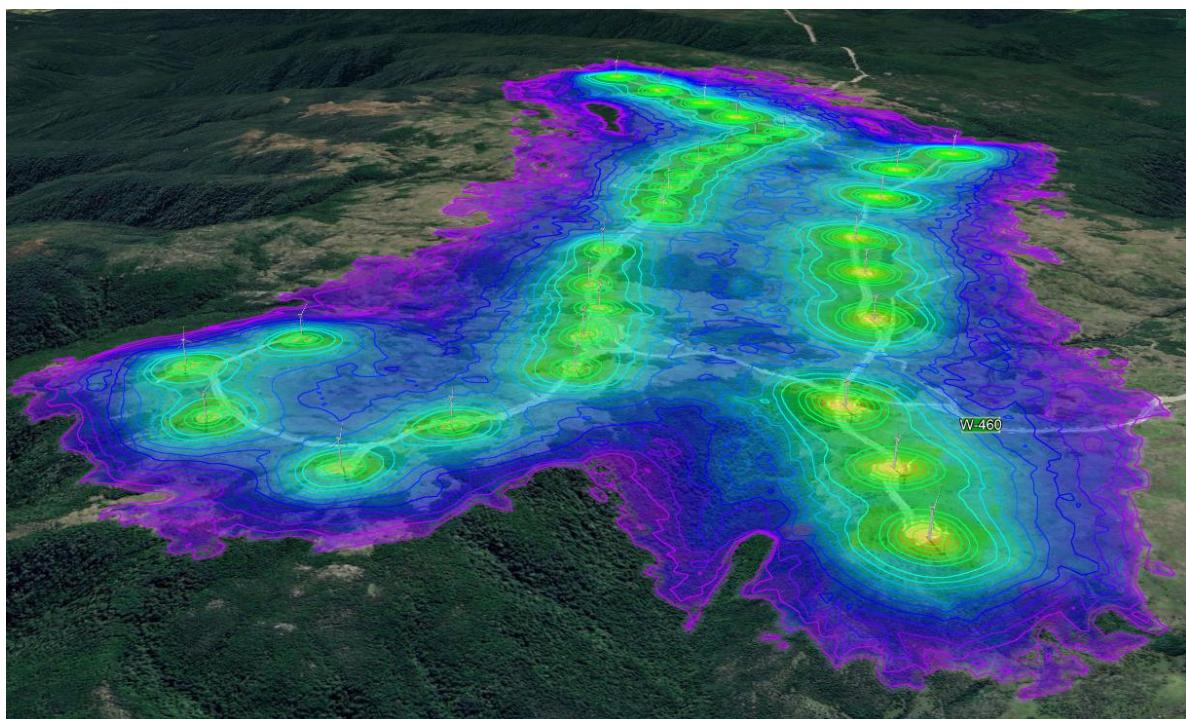


Figura 6. Ejemplo de modelo acústico de un parque eólico, en el cual se observan diferentes contornos de ruido.

Fuente: Elaboración Propia MMA en WindPRO v.3.2.

Recomendación: Involucrar en la planificación del proyecto de un parque eólico, un análisis técnico de la generación de ruido del parque eólico con el fin de prever incumplimientos en la evaluación ambiental del proyecto.

Cabe destacar que la acústica de cada parque eólico es diferente y atiende a un caso particular, ya que depende de aspectos tales como su configuración, geografía, condiciones meteorológicas, potencia acústica de los aerogeneradores, entre otros.

6. BIBLIOGRAFÍA

6.1. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Burdisso, Ricardo. "Acústica de Turbinas Eólicas: Medición, control e impacto ambiental." *IX Congreso Iberoamericano de Acústica No. 1702*. Valdivia, Chile, 2014.
- Cave, S. "Wind Turbines: Planning and Separation Distances." *Research Paper, Ireland: Northern Ireland Assembly*, 2013: NIAR 767-13.
- Colin, H. Hansen, J. Doolan Con, and L. Hansen Kristy. *Wind Farm Noise: Measurement, Assessment and Control*. Adelaide, Australia: Wiley Series in Acoustics, Noise and Vibration, 2017.
- Concawe. "The propagation of noise from petroleum and petrochemical complexes to neighbouring communities." Report 4/81, 1981.
- EMD International A/S. "WindPRO Software package for planning and designing wind farm projects." Versión 3.3.274. 2019.
- Institute of Acoustics. "A good practice guide to the application of ETSU-R-97 for the assessment and rating of wind turbine noise." United Kingdom, 2013.
- International Electrotechnical Comision. *IEC 614000-11 – Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic Noise Measurement Techniques*. International Standard, Edition 3.1, 2018.
- International Organization for Standardization. *ISO Standard 9613-2 Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation*. International Standard , ISO Edition 1, 1996.
- Kragh, B., S. Plovsing, G. Storeheier, H. G. Taraldsen, and Jonasson. *Nordic environmental noise prediction methods, Nord2000 summary report. General Nordic sound propagation model and applications in source-related prediction methods*. Delta Acoustics & Vibration report AV1719/01, 2002.
- Lowson. "Aerodynamic noise of wind turbines." *Proceedings of Internoise 96*. Liverpool, England: Internoise 1996, 1996. 479-484.
- Ministerio del Medio Ambiente. "Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental." Santiago de Chile, 2012.
- Ministerio del Medio Ambiente. *Norma que regula la emisión del ruido de fuentes que indica*. Santiago de Chile: Normativa Ambiental Nacional, 2011.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. "Ley sobre bases generales del medio ambiente." Santiago de Chile, 1994.
- Servicio de Evaluación Ambiental. Guía para la descripción del área de influencia en el SEIA. Santiago de Chile: Servicio de Evaluación Ambiental, Gobierno de Chile, 2017.

Servicio de Evaluación Ambiental. Guía para la predicción y evaluación de impactos por ruido y vibración en el SEIA. Santiago de Chile: Servicio de Evaluación Ambiental, Gobierno de Chile, 2019.

Søndergaard, B., and B. Plovsing. *Noise and energy optimization of wind farms - Validation of Nord 2000*. Delta Acoustics report AV 1236/09, 2009.

Standards New Zealand. "New Zealand Standard NZS 6808:2010 Acoustics - Wind Farm Noise." International Standard, Wellington, New Zealand, 2010.

The Working Group on Noise from Wind Farms. "ETSU-R-97 The Assessment and Rating of Noise from Wind Farms." Reino Unido, 1996

6.2. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Bolin, K., G. Bluhm, G. Eriksson, and M.E. Nilsson. "Infrasound and low frequency noise from wind turbines: exposure and health effects." *Environmental Research Letters, IOP Publishing*, 2011.

Burdisso, Ricardo. "Acústica de Turbinas Eólicas: Medición, control e impacto ambiental." *IX Congreso Iberoamericano de Acústica No. 1702*. Valdivia, Chile, 2014.

Cave, S. «Wind Turbines: Planning and Separation Distances.» *Research Paper, Ireland: Northern Ireland Assembly*, 2013: NIAR 767-13.

Colin, H. Hansen, J. Doolan Con, y L. Hansen Kristy. *Wind Farm Noise: Measurement, Assessment and Control*. Adelaide, Australia: Wiley Series in Acoustics, Noise and Vibration, 2017.

Concawe. «The propagation of noise from petroleum and petrochemical complexes to neighbouring communities.» Report 4/81, 1981.

EMD International A/S. «WindPRO Software package for planning and designing wind farm projects.» Versión 3.3.274. 2019.

Environment Protection Authority. *Draft for consultation: Wind Farms Environmental Noise Guidelines 2019*. South Australia: Environment Protection Authority, 2019.

Environmental Protection Authority South Australia. "Wind farms environmental noise guidelines." International Standard, Adelaide, Australia, 2009.

Fast, H., and E. Zwicker. "Psycho-Acoustics: facts and models." *Springer NY, 3rd edition*, 2007.

Government of Denmark. "Statutory Order on Noise from Wind Turbines, Order No. 1284 (Translation)." International Standard, Denmark, 2011.

Institute of Acoustics. "A good practice guide to the application of ETSU-R-97 for the assessment and rating of wind turbine noise." United Kingdom, 2013.

- International Electrotechnical Comision. *IEC 614000-11 – Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic Noise Measurement Techniques*. International Standard, Edition 3.1, 2018.
- International Organization for Standardization. *ISO Standard 9613-2 Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation*. International Standard , ISO Edition 1, 1996.
- Jansenn, S., A. Eisses, and E. Pedersen. "Exposure-response relationships for annoyance by wind turbinenoise: a comparison with other stationary sources." *EURONOISE 2009*. Edinburg, Scotland, 2009.
- Kaliski, K., D.K. Wilson, S. Vecherin, and E. Duncan. "Improving Predictions of Wind Turbine Noise Using PE Modeling." *NOISE-CON 2011, Institute of Noise Control Engineers*. Portland, Oregon, 2011.
- Kantarelis, C., y J.G. Walker. «The identification and subjective effect of amplitude modulation in diesel engine exhaust noise.» *Journal on Sound and Vibration* 120(2), 1988: 297-302.
- Kragh, B., S. Plovsing, G. Storeheier, H. G. Taraldsen, and Jonasson. *Nordic environmental noise prediction methods, Nord2000 summary report. General Nordic sound propagation model and applications in source-related prediction methods*. Delta Acoustics & Vibration report AV1719/01, 2002.
- Lee, S., K. Kim, W. Choi, and S. Lee. "Annoyance caused by amplitude modulation of wind turbine noise." *Noise Control Engineering* 59(1). 2011.
- Leventhall, G. «Infrasound for Wind Turbines - Fact, Fiction or Deception.» *Canadian Acoustics* vol. 34 No. 2. Canadá, 2006. 34.
- Lowson. "Aerodynamic noise of wind turbines." *Proceedings of Internoise 96*. Liverpool, England: Internoise 1996, 1996. 479-484.
- Ministerio del Medio Ambiente. «Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.» Santiago de Chile, 2012.
- Ministerio del Medio Ambiente. *Norma que regula la emisión del ruido de fuentes que indica*. Santiago de Chile: Normativa Ambiental Nacional, 2011.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. «Ley sobre bases generales del medio ambiente.» Santiago de CHile, 1994.
- Pedersen, E., F. Van den Berg, R. Bakker, and J. Bouma. "Response to noise from modern wind farms in The Netherlands." *The Journal od the Acoustical Society of America* 126(2), 2009: 634-643.
- Pederson, K., and K. Wayne. *Perception and annoyance due to wind turbine noise - a dose response relationship*. 2004.

Servicio de Evaluación Ambiental. *Guía para la predicción y evaluación de impactos por ruido y vibración en el SEIA*. Santiago de Chile: Servicio de Evaluación Ambiental, Gobierno de Chile, 2019.

Søndergaard, B., and B. Plovsing. *Noise and energy optimization of wind farms - Validation of Nord 2000*. Delta Acoustics report AV 1236/09, 2009.

Standards New Zealand. "New Zealand Standard NZS 6808:2010 Acoustics - Wind Farm Noise." International Standard, Wellington, New Zealand, 2010.

The Working Group on Noise from Wind Farms. "ETSU-R-97 The Assessment and Rating of Noise from Wind Farms." Reino Unido, 1996.

Tonin, Renzo. «Sources of wind turbine noise and sound propagation.» *Acoustics Australia*, 2012: 20-27.

Van den Berg, G. "The Beat is Getting Stronger: The Effect of Atmospheric Stability on Low Frequency Modulated Sound of Wind Turbines." *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, Vol 24, No. 1, 2005: 1-24.

Vestas Wind Systems A/S. *Especificaciones Generales V90 - 3.0 MW*. Dinamarca: Traducción del documento 950011.R11, 2007.

World Health Organization. *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. Denmark: ISBN 978 92 890 5356 3, 2018.