Informe Final

CARACTERIZACION ACUSTICA DE PARQUES EOLICOS



Documento: AA17027_IF_VF.pdf.

Ficha de licitación: N°608897-78-LE17.

Mandante: Subsecretaria del Medio Ambiente.

www.acusticaustral.cl
Fono: (+5665)-2395990. Email: contacto@acusticaustral.cl

Historia del documento

Versión	Fecha emisión	Descripción	Elaboró	Revisó	Aprobó
A	25-01-18	Informe final	NBM	CD	JPA
0	26-02-18	Se incorporan observaciones contraparte técnica	NBM	JPA	JPA
VF	12-03-18	Se incorporan observaciones de presentación de informe final	NBM	JPA	JPA

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento, corresponde al informe final de la licitación N°608897-78-LE17 “Caracterización Acústica de Parques Eólicos”, de la Subsecretaría del Medio Ambiente (en adelante “la Subsecretaría”).

En el documento, se describe el desarrollo de las diferentes actividades contempladas en las bases de licitación del proyecto, de acuerdo a la metodología planteada en la propuesta técnica y consensuada con la contraparte técnica.

En particular, en este informe se completaron todas las actividades de las bases de licitación, las cuales estaban relacionadas con definir los lugares de medición de ruido y condiciones meteorológicas (actividad 1), realizar mediciones de niveles de ruido en puntos receptores (actividad 2), elaborar mediciones de niveles de ruido en aerogeneradores (actividad 3) y la presentación de resultados (actividad 4).

Además, se completaron las diferentes actividades adicionales propuestas por el equipo consultor, relacionadas a mediciones de niveles de ruido en ponderación C y lineal, grabación de audio de aerogeneradores, incorporar a un especialista en análisis de condiciones meteorológicas, incorporar a un especialista en modelación de ruido de parques eólicos, incrementar la cantidad de días de monitoreo de ruido, monitorear con dos estaciones durante todo el proyecto, visualizar los niveles de presión sonora a tiempo real, realizar un análisis comparativo entre la regulación danesa [11] e ISO-9613 [25][26] y proponer criterios para el protocolo de cálculo de niveles de presión sonora en parques eólicos, utilizando ISO-9613 [25][26].

Respecto a la actividad 1), la definición de los puntos de medición se realizó en función de las condiciones predominantes del viento, las características del entorno de cada parque y la factibilidad técnica de instalar equipos, entre otros.

Además, para definir los puntos de medición de algunos parques eólicos, se realizó una visita preliminar a tres (3) de los seis (6) parques bajo estudio, en conjunto con la contraparte técnica.

Sobre la actividad 2), se realizaron mediciones continuas y discretas de niveles de ruido en los seis (6) parques eólicos bajo estudio. Respecto a las mediciones continuas, en cada parque eólico se efectuaron dos (2) mediciones continuas por una duración de catorce (14) días. En relación a las mediciones discretas, en cada parque se realizaron cuatro (4) mediciones discretas, tanto para periodo diurno como nocturno, además de mediciones de ruido de fondo para cada parque. En este sentido, las mediciones continuas y discretas sirvieron para caracterizar cada parque eólico de forma temporal y espacial, respectivamente.

Respecto a la actividad 3), se desarrollaron mediciones de niveles de ruido en tres (3) aerogeneradores para cada uno de los seis (6) parques eólicos bajo estudio, salvo algunas excepciones que se detallan más adelante. Posterior a las mediciones de niveles de ruido en aerogeneradores, se realizó una proyección de los niveles de ruido en los puntos receptores definidos en la actividad 1) para cada uno de los seis (6) parques eólicos.

En relación a la actividad 4), durante el transcurso del proyecto, se entregaron dos (2) informes de avance (además de este informe final), los cuales contemplaron presentaciones presenciales a la contraparte técnica del estudio en dependencia del Ministerio del Medio Ambiente (San Martín 73, Santiago).

Sobre las actividades adicionales propuestas por el equipo consultor, todos los datos de las mediciones continuas de ruido, se entregaron en ponderación A, C y lineal (Z). Además, se entregaron grabaciones de audio de aerogeneradores de ciertos parques eólicos, con el fin de tener registro del sonido operacional de los mismos. Por otra parte, uno de los miembros del equipo consultor fue el Dipl-Ing. Christian Darr, ingeniero alemán especialista tanto en el diseño de parques eólicos como en el monitoreo y análisis de condiciones meteorológicas. Además, otro miembro del equipo fue el Ing. Felipe Fernández, especialista en modelación de ruido de parques eólicos. En adición, se incrementaron la cantidad de días de monitoreo de ruido en cada parque eólico, pasando de una (1) semana de monitoreo (mínimo indicado en las bases de licitación) a dos (2) semanas de monitoreo para cada parque eólico (que es la duración mínima que recomiendan algunos de los estándares internacionales para monitorear ruido de parques eólicos). Complementando lo anterior, se instalaron dos (2) estaciones de monitoreo de ruido en un (1) parque eólico durante todo el transcurso del proyecto (se retiraron en marzo del 2018). Asimismo, para

las estaciones de monitoreo de ruido recién mencionadas, se entregó un nombre de usuario y clave a la contraparte técnica del estudio, con el fin de visualizar los niveles de presión sonora registrados por las estaciones de monitoreo de ruido a tiempo real, en la página web de los equipos de mediciones utilizados. Además, se realizó un análisis comparativo entre la regulación danesa (Statutory Order on Noise from Wind Turbines, No. 1284 of 2011) [11] e ISO-9613 "Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors. Part I: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere y Part II: General method of calculation" [25][26]. Finalmente, se propusieron criterios para el protocolo de cálculo de niveles de presión sonora en parques eólicos, utilizando ISO-9613 [25][26], toda vez que la normativa para evaluar el impacto acústico de parques eólicos en Chile (DS-38/11 del MMA [16]), exige que las modelaciones de ruido se realicen con el estándar recién mencionada.

Del trabajo realizado, se concluye que realizar un monitoreo de ruido (por un periodo extenso) es fundamental para caracterizar de forma apropiada un parque eólico, y la relación entre el ruido del parque y el ruido de fondo, porque sus niveles de ruido fluctúan de forma considerable en función de las condiciones meteorológicas (en particular, de la dirección y velocidad del viento). En este sentido, utilizar mediciones discretas de periodos de muestreo cortos (como la metodología de medición de ruido del DS-38/11 del MMA [16]), no son suficientes para poder caracterizar el sonido operacional de un parque eólico, toda vez que resulta muy complejo predecir el momento en que habrá la mayor diferencia entre el ruido de la fuente emisora y el ruido de fondo (dada la dependencia a las condiciones meteorológicas). Por lo anterior, al considerar que el DS-38/11 del MMA [16] es la normativa nacional vigente para determinar los niveles máximos permisibles que deben cumplir los parques eólicos en receptores aledaños, se evidencia que es necesario confeccionar un procedimiento de evaluación alternativo para esta fuente emisora particular (parques eólicos) en zonas rurales, que considere, entre otras cosas, periodos mayores de muestreo de ruido de la fuente emisora, del ruido de fondo y de las condiciones meteorológicas. Complementando lo anterior, también es recomendable revisar los niveles máximos permisibles para este tipo de fuente, ya que su sonido operacional no tiene un nivel de sonido muy alto, pero, dada sus características de amplitud modulada, puede ser, muy molesto para algunas personas. En particular, es recomendable establecer un nivel máximo permisible fijo a cumplir en los receptores, que no dependa de

las condiciones del ruido de fondo (a diferencia de lo establecido en el DS-38/11 del MMA [16]).

Finalmente, el equipo consultor estima necesario realizar un nuevo estudio específico en la materia, pero enfocado en la percepción acústica de los parques eólicos en Chile, en el cual, se estudie cómo la comunidad percibe esta fuente de ruido, ya que, como se mencionó anteriormente (y se pudo verificar en las campañas de mediciones acústicas), los parques eólicos no emiten niveles de sonido muy altos, pero pueden ser percibidos de manera molesta, debido a varias características específicas del ruido de parques eólicos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCION 10
2. OBJETIVOS 11
2.1 Objetivo general 11
2.2 Objetivos específicos 11
3. ANTECEDENTES 12
3.1 Parques eólicos en Chile 12
3.2 Aerogeneradores en Chile 13
3.3 Estudios previos de ruido de parques eólicos en Chile 16
4. ACTIVIDADES 18
4.1 Actividades Mínimas 18
4.1.1 Actividad 1: Definir lugar de medición 18
4.1.2 Actividad 2: Medir niveles de ruido en puntos receptores 18
4.1.3 Actividad 3: Medición de niveles de ruido en aerogeneradores 18
4.1.4 Actividad 4: Presentar resultados 18
4.2 Actividades Adicionales 19
4.2.1 Mediciones de niveles de ruido en ponderación C y lineal 19
4.2.2 Grabación de audio de aerogeneradores 19
4.2.3 Incorporar especialista en análisis de condiciones meteorológicas 19
4.2.4 Incorporar especialista en modelación de ruido de parques eólicos 20
4.2.5 Incrementar la cantidad de días de monitoreo de ruido 20
4.2.6 Monitorear con dos estaciones durante todo el proyecto 21
4.2.7 Visualizar los niveles de presión sonora a tiempo real 21
4.2.8 Análisis comparativo entre regulación danesa e ISO-9613 21
4.2.9 Proponer criterios para el protocolo de cálculo de ruido 21
5. METODOLOGIA 22
5.1 Parques eólicos bajo estudio 22
5.2 Actividad 1: Definir los lugares de medición 22
5.2.1 Metodología 22
5.2.2 Parques eólicos 1 & 2 25
5.2.3 Parque eólico 3 28
5.2.4 Parque eólico 4 30

5.2.5 Parque eólico 5 33
5.2.6 Parque eólico 6 36
5.3 Actividad 2: Medir niveles de ruido en puntos receptores 39
5.3.1 Metodología 39
5.3.2 Instrumental de medición 41
5.4 Actividad 3: Medir niveles de ruido en aerogeneradores 44
5.4.1 Metodología 45
5.4.2 Instrumental de medición 47
5.4 Actividad 4: Presentar resultados 50
5.5 Actividades adicionales 51
5.6 Cronograma 52
6 RESULTADOS 54
6.1 Mediciones continuas 54
6.2 Mediciones discretas 64
6.3 Mediciones de ruido en aerogeneradores 68
7 ANALISIS Y DISCUSION 74
7.1 Mediciones de ruido 74
7.1.1 Mediciones continuas 74
7.1.2 Mediciones discretas 77
7.1.3 Mediciones de ruido de aerogeneradores 79
7.2 Mediciones de condiciones meteorológicas 80
7.3 Otros 83
7.3.1 Diseño de parques eólicos 83
7.3.2 Monitoreo de ruido de parques eólicos existentes 84
8 PROXIMOS ESTUDIOS 85
9 CONCLUSIONES 86
10 BIBLIOGRAFIA 91
11 EQUIPO DE TRABAJO 95
Anexo 1: Certificados sonómetros.
Anexo 2: Resumen recomendaciones regulación danesa S.O.1284/11.
Anexo 3: Análisis comparativo entre regulación danesa S.O. 1284/11 e ISO-9613.
Anexo 4: Criterios para el protocolo de cálculo de niveles de presión sonora en parques eólicos utilizando ISO-9613.

Anexo 5: Registro de datos.

Anexo 6: Grabaciones de audio de aerogeneradores.

Anexo 7: Registro fotográfico.

Anexo 8: Consideraciones para normativa de ruido de parques eólicos.

1. INTRODUCCION

La generación de energía renovable a través de parques eólicos ha tenido un alto crecimiento en los últimos años. De hecho, entre los años 2001 y 2016, a nivel mundial, la capacidad total instalada ha incrementado de 23.900 MW a 486.749 MW [1]. Este fenómeno, ha implicado que se realicen muchas construcciones de parques eólicos en zonas rurales, y en algunos casos, éstos han tenido impactos negativos en la salud de la comunidad y que se relaciona con el ruido generado por los aerogeneradores [2-6]. En particular, los aerogeneradores contienen señales sonoras de baja frecuencia, componentes tonales y ruidos de amplitud modulada conocidos como "swish" [7], que dependen de la velocidad del viento y puede variar según la época del año y/o por el perfil topográfico del entorno asociado [8][9]. Por lo anterior, a nivel internacional, se han generado muchas normativas para regular el impacto acústico de parques eólicos. Algunos ejemplos son, la normativa *Noise Guidelines for Wind Farms* de Canadá [10], *Statutory Order on Noise from Wind Turbines* de Dinamarca [11], ETSU-R-97 *The Assessment and Rating of Noise from Wind Farms* de Reino Unido [12] y su guía de aplicación *A good practice guide to the application of ETSU-R-97 for the assessment and rating of wind turbine noise* [13], la normative *NZS 6808:2010 Acoustics – Wind farm noise* de Nueva Zelanda [14] y *Wind farms environmental noise guidelines* de Australia [15].

A nivel nacional, Chile cuenta con una normativa (Decreto Supremo 38/2011 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) [16]) para evaluar el impacto acústico de un sinfín de fuentes emisoras de ruido, entre ellas los parques eólicos. Esta normativa, difiere significativamente en las metodologías, criterios y límites empleados en las normativas internacionales para la operación de los parques eólicos [17].

Por lo anterior, y teniendo en cuenta la cantidad de parques eólicos operativos en Chile y la gran cantidad de parques eólicos que están y/o comenzarán con la fase de construcción, se ha creado la necesidad por parte del Estado, de caracterizar espacial y temporalmente los niveles de ruido generados por los parques eólicos instalados en el país, a objeto de recabar antecedentes técnicos para elaborar una estrategia respecto a la evaluación del ruido de parques eólicos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Caracterizar espacial y temporalmente los niveles de ruido generados por los parques eólicos instalados en el país.

2.2 Objetivos específicos

- Obtener información espacial y temporal de niveles de ruido generados por la operación de 6 parques eólicos a lo largo del país.
- Identificar los niveles de ruido generados por parques eólicos, a partir de criterios y procedimientos de medición establecidos en normativa nacional e internacional de referencia.
- Identificar los niveles de ruido de fondo en las zonas de emplazamiento de parques eólicos.
- Identificar condiciones meteorológicas que influyan en la emisión y propagación de los niveles de ruido generados por la operación de parques eólicos.

3. ANTECEDENTES

3.1 Parques eólicos en Chile

En Chile, existen 107 proyectos de parques eólicos en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), de los cuales, 93 proyectos están aprobados y 14 en calificación, representando un monto de inversión superior a los 20.000 millones de dólares[1]. Hasta la fecha, se cuenta con 26 parques eólicos (considerando que varias etapas aprobadas mediante su respectiva Resolución de Calificación Ambiental (RCA) cuentan como un solo parque) construidos y operativos, los que representan una potencia total de 1.492,35 MW, con 585 aerogeneradores instalados (información calculada de base de datos del SEIA). En la Tabla 1, se muestra un resumen de los parques eólicos construidos y operativos en el país.

Tabla 1. Parques eólicos construidos y operativos en Chile (según SEIA).

Nombre	Número de etapas	Potencia (kW)	Cantidad Aerogeneradores	Región
Alto Baguales	1	2.000	3	XI
Cabo Negro	1	2.550	3	XII
Canela	2	78.150	51	IV
Cebada	1	39.600	22	IV
Cuel	1	33.000	22	VIII
El Arrayan	1	115.000	50	IV
El Pacífico	1	70.000	35	IV
El Toqui	1	1.650	6	XI
La Esperanza	2	40.500	20	VIII
Las Peñas	1	8.400	3	VIII
Lebu	2	9.000	12	VIII
Los Buenos Aires	1	24.000	12	VIII
Monte-Redondo	2	48.000	24	IV
Negrete	1	34.500	23	VIII
Punta Colorada	2	36.000	18	IV

[1] Información obtenida desde la página web SEIA www.sea.gob.cl.

Nombre	Número de etapas	Potencia (kW)	Cantidad Aerogeneradores	Región
Punta Palmeras	1	45.000	15	IV
Raki-Huajache	1	15.000	5	VIII
Renaico	1	88.000	44	IX
San Juan	6	184.800	56	III
San Pedro de Dalcahue	2	101.000	31	X
Sierra Gorda	1	112.000	-	III
Talinay	2	152.000	76	IV
Taltal	1	99.000	33	II
Totoral	1	46.000	23	IV
Ucuquer	2	17.200	9	VI
Valle de los Vientos	1	90.000	45	II
TOTAL:	-	1.492.350	641	-

Fuente: The Wind Power [18].

En la Tabla 1, se pueda apreciar que la mayor cantidad de parques eólicos construidos y operativos se encuentran en la IV región (9 parques) y VIII región (7 parques), representando el 61% de los parques construidos y operativos en Chile.

Por otra parte, a estos parques eólicos ya construidos, se les sumarán, en caso de obtener su RCA, más de 80 proyectos que ya hicieron su ingreso al SEIA para la obtención de su calificación ambiental favorable.

3.2 Aerogeneradores en Chile

Respecto a los aerogeneradores que se encuentran funcionando en el país, se realizó un análisis de las marcas y modelos de los equipos instalados en los parques eólicos operativos. En la Tabla 2, se muestra un resumen de las marcas y modelos de los equipos instalados en los parques eólicos operativos en el país.

Tabla 2. Marcas y modelos de aerogeneradores instalados en parques eólicos operativos en Chile.

Nombre	Cant. Aero.	Marca	Modelo	Potencia equipo (kW)
Alto Baguales (*)	3	Vestas	-	850

Nombre	Cant. Aero.	Marca	Modelo	Potencia equipo (kW)
Cabo Negro	3	Vestas	V52/850	850
Canela I	11	Vestas	V82/1650	1.650
Canela II	40	Acciona	AW-1500/77	1.500
Cebada	22	Vestas	V100/1800	1.800
Cuel	22	-	-	-
El Arrayan	50	Siemens	SWT-2.3-101	2.300
El Pacífico	35	Vestas	V100/2000	2.000
El Toqui	6	Vergnet	GEV MP 275/32	275
La Esperanza I	15	Gamesa	G90/2000	2.000
La Esperanza II	5	Envision	2.1-110	2.100
Las Peñas (*)	3	Vestas	V112-3.0 MW	2.800
Lebu I	10	Hewind	HW50 780 kW	780
Lebu II	2	Bonus	B44/600	600
Los Buenos Aires (*)	-	Vestas	V117-3.3 MW	-
Monte-Redondo I	19	Vestas	V90/2000	2.000
Monte-Redondo II	5	-	-	-
Negrete	23	Goldwind	GW87/1500	1.500
Punta Colorada I	10	Dewind	D8.2	2.000
Punta Colorada II	8	-	-	-
Punta Palmeras	15	Acciona	-	3.000
Raki-Huajache	5	Vestas	V112/3000	3.000
Renaico	44	Vestas	V110 VCS	2.000
San Juan	56	Vestas	V117/3300	3.300
San Pedro de Dalcahue I	18	Gamesa	G90/2000	2.000
San Pedro de Dalcahue II	13	Gamesa	G128/5000	5.000
Sierra Gorda	-	-	-	-
Talinay	76	Vestas	V90/2000	2.000
Taltal	33	Vestas	V112/3000	3.000
Totoral	23	Vestas	V90/2000	2.000
Ucuquer	9	-	-	-
Valle de los Vientos	45	Vestas	V100/2000	2.000

Fuente: The Wind Power [18]. (*): Datos obtenidos de la ficha ambiental del proyecto en la página web del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) www.sea.gob.cl.

Al observar la Tabla 2, se puede apreciar que existen al menos 10 diferentes marcas de aerogeneradores instalados en el país (ya que hay algunas marcas y modelos que no fueron posibles identificar).

En la Tabla 3, se muestra un resumen de las marcas y cantidad de aerogeneradores instalados en Chile.

Tabla 3. Resumen de marcas y cantidad de aerogeneradores instalados en Chile

Marca	Cantidad
Vestas	378
Acciona	55
Siemens	50
Gamesa	46
Sin identificar	44
Goldwind	23
Dewind	10
Hewind	10
Vergnet	6
Envision	5
Bonus	2
TOTAL:	629

Analizando la Tabla 3, se puede concluir que la mayor cantidad de aerogeneradores corresponden a la marca Vestas, de procedencia danesa, representando un 60% del total de aerogeneradores instalados en el país. Además, se observa que un 24% del total de aerogeneradores instalados en el país, está distribuido entre las marcas Gamesa, Acciona y Siemens, y el 16% restante de aerogeneradores instalados, está distribuido de forma equilibrada entre otras marcas.

Teniendo en cuenta lo anterior, parece razonable utilizar la regulación danesa [11] como referencia para el desarrollo del proyecto, ya que gran parte de los equipos instalados en Chile están desarrollados en Dinamarca.

3.3 Estudios previos de ruido de parques eólicos en Chile

Hasta la fecha, se han elaborado pocos estudios que aborden la problemática del ruido en parques eólicos en Chile, lo cual, deja en evidencia que es un tema que se debe seguir desarrollando a nivel nacional. De los estudios consultados, el primer estudio técnico de la materia, es del año 2014, desarrollado por *Gómez et al.* [17], en el cual, realizan un análisis de metodologías y criterios de evaluación de impacto acústico de parques eólicos, según estándares extranjeros específicos y la normativa chilena aplicable. Los autores concluyen que existen importantes diferencias metodológicas entre los estándares extranjeros y la normativa chilena aplicable (D.S.38/11 MMA [16]), por lo que proponen utilizar un estándar extranjero para la evaluación de la fase de operación de parques eólicos en Chile, utilizando el D.S.38/11 MMA [16] únicamente para evaluar las fases de construcción, cierre y/o abandono. Posterior a esto, en el año 2015, *Arenas et al.* [19] realizaron un estudio comparativo de los parques eólicos en Chile que se encontraban en etapa de calificación en el SEIA. Los autores concluyen que, aunque la legislación chilena requiere la presentación de un estudio o declaración de impacto ambiental en la materia de ruido para las nuevas infraestructuras de energías, los resultados que se presentan no pueden asegurar que no se reciban reclamos durante el funcionamiento de algunos de los nuevos parques eólicos, ya que, es necesario contar con normativas y guías específicas para estimar de manera certera el ruido radiado por cada uno de los aerogeneradores pertenecientes a los parques eólicos. Además, en el mismo año, el Grupo Técnico de Energías Renovables GTER desarrolló dos estudios sobre control de ruido de parques eólicos en Chile [20][21]. En el primer estudio [20], desarrollaron un análisis para definir el problema de ruido en parques eólicos de Chile. Los autores concluyen que, bajo el actual marco regulatorio, los operadores de parques eólicos podrían verse obligados a enfrentar implicaciones económicas inesperadas de restricción por la materia ruido, pudiendo crear un ambiente de incertidumbre para los inversionistas de este tipo de proyectos. En el segundo estudio [21], formularon un borrador de recomendaciones para abordar los problemas de ruido en parques eólicos en Chile. Los autores proponen modificar el marco regulatorio actual, simplificando los límites de ruido para aquellos receptores cercanos a los parques eólicos. Además, proponen modificar el límite de emisiones de ruido para considerar la dependencia que el ruido de fondo tiene con respecto a la velocidad del viento. Por otra parte, recomiendan mejores

prácticas para las mediciones y modelación de ruido, en base a la normativa IEC 61400 [22] y las recomendaciones del Institute of Acoustics [23].

Posterior a esto, en el año 2016, *Montoya et al.* [24] realizaron un estudio donde proponen directrices para la elaboración de una normativa de impacto acústico, referida a la fase de operación de parques eólicos en Chile. Del estudio realizado, los autores proponen una metodología con el fin de determinar niveles máximos permitidos en el receptor. La metodología se basa en respetar un mayor valor entre un nivel fijo, según velocidad de viento en valores enteros y un límite máximo dado por el ruido de fondo más un margen de 5 dB(A). Además, para efectos de monitoreo de ruido (ya sea de fondo o del parque eólico), los autores proponen el uso del descriptor L90(A) con intervalos de 10 minutos, con el fin de asegurar niveles libres de la influencia de ruidos ocasionales. Complementando lo anterior, proponen que el monitoreo se realice fuera de las dependencias de los receptores más cercanos al parque eólico, a una altura de monitoreo de 1.5 metros sobre el suelo. Además, proponen realizar campañas de mediciones continuas de 10 a 14 días tanto para el ruido de fondo como para el ruido del parque eólico, registrando la velocidad de viento a una altura de 10 metros en lugares cercanos a los receptores o zonas representativas.

En adición, en el año 2017, *Parra et al.* [37], presentaron un trabajo relacionado a la estrategia del control de ruido de parques eólicos en Chile, en el cual, muestran que Chile no tiene una normativa específica para ruido de parques eólicos y que la normativa general de ruido del país, puede resultar poco exigente para el ruido de parques eólicos. Además, se menciona que no existe una guía para la evaluación del ruido de parques eólicos. En este sentido, los autores mencionan que una guía para consultores y evaluadores en el marco de evaluación del SEIA es fundamental para la generación de buenas prácticas en lo relacionado a la evaluación de ruido de parques eólicos.

Teniendo en cuenta los estudios previos realizados en el país, es claro que la utilización del D.S.38/11 MMA [16] para evaluar el impacto acústico de parques eólicos en etapa de operación, tiene ciertas falencias que se deben mejorar, ya sea a través de una nueva normativa específica o incorporando un nuevo apartado a la normativa, especialmente para la evaluación de parques eólicos, que considere el registro de la velocidad del viento, periodos de medición de ruido mayores a los actuales, entre otras cosas.

4. ACTIVIDADES

A continuación, se describen las actividades mínimas solicitadas para este estudio (acorde a las bases técnicas de licitación) y las actividades adicionales comprometidas en la propuesta técnica del equipo consultor.

4.1 Actividades Mínimas

4.1.1 Actividad 1: Definir lugar de medición

a) Definir la ubicación de 2 puntos de medición por parque eólico, para el monitoreo continuo de ruido y condiciones meteorológicas (Humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento).
b) Definir la ubicación de puntos discretos para la medición de ruido y condiciones meteorológicas (Humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento), en cada parque eólico.
c) Definir 3 aerogeneradores por parque eólico para la aplicación de la regulación danesa [11].

4.1.2 Actividad 2: Medir niveles de ruido en puntos receptores

a) Medir niveles de ruido en cada punto de medición definido en la actividad 4.1.1, con el objetivo de aplicar el descriptor de la regulación ETSU-R-97 [12] (L(A)90, 1 y 10 mín.) y el descriptor del D.S.38/11 MMA [16] (L(A)eq, 1 y 10 mín.).
b) Medir condiciones meteorológicas en cada punto de medición definido en la actividad 4.1.1.

4.1.3 Actividad 3: Medición de niveles de ruido en aerogeneradores

a) Medir niveles de potencia acústica en los aerogeneradores definidos en la actividad 4.1.1, letra c).
b) Proyectar los niveles de potencia acústica en los receptores definidos en la actividad 4.1.1, letra b).

4.1.4 Actividad 4: Presentar resultados

a) Realizar presentaciones de los resultados a la contraparte técnica del estudio, de la División de Calidad del Aire del MMA, y a otros organismos sectoriales.

b) Elaborar informes de los resultados obtenidos en cada actividad, de acuerdo a las fechas establecidas en el cronograma.

4.2 Actividades Adicionales

4.2.1 Mediciones de niveles de ruido en ponderación C y lineal

Para las mediciones de ruido continuas, se utilizaron ocho (8) equipos Absentia, modelo Capta, que dentro de sus prestaciones, permiten aplicar las ponderaciones A, C y Z para las mediciones de niveles de ruido.

Se entregaron planillas en formato *.xls* (Excel) correspondiente al registro de datos de las estaciones de monitoreo de ruido en niveles equivalentes y bandas de octava (para registros de 10 minutos) en las ponderaciones recién mencionadas.

4.2.2 Grabación de audio de aerogeneradores

La grabación de archivos de audio del ruido producido por los aerogeneradores se realizó en las estaciones de monitoreo y durante las mediciones discretas en puntos receptores. En particular, se realizaron grabaciones de audio de aerogeneradores durante todo un día con una estación de monitoreo de ruido, además de otras grabaciones en puntos receptores.

4.2.3 Incorporar especialista en análisis de condiciones meteorológicas

Dentro del equipo de trabajo, se contó con el Dipl-Ing. Christian Darr de la empresa 350renewables, ingeniero alemán especialista tanto en el diseño de parques eólicos como en el monitoreo y análisis de condiciones meteorológicas.

El Ing. Darr cuenta con más de 13 años de experiencia en el desarrollo y consultoría de proyectos de energías renovables a nivel internacional, con experiencia en Brasil y Sudáfrica, además de haber trabajado 7 años en el Reino Unido como gerente técnico de la empresa Wind Prospect Developments, empresa de desarrollo de parques eólicos. Dentro de sus labores, estuvo a cargo de gestionar las evaluaciones de varios parques eólicos según la normativa inglesa [12][13]. Desde el 2011 reside en Chile donde ya ha participado en el desarrollo de más de 1.5 GW de potencia, tanto en proyectos eólicos y solares locales,

desde la fase inicial hasta la fase de operación. Además, participó como especialista técnico en los estudios de GTER mencionados previamente [20][21].

4.2.4 Incorporar especialista en modelación de ruido de parques eólicos

Dentro del equipo de trabajo, participó el Ing. Felipe Fernández, especialista en modelación de ruido parques eólicos.

El Ing. Fernández cuenta con más de 3 años de experiencia en el desarrollo y consultoría de proyectos en acústica. En el año 2014 realizó una pasantía en la Universidad de Virgina Tech (USA), donde se especializó en la Simulación de Ruido de Turbinas Eólicas con Amplitud Modulada. Esta especialización le permitió realizar publicaciones en congresos y revistas internacionales, como lo fueron el Congreso Iberoamericano de Acústica [27], el International Meeting on Wind Turbine Noise [28] y el Wind Energy Journal [29].

4.2.5 Incrementar la cantidad de días de monitoreo de ruido

Si bien, en las bases técnicas se especificó que los días de monitoreo de ruido y condiciones meteorológicas por parque eólico debía ser de 1 semana, el equipo consultor propuso incrementar la cantidad de días, con el fin de lograr una mejor caracterización espacial y temporal de los niveles de ruido generados por los parques eólicos instalados en el país.

Para definir la cantidad de días de monitoreo, se revisaron las normativas y recomendaciones internacionales relacionadas a la materia, según se indica a continuación:

1. Normativa Canadiense [10]: No específica la duración del monitoreo de ruido.
2. Normativa Danesa [11]: No específica la duración del monitoreo de ruido.
3. Normativa Inglesa [12][13]: Al menos 7 días continuos de monitoreo de ruido, pero mencionado que debería ser 14 días para obtener el ruido de fondo.
4. Recomendación Norteamericana [30]: 14 días continuos de monitoreo de ruido.
5. Recomendación Institute of Acoustics [23]: Por lo menos 14 días continuos de monitoreo de ruido de fondo.

Teniendo en cuenta lo anterior, el equipo consultor propuso incrementar la cantidad de días de monitoreo de ruido y condiciones meteorológicas a 14 días por parque eólico.

4.2.6 Monitorear con dos estaciones durante todo el proyecto

Durante el transcurso del proyecto, dos (2) estaciones de monitoreo de ruido permanecieron durante toda la ejecución del proyecto (se retiraron en marzo del 2018).

Cabe destacar que la información obtenida de esta actividad no consideró un análisis por parte del equipo consultor, sólo la entrega de datos en una planilla formato *.xls* (Excel).

4.2.7 Visualizar los niveles de presión sonora a tiempo real

Gracias al software de las estaciones de monitoreo de ruido utilizadas, se pudo visualizar y descargar los datos registrados en las estaciones de monitoreo al ingresar a la página web http://capta.absentia.cl, con un nombre de usuario y clave dado a la contraparte técnica del estudio.

4.2.8 Análisis comparativo entre regulación danesa e ISO-9613

Se realizó un análisis comparativo entre los niveles de ruido obtenidos de las mediciones continuas y discretas en cada parque, con la estimación de nivel de presión sonora al utilizar la regulación danesa [11] e ISO-9613 [25][26].

Este análisis comparativo es de utilidad para los consultores acústicos del país, toda vez que la normativa vigente para evaluar el impacto acústico de parques eólicos (D.S. 38/11 MMA [16]), indica que se debe realizar las modelaciones de ruido utilizando ISO-9613 [25][26] y es sabido que éste presenta restricciones en su uso respecto de la altura de modelamiento y velocidad del viento.

4.2.9 Proponer criterios para el protocolo de cálculo de ruido

Teniendo en cuenta el punto anterior, se propusieron criterios para el protocolo de cálculo de niveles de presión sonora en parques eólicos, utilizando ISO-9613 [25][26].

5. METODOLOGIA

5.1 Parques eólicos bajo estudio

A continuación, se enumeran los seis (6) parques eólicos bajo estudio, detallando la ubicación geográfica, cantidad de aerogeneradores, número de etapas y potencia de cada parque.

Tabla 4. Parques eólicos bajo estudio.

Nombre	Potencia (kW)	Cantidad Aerogeneradores	Región
Parque 1	33.000	22	VIII
Parque 2	24.000	12	VIII
Parque 3	9.000	12	VIII
Parque 4	88.000	44	IX
Parque 5	90.000	45	II
Parque 6	101.000	31	X

5.2 Actividad 1: Definir los lugares de medición

5.2.1 Metodología

La ubicación óptima de cada punto de medición, depende de un rango de factores externos, como, por ejemplo:

- Las condiciones del viento.
- Las características del entorno.
- La factibilidad (acceso, nivel de seguridad del sitio, preferencias del dueño del terreno, etc.).

Los factores recién mencionados, y los criterios para la selección de los lugares de medición, se detallan en las siguientes tablas.

Tabla 5. Criterios principales para considerar las condiciones del viento.

Medición	Criterios para la selección de los puntos
Continua	Se eligieron dos (2) puntos para las mediciones continuas, según la dirección predominante del viento de cada parque eólico, de tal manera que la mayoría de los datos medidos sea representativa para el peor caso, es decir, la propagación del ruido en la dirección del viento desde el parque hacia el punto de medición. Se seleccionaron puntos a una distancia de 250 y 500 metros, que son distancias típicas entre residencias y parques eólicos en algunas partes de Chile. En los casos que el ruido de fondo fue muy bajo, se reemplazó la ubicación de 250 metros por una de mayor distancia (750 metros).
Discreta	Se reutilizaron una de las ubicaciones de la medición continua en una medición discreta, para facilitar la comparación entre los datos continuos y discretos. Tres (3) puntos adicionales se eligieron para mediciones discretas, entre ellos, por lo menos uno que sea representativo para el mejor caso (propagación del ruido operacional en contra del viento desde el parque eólico hacia el punto de medición) y por lo menos uno que sea representativo para el peor caso, pero a una mayor distancia del parque (en comparación con las mediciones continuas). Se utilizaron los mismos cuatro (4) puntos durante el periodo diurno como en el periodo nocturno, de esta manera se realizaron ocho (8) mediciones discretas.
Regulación danesa [11]	Se identificaron tres (3) aerogeneradores cuyas ubicaciones hicieron posible aislar y medir el sonido operacional del aerogenerador elegido, teniendo un mínimo de contaminación acústica debido al ruido de otros aerogeneradores en la cercanía. En algunos casos, se requirió detener los aerogeneradores más cercanos y se eligieron ubicaciones que minimizarán el número de aerogeneradores afectados por dichas detenciones. La distancia adecuada desde la base de la torre es la suma de la altura de buje más la mitad del diámetro del rotor, con una tolerancia de ±20% (pero no más que ±30m). La medición se realizó a sotavento del aerogenerador, con una tolerancia de ±15°.

Tabla 6. Criterios principales para considerar las características del entorno.

Medición	Criterios para la selección de los puntos
Continua	Se eligieron ubicaciones con un nivel de ruido de fondo representativo del entorno del parque eólico, es decir, se evitaron fuentes puntuales y atípicas para otros sitios en la cercanía, como, por ejemplo, árboles grandes, carreteras o caminos con tránsito vehicular, recintos de carácter industrial con equipos de
Discreta	

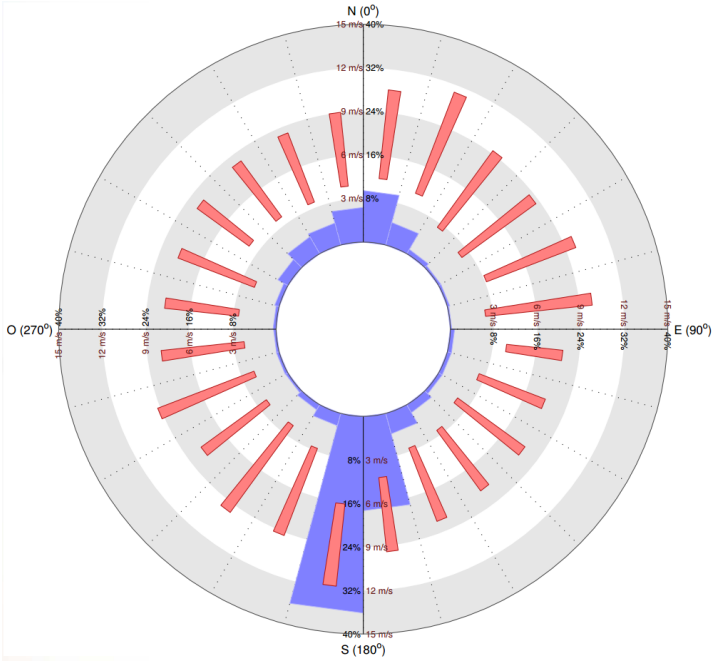
Medición	Criterios para la selección de los puntos
	aire acondicionado, bombas, transformadores, viviendas y/o recintos rurales con animales (para evitar ladridos de perros, etc).
Regulación danesa [11]	Se aplicaron los criterios de las mediciones continuas y discretas, adicionalmente, se consideró las pendientes en el terreno, de tal manera que el ángulo entre la horizontal y una línea recta desde el micrófono y la altura de buje sea entre 25 a 40 grados.

Tabla 7. Criterios principales para considerar la factibilidad.

Medición	Criterios para la selección de los puntos
Continua	Se eligieron sitios planos o con pendientes leves, fácil de acceder e idealmente dentro de los terrenos de los titulares de cada parque eólico (para evitar tener que negociar con partes no involucradas en el estudio). Se intentó evitar ubicaciones en la cercanía de caminos públicos para minimizar la probabilidad de que el equipo llame la atención a cualquiera persona no autorizada, y de dicha manera, reducir el riesgo de manipulaciones o vandalismo del equipo.
Discreta	Se seleccionaron sitios planos o con pendientes leves, fácil de acceder e idealmente dentro de los terrenos de los titulares de cada parque eólico (para evitar tener que negociar con partes no involucradas en el estudio). Adicionalmente, se consideraron caminos públicos y terrenos con acceso público como potenciales sitios para las mediciones.
Regulación danesa [11]	

5.2.2 Parques eólicos 1 & 2

Los parques eólicos 1 y 2, se encuentran en una zona con viento mono-direccional (ver Figura 1). Durante todo el año, los vientos más frecuentemente provienen de la dirección sur, con ocasionales vientos del norte. Los dos proyectos están ubicados uno al lado del otro, por lo cual, se desarrollaron las actividades de las mediciones de forma simultánea, y se enfocaron las mediciones a los sectores ubicados en el lado norte y el lado sur de los proyectos.



Rosa de la velocidad de viento a 95 metros de altura. Las barras azules indican el porcentaje de los valores horarios según la dirección del viento. Las barras rojas indican el rango intercuartil de velocidad de viento para cada intervalo de dirección. La dirección de viento es un ángulo que indica el sector desde donde proviene el viento. En particular: para 0 el viento viene del Norte; para 90 se tiene viento del Este; en el caso de 180 el viento es del Sur; y para 270 se tiene viento del Oeste (reproducido del Explorador Eólico [32])

Figura 1. Rosa de viento, parques eólicos 1 & 2.

Los dos parques eólicos están ubicados en una zona de campos y árboles, con varias residencias en sus alrededores. La ruta nacional 180 entre Los Ángeles y Angol, demarca el límite oeste de ambos proyectos, y es una fuente de ruido de fondo importante, por la cual, se enfocaron las mediciones de ruido en sitios lejos de ésta. En las siguientes figuras, se presentan los puntos de medición de ruidos continuos, discretos y de ruido en aerogeneradores.

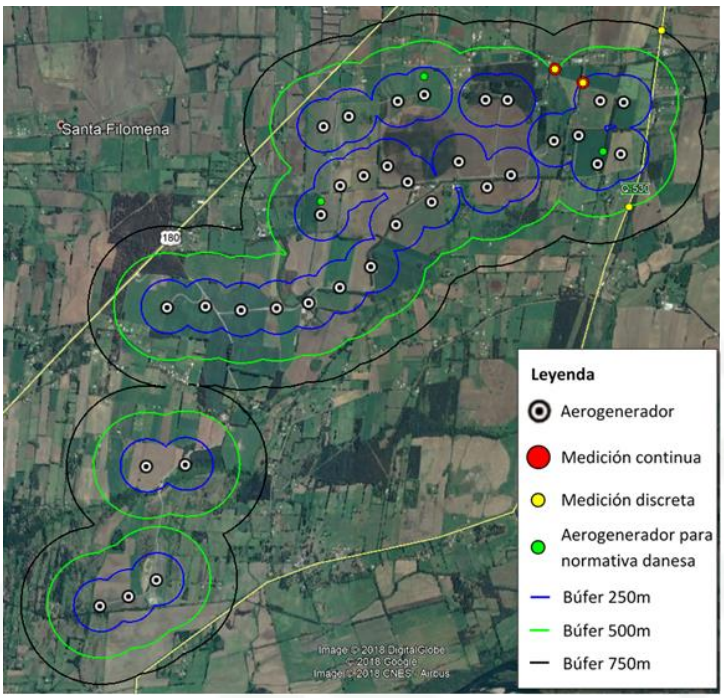


Figura 2. Puntos de medición, parque eólico 1.

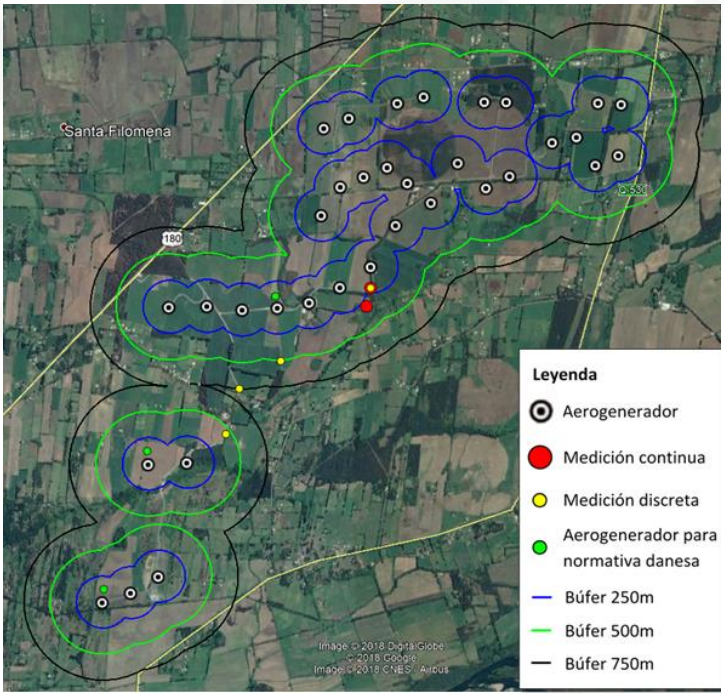


Figura 3. Puntos de medición, parque eólico 2.

Según la regulación danesa [11], por las dimensiones del rotor y la altura de buje, la medición de la potencia acústica de tres (3) aerogeneradores del parque eólico 1 se debió realizar a 143.5m de la base de la torre, con una tolerancia de +/-28 m. En el caso del parque eólico 2, dicha distancia fue de 150m, con una toleracia de +/-30m. En ambos casos, se debió elegir una ubicación a sotavento del aerogenerador, con una tolerancia de +/-15°. Las tablas 8 y 9 resumen los lugares de medición.

Tabla 8. Resumen de los puntos de medición para el parque eólico 1.

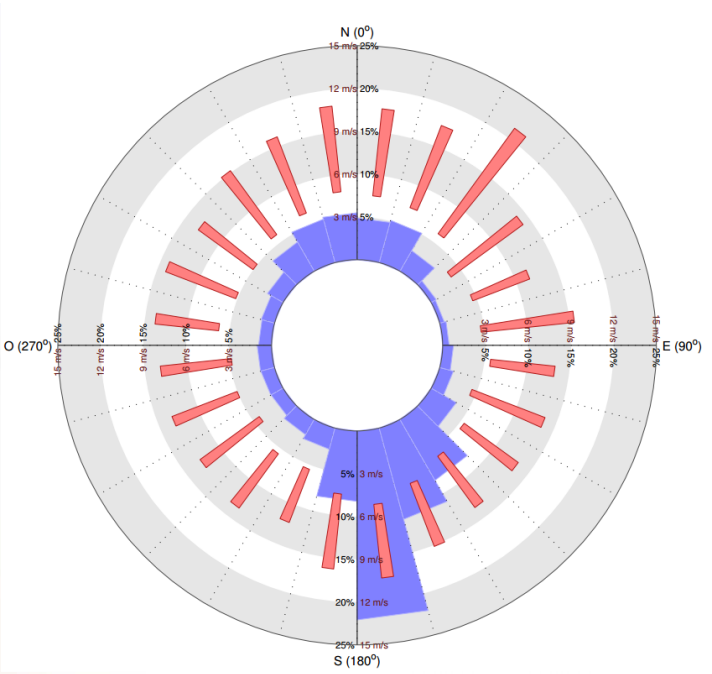
Medición	Hacia el Este	Hacia el Norte	Comentario
Continua 1	723.934	5.845.861	
Continua 2	723.677	5.845.994	
Discreta 1	723.934	5.845.861	
Discreta 2	723.677	5.845.994	
Discreta 3	724.678	5.846.331	
Discreta 4	724.333	5.844.689	
Regulación danesa, aerogener. 1	721.470	5.844.816	A sotavento (+/-15°) y a 143.5m (+/-28m) de la torre del aerogenerador.
Regulación danesa, aerogener. 2	722.459	5.845.959	
Regulacióna danesa, aerogener. 3	724.102	5.845.210	
UTM WGS84-huso 18H			

Tabla 9. Resumen de los puntos de medición para el parque eólico 2.

Medición	Hacia el Este	Hacia el Norte	Comentario
Continua 1	721.912	5.843.996	
Continua 2	721.870	5.843.825	
Discreta 1	721.912	5.843.996	
Discreta 2	721.054	5.843.328	
Discreta 3	720.661	5.843.077	
Discreta 4	720.516	5.842.649	
Regulación danesa, aerogener. 1	721.019	5.843.941	A sotavento (+/-15°) y a 150m (+/-30m) de la torre del aerogenerador.
Regulación danesa, aerogener. 2	719.768	5.842.506	
Regulación danesa, aerogener. 3	719.308	5.841.192	
UTM WGS84-huso 18H			

5.2.3 Parque eólico 3

El parque eólico 3, se encuentran en una zona con viento mono-direccional (ver Figura 4). Durante todo el año, los vientos más frecuentemente provienen de la dirección sur, con ocasionales vientos del norte, por lo cual, se enfocaron las mediciones a los sectores ubicados en el lado norte y el lado sur del proyecto. Sin embargo, por la ondulación del terreno alrededor del proyecto, y dificultades en acceder terrenos aledaños fuera del control del titular del parque, se tuvieron que instalar las estaciones de monitoreo continuo de ruido dentro de los sitios del parque.



Rosa de la velocidad de viento a 57 metros de altura. Las barras azules indican el porcentaje de los valores horarios según la dirección del viento. Las barras rojas indican el rango intercuartil de velocidad de viento para cada intervalo de dirección. La dirección de viento es un ángulo que indica el sector desde donde proviene el viento. En particular: para 0 el viento viene del Norte; para 90 se tiene viento del Este; en el caso de 180 el viento es del Sur; y para 270 se tiene viento del Oeste (reproducido del Explorador Eólico [32])

Figura 4. Rosa de viento, parque eólico 3.

El parque eólico, está ubicado en una zona de campos y árboles, con varios edificios y residencias en su alrededor. Para evitar el ruido que proviene de las actividades ajenas al sonido operacional de los aerogeneradores, se ubicaron las mediciones lejanas de ella.

Para este caso, dada la poca distancia que había entre aerogeneradores, además de las condiciones del entorno (barrancos y bosques) y la no autorización del titular del parque

eólico para detener los aerogeneradores, se optó en caracterizar un (1) sólo aerogenerador, dado que era el único equipo que a la distancia recomendado por la regulación danesa [11], no presentaba una contaminación tan severa de aerogeneradores cercanos.

La Figura 5 y Tabla 10 resumen los lugares de medición propuestos.

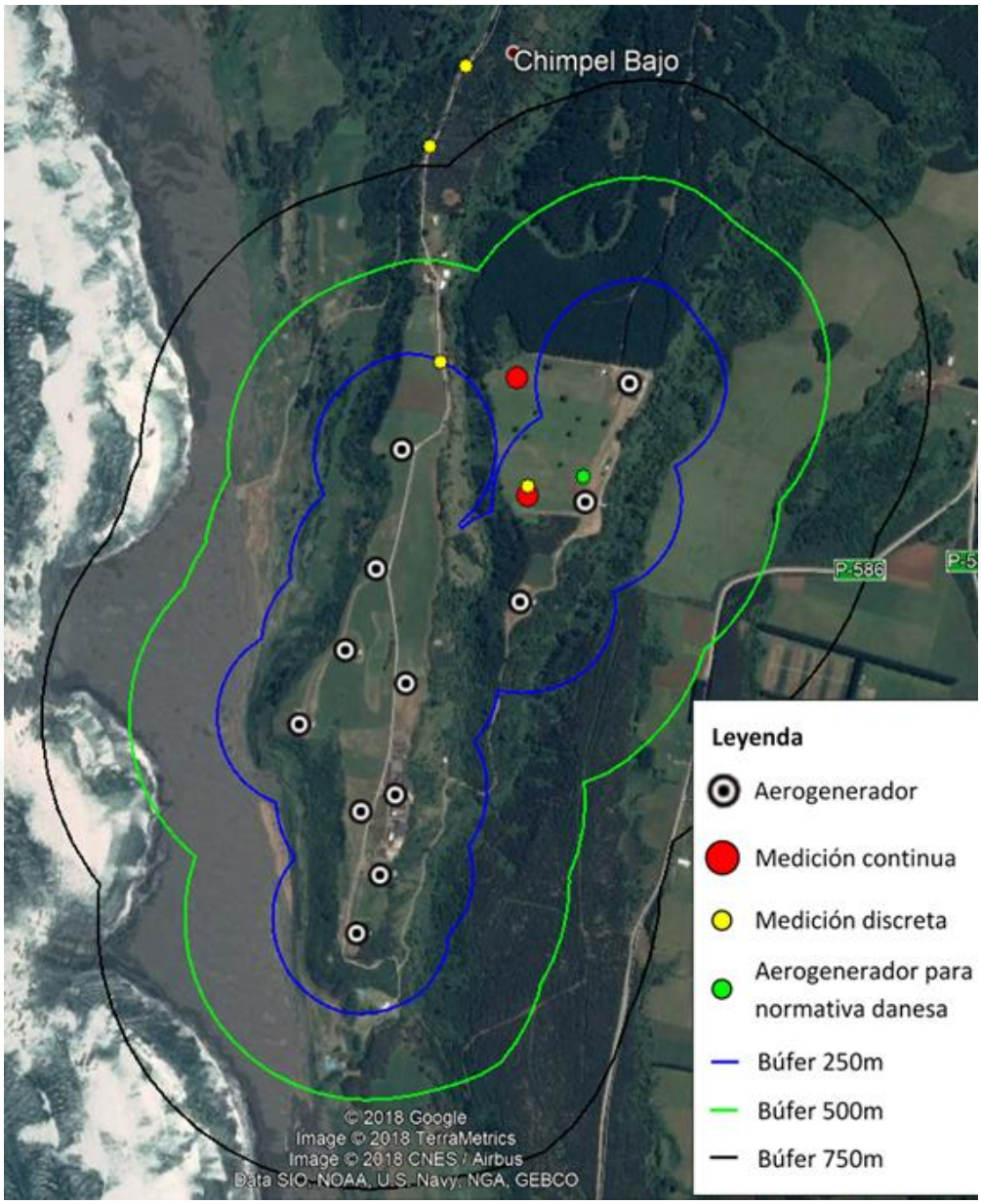


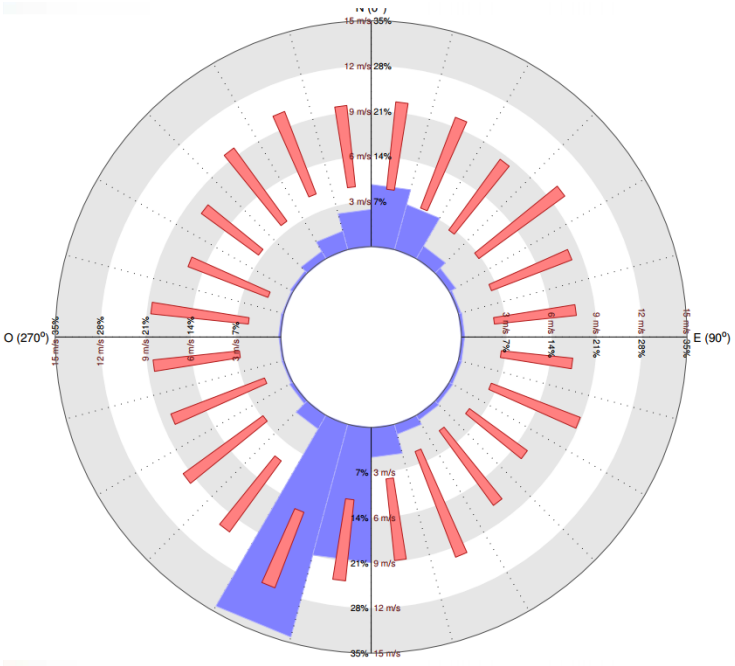
Figura 5. Puntos de medición, parque eólico 3.

Tabla 10. Resumen de los puntos de medición propuestos para el parque eólico 3

Medición	Hacia el Este	Hacia el Norte	Comentario
Continua 1	619.602	5.828.559	
Continua 2	619.577	5.828.867	
Discreta 1	619.603	5.828.583	
Discreta 2	619.577	5.828.867	
Discreta 3	619.451	5.829.672	
Discreta 4	619.354	5.829.483	
Regulación danesa, aerogener. 1	619.750	5.828.605	A sotavento (+/-15°) y a 92,5m (+/- 18,5m) de la torre del aerogenerador.
UTM WGS84-huso 18H			

5.2.4 Parque eólico 4

El parque eólico 4, se encuentra en una zona con viento mono-direccional (ver Figura 6). Durante todo el año los vientos más frecuentemente provienen de la dirección sur, con ocasionales vientos del norte, por lo cual, se enfocaron las mediciones de ruido en los sectores ubicados en el lado norte y el lado sur del proyecto.



Rosa de la velocidad de viento a 95 metros de altura. Las barras azules indican el porcentaje de los valores horarios según la dirección del viento. Las barras rojas indican el rango intercuartil de velocidad de viento para cada intervalo de dirección. La dirección de viento es un ángulo que indica el sector desde donde proviene el viento. En particular: para 0 el viento viene del Norte; para 90 se tiene viento del Este; en el caso de 180 el viento es del Sur; y para 270 se tiene viento del Oeste (reproducido del Explorador Eólico [32])

Figura 6. Rosa de viento, parque eólico 4.

El parque eólico está ubicado en una zona de campos y árboles, con varias residencias en su alrededor. La ruta nacional 180 entre Los Ángeles y Angol demarca el límite oeste del proyecto, y es una fuente de ruido de fondo importante, por la cual, se focalizaron las mediciones en sitios lejos de esta.

En la siguiente figura, se presenta un esquema con los puntos de medición utilizados para caracterizar el parque eólico.

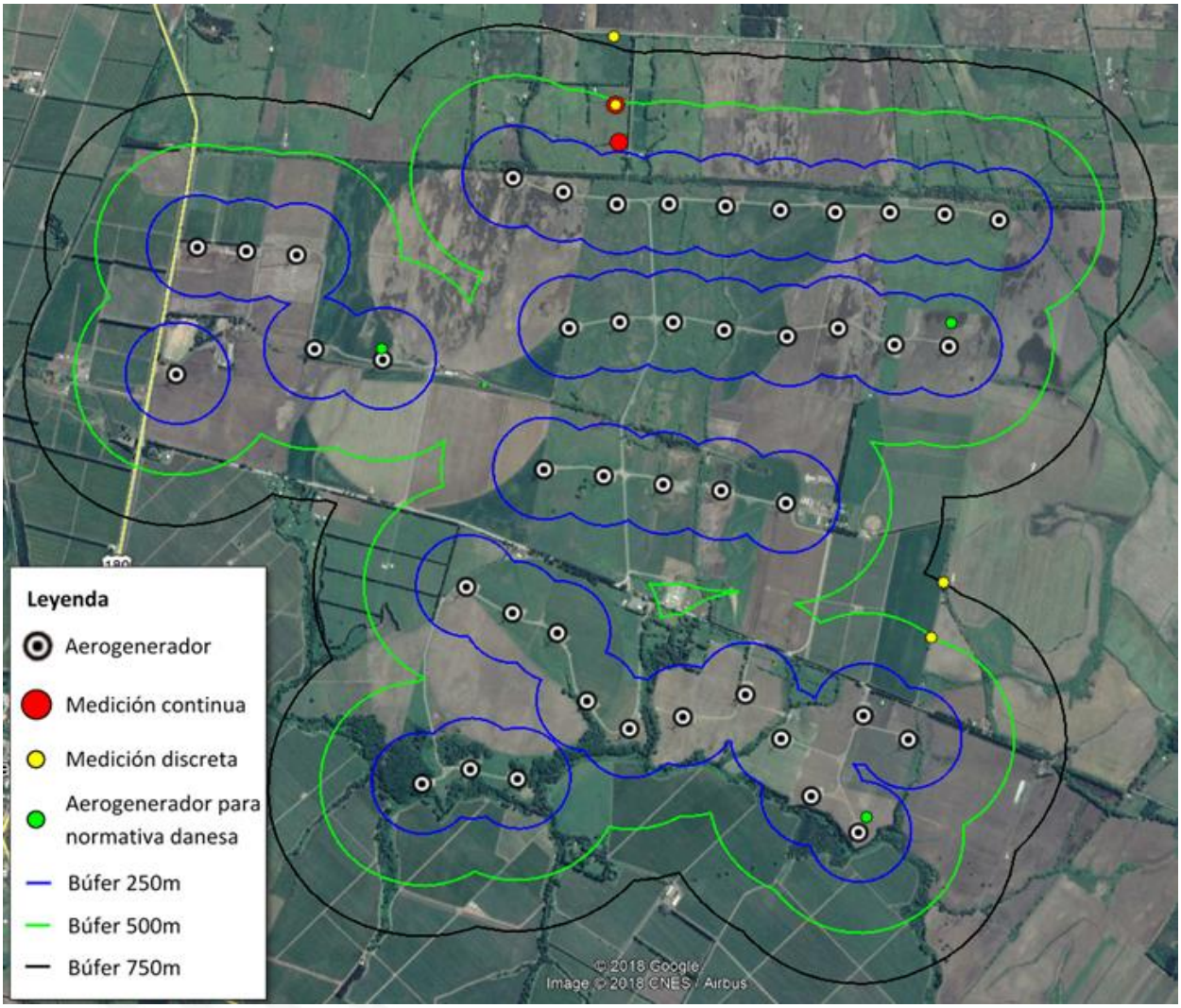


Figura 7. Puntos de medición, parque eólico 4.

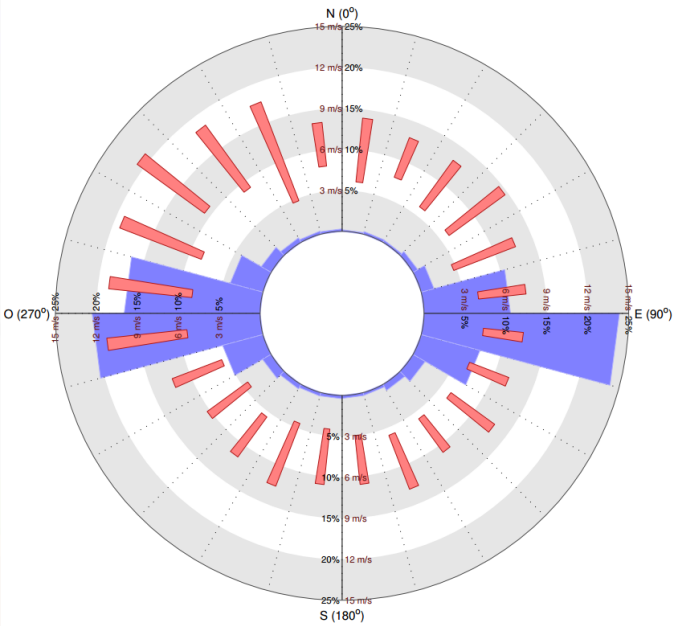
Por las dimensiones del rotor y la altura de buje, la medición de ruido en tres (3) aerogeneradores se realizó a 150m de la base de la torre, con una tolerancia de +/-30 m, a sotavento del aerogenerador, con una tolerancia de +/-15°. La Tabla 11 resume los lugares de medición.

Tabla 11. Resumen de los puntos de medición para el parque eólico 4.

Medición	Hacia el Este	Hacia el Norte	Comentario
Continua 1	713.298	5.824.059	
Continua 2	713.286	5.824.244	
Discreta 1	713.286	5.824.244	
Discreta 2	713.286	5.824.579	
Discreta 3	714.804	5.821.856	
Discreta 4	714.741	5.821.587	
Regulación danesa, aerogener. 1	714.879	5.823.129	A sotavento (+/-15°) y 150m (+/-30m) de la torre del aerogenerador.
Regulación danesa, aerogener. 2	712.126	5.823.073	
Regulación danesa, aerogener. 3	714.410	5.820.706	
UTM WGS84-huso 18H			

5.2.5 Parque eólico 5

El parque eólico 5, se encuentra en la región de Antofagasta, a unos 10 kilómetros al sureste de la ciudad Calama, en el Desierto de Atacama, con un régimen de viento bidireccional (ver Figura 8). Durante la noche, el viento proviene predominantemente de la dirección este, con velocidades bajas y medianas. Durante el día, el viento proviene predominantemente de la dirección oeste, con velocidades medianas a altas. Por las direcciones predominantes del viento, se enfocaron las mediciones a los sectores ubicados en el lado este y el lado oeste del proyecto.



Rosa de la velocidad de viento a 92 metros de altura. Las barras azules indican el porcentaje de los valores horarios según la dirección del viento. Las barras rojas indican el rango intercuartil de velocidad de viento para cada intervalo de dirección. La dirección de viento es un ángulo que indica el sector desde donde proviene el viento. En particular: para 0 el viento viene del Norte; para 90 se tiene viento del Este; en el caso de 180 el viento es del Sur; y para 270 se tiene viento del Oeste (reproducido del Explorador Eólico [32])

Figura 8. Rosa de viento, Parque Eólico 5.

El parque eólico está rodeado por pleno desierto, sin vegetación ni edificaciones en su alrededor. La ruta internacional 23 entre Calama y San Pedro de Atacama, cruza la parte sur del proyecto y es una fuente de ruido de fondo importante, por la cual, se focalizaron las mediciones en la parte norte del proyecto. En esta parte, hubo un nivel de ruido de fondo muy bajo, y por este motivo, se realizaron ambas mediciones continuas a una distancia de 500m en vez de 250m y 500m. De esta manera, se realizó una medición tanto en el sector oeste como en el sector este (ver Figura 9).

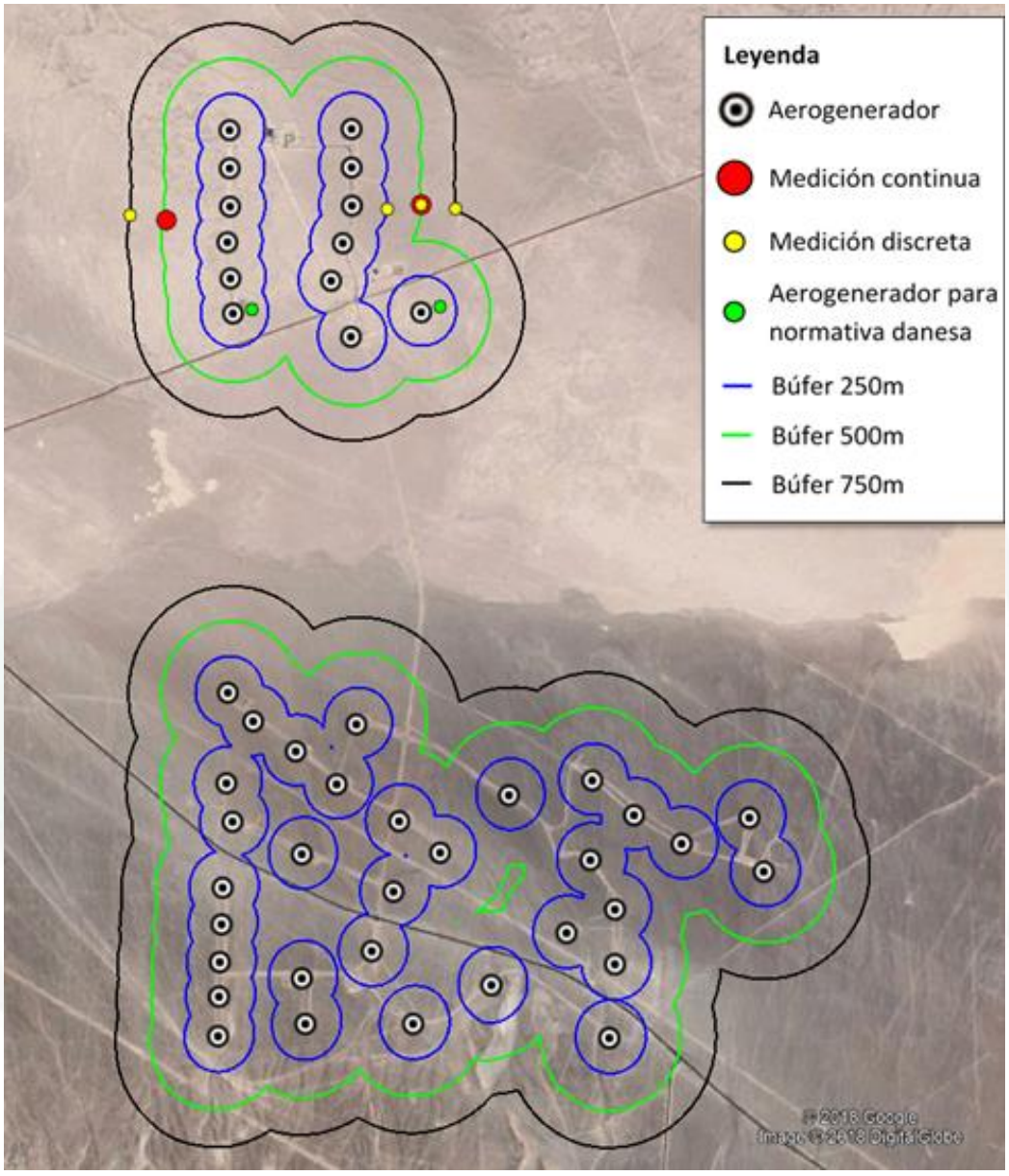


Figura 9. Puntos de medición, parque eólico Valle de los Vientos.

Según la regulación danesa [11], por las dimensiones del rotor y la altura de buje, la medición de ruido en tres (3) aerogeneradores se realizó a 130m de la base de la torre, con una tolerancia de +/-26 m, y a sotavento del aerogenerador, con una tolerancia de +/-15°. La Tabla 12 resume los lugares de medición.

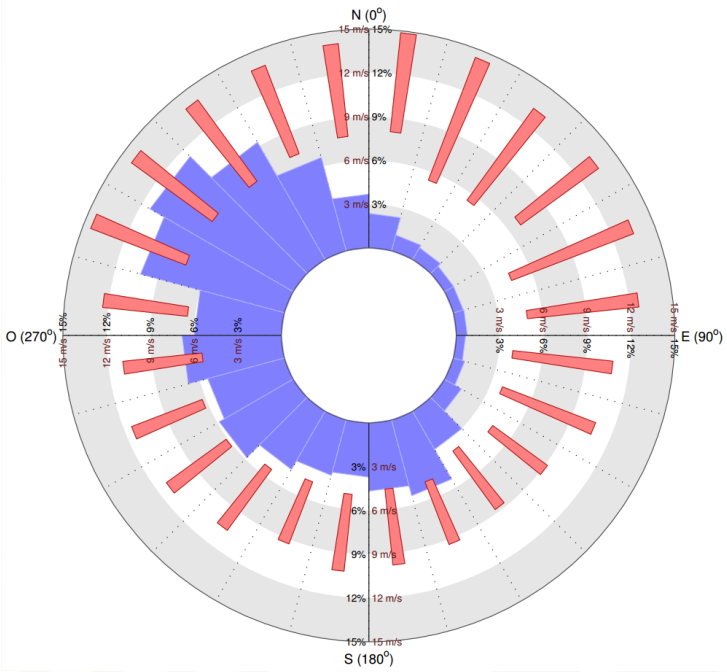
Tabla 12. Resumen de los puntos de medición propuestos para el parque eólico 5.

Medición	Hacia el Este	Hacia el Norte	Comentario
Continua 1	519.262	7.513.527	
Continua 2	517.384	7.513.432	
Discreta 1	519.262	7.513.527	
Discreta 2	519.514	7.513.496	
Discreta 3	519.015	7.513.495	
Discreta 4	517.115	7.513.469	
Regulación danesa, aerogener. 1	518.018	7.512.789	A sotavento (+/-15°) y 130m (+/-26m) de la torre del aerogenerador.
Regulación danesa, aerogener. 2	519.396	7.512.803	
Regulación danesa, aerogener. 3	521.768	7.508.816	
UTM WGS84-huso 19K			

Cabe destacar que este parque eólico, fue el único de los seis (6) parques bajo estudio, en el cual, el mandante del parque estuvo dispuesto a detener algunos aerogeneradores para realizar las mediciones de ruido de aerogeneradores. En particular, se consensuó con la contraparte técnica del estudio, sólo caracterizar dos (2) de los tres (3) aerogeneradores propuestos, toda vez que caracterizar el aerogenerador que se eliminó, involucraba detener muchos aerogeneradores, lo cual, el mandante del parque eólico manifestó no estar dispuesto a realizar por los costos asociados a detener tantos aerogeneradores.

5.2.6 Parque eólico 6

El parque eólico 6, se encuentra en una zona con viento omnidireccional (ver Figura 10), con los sectores más frecuentes en el norte, oeste y sur. Se enfocaron las mediciones a los sectores ubicados en el lado norte y el lado sur del proyecto, que están afectados por un número más grande de aerogeneradores, ya que el diseño del parque se compone de dos filas de aerogeneradores alineados desde el oeste al este.



Rosa de la velocidad de viento a 91 metros de altura. Las barras azules indican el porcentaje de los valores horarios según la dirección del viento. Las barras rojas indican el rango intercuartil de velocidad de viento para cada intervalo de dirección. La dirección de viento es un ángulo que indica el sector desde donde proviene el viento. En particular: para 0 el viento viene del Norte; para 90 se tiene viento del Este; en el caso de 180 el viento es del Sur; y para 270 se tiene viento del Oeste (reproducido del Explorador Eólico [32])

Figura 10. Rosa de viento, parque eólico 6.

El parque eólico está ubicado en una meseta abierta, pero con bosque nativo en sus alrededores. No existen edificaciones ni carreteras dentro de varios kilómetros. La Figura 11 y Tabla 13 resumen los lugares de medición propuestos.

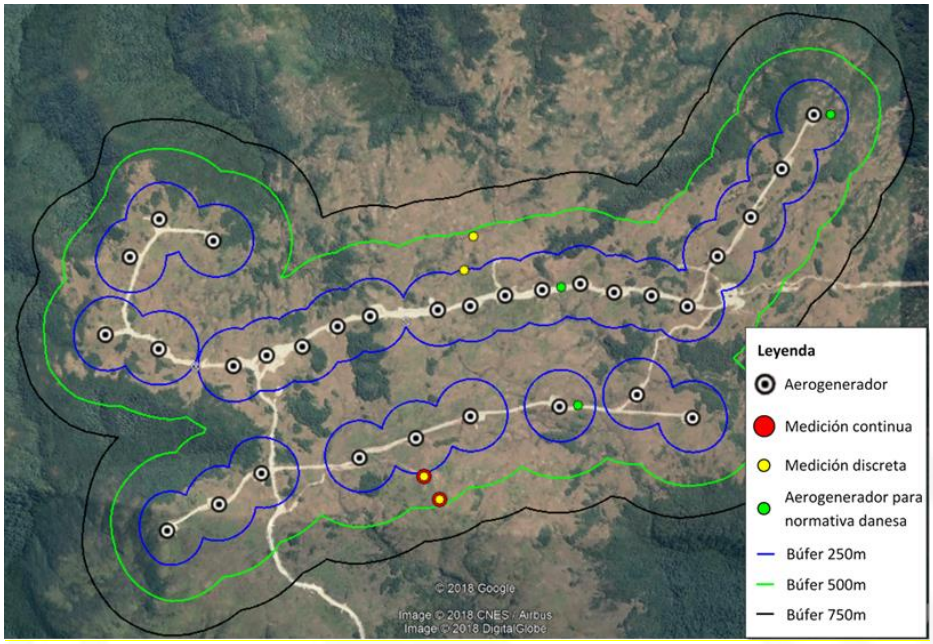


Figura 11. Puntos de medición, parque eólico 6.

El parque eólico se compone de aerogoeneradores de dos modelos distintos, con alturas de buje diferentes. Se realizaron dichas mediciones a una distancia desde la base de la torre definida por la suma de la altura de buje más la mitad del diámetro del rotor, con una tolerancia de +/-20% (pero no más de +/-30m).

Tabla 13. Resumen de los puntos de medición propuestos para el parque eólico 6.

Medición	Hacia el Este	Hacia el Norte	Comentario
Continua 1	588.817	5.318.021	
Continua 2	588.922	5.317.860	
Discreta 1	589.112	5.319.430	
Discreta 2	589.178	5.319.664	
Discreta 3	588.817	5.318.021	
Discreta 4	588.922	5.317.860	
Regulación danesa, aerogenerador 1	589.778	5.319.308	A sotavento (+/-15°) y altura de buje + 0.5*diámetro del rotor (+/-20%) de la torre del aerogenerador
Regulación danesa, aerogenerador 2	591.692	5.320.492	
Regulación danesa, aerogenerador 3	589.892	5.318.490	
UTM WGS84-huso 18G			

5.3 Actividad 2: Medir niveles de ruido en puntos receptores

5.3.1 Metodología

Se efectuaron mediciones de ruido en los puntos de medición definidos en la Actividad 1), para los seis (6) parques eólicos bajo estudio. En todos los parques, se realizaron mediciones continuas y discretas de ruido, además de mediciones de ruido de fondo.

A continuación, se detalla la metodología empleada para cada tipo de medición.

5.3.1.1 Mediciones continuas

Se efectuaron mediciones continuas de ruido en dos (2) puntos de medición por cada parque eólico, donde se ubicó un punto de medición a 4 metros sobre el nivel de piso (suelo) y a 3,5 metros o más de las paredes, construcciones u otras estructuras reflectantes distintas al piso.

La técnica de medición de los niveles de ruido fue la siguiente:

a) Las mediciones se realizaron para caracterizar de forma temporal el ruido de los aerogeneradores cercanos al punto de medición.
b) Las estaciones miden de forma continua los niveles de ruido por un periodo de dos (2) semanas.

Cabe destacar que en una etapa inicial, antes de realizar la instalación en terreno, se había consensuado con la contraparte técnica utilizar una altura de medición de 2 metros sobre el nivel de piso (suelo). Sin embargo, dada las condiciones de terreno (animales y personas cercas de las estaciones), se optó en incrementar la altura del punto de medición, con el fin de resguardar la seguridad del instrumental.

5.3.1.2 Mediciones discretas

Además de mediciones continuas de ruido, se efectuaron cuatro (4) mediciones discretas de ruido por cada parque eólico, tanto para horario diurno como nocturno, donde se ubicó un

punto de medición a 1,5 metros sobre el nivel de piso (suelo) y a 3,5 metros o más de las paredes, construcciones u otras estructuras reflectantes distintas al piso.

La técnica de medición de los niveles de ruido fue la siguiente:

a) Las mediciones se realizaron para caracterizar de forma espacial el ruido de los aerogeneradores cercanos al punto de medición.
b) Se realizaron, en el lugar de medición, una (1) medición de una (1) hora para cada punto de medición, registrando en cada una el L(A)eq cada 1 y 10 minutos.
c) Se descartaron aquellas mediciones que incluyeron ruidos ocasionales.

5.3.1.3 Ruido de fondo

Se realizaron mediciones de ruido de fondo de duración treinta (30) minutos en dos (2) puntos receptores por cada parque eólico. En particular, las mediciones se realizaron en diferentes puntos de mediciones discretas, lo cuales se identifican en las tablas adjuntas en formato .xlsx.

El procedimiento de medición utilizado para la medición de niveles de ruido de fondo se basó al indicado en el D.S. 38/11 del MMA [16], el cual se define como: *es aquel que está presente en el mismo lugar y momento de medición de la fuente que se desea evaluar, en ausencia de ésta,* pero considerando que la duración sea de treinta (30) minutos, y registrando en cada una el L(A)eq cada 1 y 10 minutos.

Por otra parte, en algunos parques eólicos, no fue posible realizar mediciones de ruido de fondo, dado que los titulares, no dieron autorización para detener los aerogeneradores. Por lo anterior, se realizaron mediciones de ruido de fondo en “ambiente comparado”, lo cual, implicó encontrar un punto de medición que cuente con las mismas condiciones del parque eólico, en lo relacionado a las fuentes de ruido que caracterizarían el ruido de fondo del parque. Para estos casos, y al igual que para otras mediciones de ruido de fondo, se entregó una ficha de medición con las coordenadas de ubicación del punto, resultados, entre otros, en formato .xlsx.

5.3.1.4 Condiciones meteorológicas

Se consensuó con la contraparte técnica, que las condiciones meteorológicas se obtendrían de los registros que tienen las estaciones meteorológicas de cada aerogenerador para cada parque eólico bajo estudio. En particular, se solicitó la dirección y velocidad del viento a la altura de buje que cada aerogenerador. Además, la velocidad de viento considerada en los entregables en conjunto con los datos de medición, corresponde al promedio de las velocidades de los tres (3) aerogeneradores más cercanos al punto de medición bajo estudio.

Cabe destacar que para los parques eólicos 3 y 6, se instalaron estaciones de condiciones meteorológicas a 10 metros de altura.

5.3.2 Instrumental de medición

5.3.2.1 Mediciones continuas

Para las mediciones continuas, se instaló un sistema de monitoreo de ruido en base a sonómetros Absentia modelo Capta, paneles solares, entre otros. En algunos casos, fue necesario implementar cercos de protección o bandas elásticas con la palabra “peligro”, con el fin de dar protección al sistema ante posibles hurtos.

En el Anexo 1 del informe, se muestran los certificados de calibración de los sonómetros empleados para las mediciones continuas.

En la siguiente figura, se muestra una fotografía de una medición continua de ruido con el sistema de monitoreo instalado y pantalla antiviento especial (en secciones posteriores se describe con mayor detalle).



Figura 12. Medición continúa de ruido en parque eólico utilizando sonómetro Absentia Capta.

5.3.2.2 Mediciones discretas

Para las mediciones discretas, se utilizaron los sonómetros indicados en la siguiente tabla.

Tabla 14. Sonómetros utilizados.

Marca	Modelo	Precisión	Características	Cantidad
Cesva	SC260	Tipo 2	Filtro de 1/1 octava	1
Cesva	SC310	Tipo 1	Filtro de 1/3 octava	1
Norsonic	NOR 131	Tipo 1	Filtro de 1/1 octava	1
BSWA	309	Tipo 2	Filtro de 1/3 octava	1

A continuación, se muestra una fotografía de una medición discreta, utilizando el sonómetro BSWA 309 y pantalla antiviento especial (en secciones posteriores se describe con mayor detalle).



Figura 13. Medición discreta en parque eólico utilizando sonómetro BSWA 309.

5.3.2.3 Pantallas antiviento

Para todas las mediciones de ruido (continuas y discretas), se utilizaron pantallas antiviento ACO PACIFIC, modelo WS7-80T., que cumplen con los requisitos de la IEC-61400-11 [22]. A continuación, se muestra una fotografía de una medición discreta, utilizando las pantallas antiviento recién mencionada.



Figura 14. Medición discreta en parque eólico utilizando pantalla antiviento ACO PACIFIC WS7-80T.

5.4 Actividad 3: Medir niveles de ruido en aerogeneradores

Esta actividad, contempló implementar la regulación danesa definida por la Orden Legal 1284 (S.O. 1284) [11], en cada parque eólico. Dicho esto, se generó una caracterización de cada parque eólico a través de mediciones de nivel de potencia acústica de tres (3) aerogeneradores por cada parque, de acuerdo a lo establecido en la regulación danesa [11] y la normativa técnica IEC-61400-11 [22]. Posterior a esto, se proyectaron niveles de

presión sonora en los puntos receptores definidos en la Actividad 1), con el fin de identificar el nivel de presión sonora (NPS) de cada receptor, según el procedimiento descrito en la regulación danesa [11].

Cabe destacar, que por motivos que se detallan más adelante, no fue posible obtener datos representativos de potencia acústica para los parques eólicos, con excepción del parque eólico 5. Por lo anterior, las proyecciones de niveles de ruido en receptores se realizaron con niveles de potencia obtenidos de fichas técnicas de los fabricantes de los aerogeneradores, exceptuando el parque eólico 5, que se realizaron con los datos medidos in situ.

A continuación, se detalla la metodología empleada, basada en la regulación danesa [11]. En el Anexo 2 del informe, se entrega un resumen con todas las recomendaciones entregadas en la regulación danesa [11], las cuales fueron tomadas en consideración para la campaña de mediciones y cálculos de niveles de ruido y potencia acústica.

5.4.1 Metodología

Se efectuaron mediciones de ruido en tres (3) aerogeneradores para cada parque eólico, excepto en los siguientes parques:

a) Parque eólico 3.
b) Parque eólico 5.

Para el parque eólico 3, dada la poca distancia que había entre aerogeneradores, además de las condiciones del entorno (barrancos y bosques) y la no autorización del titular del parque eólico para detener los aerogeneradores, se optó en caracterizar un (1) sólo aerogenerador, dado que era el único equipo que a la distancia recomendado por la regulación danesa [11], no presentaba contaminación por aerogeneradores cercanos.

Por otra parte, el parque eólico 5, fue el único de los seis (6) parques eólicos bajo estudio, en el cual, el mandante del parque estuvo dispuesto a detener algunos aerogeneradores. Por lo anterior, se realizaron modelaciones para estimar cuántos aerogeneradores se debían detener para que la medición de ruido no estuviese contaminada por el sonido operacional de los aerogeneradores cercanos al punto de medición. En este sentido, se tomó como

criterio, que el nivel de ruido en el punto de interés (con algunos aerogeneradores funcionando), sea por lo menos 10 dB menor al nivel que se tendría con el aerogenerador que se desea caracterizar. De esta forma, se determinaron qué aerogeneradores, cercanos al punto de medición, se debían detener para lograr cumplir con el criterio recién mencionado. Posterior a esto, se consensuó con la contraparte técnica del estudio, sólo caracterizar dos (2) de los tres (3) aerogeneradores propuestos en la actividad 1), toda vez que caracterizar el aerogenerador que se eliminó, involucraba detener muchos aerogeneradores, lo cual, el titular del parque eólico manifestó no estar dispuesto a realizarlo por los costos asociados a detener tantos aerogeneradores.

Para el resto de los parques eólicos, se realizaron las mediciones de los aerogeneradores con todo el parque funcionando, por lo cual, varias de las mediciones están contaminadas con el sonido operacional de otros aerogeneradores (no sólo el que se desea caracterizar). Sólo en el parque eólico 6, se pudo realizar mediciones en aerogeneradores que estaban cercanos a otros que no estaban funcionando, por lo cual, se estima que las mediciones obtenidas de éste parque, son relativamente representativas (ya que existió influencia de los pocos aerogeneradores que estaban funcionando cerca del punto de medición).

5.4.1.1 Mediciones de ruido de aerogeneradores

Para las mediciones de ruido de aerogeneradores, se ubicó un punto de medición sobre una placa reflectante, a diferentes distancias de los aerogeneradores (la distancia de medición depende de la altura y diámetro de rotor del aerogenerador a caracterizar). Todas las mediciones se realizaron a sotavento del aerogenerador y con condiciones de viento apropiadas según lo establecido en la regulación danesa [11] (velocidades que oscilan entre 5,5 y 8,5 m/s en altura de buje).

La técnica de medición de los niveles de ruido fue la siguiente:

a) Las mediciones se realizaron para caracterizar el sonido operacional de los aerogeneradores y calcular la potencia acústica del mismo, acorde a la metodología indicada por la regulación danesa [11].

b) Se realizaron mediciones de ruido en bandas de 1/3 de octava, de duración mínima de 10 minutos y con un tiempo de promedio de 10 segundos para cada aerogenerador.

Cabe destacar que la normativa recomienda realizar mediciones de ruido de 5 minutos de duración para un tiempo promedio de 10 segundos, sin embargo, el equipo consultor consideró oportuno duplicar el tiempo recomendado por la normativa.

5.4.1.2 Condiciones meteorológicas

Al igual que para las mediciones continuas y discretas, se consensuó con la contraparte técnica, que las condiciones meteorológicas se obtendrían de los registros que tienen las estaciones meteorológicas de cada aerogenerador para cada parque eólico bajo estudio. En particular, sólo se solicitó la velocidad del viento a la altura de buje de los aerogeneradores estudiados.

Por otra parte, no fue factible realizar mediciones de velocidad a 10 metros de altura, por lo cual, se calculó la velocidad de referencia en función del modelo analítico presentado en la regulación danesa [11] (detallado en el Anexo 2 del informe).

5.4.2 Instrumental de medición

5.4.2.1 Sonómetro

Para las mediciones de ruido de aerogeneradores, se utilizaron los sonómetros indicados en la siguiente tabla.

Tabla 15. Sonómetro utilizado.

Marca	Modelo	Precisión	Características	Cantidad
Cesva	SC310	Tipo 1	Filtro de 1/3 octava	1

A continuación, se muestra una fotografía de una medición de ruido de aerogenerador, utilizando el sonómetro Cesva SC310 y pantalla antiviento especial (en secciones posteriores se describe con mayor detalle).



Figura 15. Medición de ruido de aerogenerador utilizando sonómetro Cesva SC310.

5.4.2.2 Pantallas antiviento

Para todas las mediciones de ruido de aerogeneradores, se utilizaron pantallas antiviento ACO PACIFIC, modelo HEMI18, que cumplen con los requisitos de la IEC-61400-11 [22]. A continuación, se muestra una fotografía de una medición de ruido de aerogenerador, utilizando las pantallas antiviento recién mencionada.



Figura 16. Medición de ruido de aerogenerador utilizando pantalla antiviento ACO PACIFIC HEMI18.

5.4.2.3 Placa reflectante

Para todas las mediciones de ruido de aerogeneradores, se utilizaron pantallas reflectantes circulares de madera, de 1 m de diámetro y de 15 cm de espesor. A continuación, se muestra una fotografía de una medición de ruido de aerogenerador, utilizando la placa reflectante.



Figura 17. Medición de ruido de aerogenerador utilizando placa reflectante.

5.4 Actividad 4: Presentar resultados

Durante el transcurso del proyecto, se entregaron dos (2) informes de avance (además de este informe final), los cuales contemplaron presentaciones presenciales a la contraparte técnica del estudio en dependencia del Ministerio del Medio Ambiente (San Martín 73, Santiago).

5.5 Actividades adicionales

La mayoría de las actividades adicionales propuestas por el equipo consultor, fueron actividades complementarias a las actividades mínimas establecidas en las bases de licitación del proyecto, las cuales se enumeran a continuación:

a) Mediciones de niveles de ruido en ponderación C y lineal.
b) Grabación de audio de aerogeneradores.
c) Incorporar a un especialista en análisis de condiciones meteorológicas.
d) Incorporar a un especialista en modelación de ruido de parques eólicos.
e) Incrementar la cantidad de días de monitoreo.
f) Monitorear con dos estaciones durante todo el proyecto.
g) Visualizar los niveles de presión sonora a tiempo real.
h) Realizar un análisis comparativo entre niveles de presión sonora proyectados por la regulación danesa e ISO-9613.
i) Proponer criterios para el protocolo de cálculo de ruido.

Respecto a las mediciones de niveles de ruido en ponderación C y lineal, todos los datos de las mediciones continuas de ruido, se entregaron en ponderación A, C y lineal (Z). Además, se entregaron grabaciones de audio de aerogeneradores de ciertos parques eólicos, con el fin de tener registro del sonido operacional de los mismos. En el Anexo 6, se detallan las grabaciones de audio de aerogeneradores entregadas. Por otra parte, uno de los miembros del equipo consultor fue el Dipl-Ing. Christian Darr, ingeniero alemán especialista tanto en el diseño de parques eólicos como en el monitoreo y análisis de condiciones meteorológicas. Además, otro miembro del equipo fue el Ing. Felipe Fernández, especialista en modelación de ruido de parques eólicos. En adición, se incrementaron la cantidad de días de monitoreo de ruido en cada parque eólico, pasando de una (1) semana de monitoreo (mínimo indicado en las bases de licitación) a dos (2) semanas de monitoreo para cada parque eólico (que es la duración mínima que recomiendan algunos de los estándares internacionales para monitorear ruido de parques eólicos). Complementando lo anterior, se instalaron dos (2) estaciones de monitoreo de ruido en un (1) parque eólico durante todo el transcurso del proyecto (retiradas en marzo del 2018). Asimismo, para las estaciones de monitoreo de ruido recién mencionadas, se entregó un nombre de usuario y clave a la contraparte técnica del estudio, con el fin de poder visualizar los niveles de presión sonora registrados por las estaciones de monitoreo de ruido a tiempo real, en la

página web de los equipos de mediciones utilizados. Además, en el Anexo 3, se realizó un análisis comparativo entre los niveles de presión sonora medidos y proyectados por la regulación danesa (Statutory Order on Noise from Wind Turbines, No. 1284 of 2011) [11] e ISO-9613 "Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors. Part I: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere y Part II: General method of calculation" [25][26]. Finalmente, en el Anexo 4, se propusieron criterios para el protocolo de cálculo de niveles de presión sonora en parques eólicos, utilizando ISO-9613 [25][26], toda vez que la normativa para evaluar el impacto acústico de parques eólicos en Chile (DS-38/11 del MMA [16]), exige que las modelaciones de ruido se realicen con la normativa recién mencionada.

Además, a petición de la contraparte técnica, se entregaron ochenta y siete (87) fotografías de las campañas de mediciones del proyecto, presentadas en el Anexo 7.

Finalmente, el equipo consultor incorporó en el Anexo 8 consideraciones para una normativa de ruido de parques eólicos, en el cual, se recomienda un nivel máximo permisible independiente de la velocidad del viento y del ruido de fondo, se detalla el descriptor acústico para mediciones de ruido, que se utilicen bandas de octava de frecuencia, el tipo de calibrador y sonómetro, la altura, ubicación y extensión de las mediciones de ruido y viento, que se consideren gráficos de correlación de ruido y viento, sanciones por tonalidad, métodos de propagación para realizar modelaciones de ruido y especificaciones técnicas de protectores antiviento, según lo recomendado en la normativa IEC-61400-11 [22].

5.6 Cronograma

A continuación, se presenta el cronograma de trabajo empleado para el desarrollo de las actividades del proyecto, de acuerdo a lo establecido en las bases de licitación y la propuesta técnica.

Tabla 14. Cronograma de trabajo.

Actividad	Semanas																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.- Definir lugares de medición	X	X																
2.- Medición de niveles de ruido en puntos receptores			X	X	X	X	X	X	X	X								
3.- Medición de niveles de ruido en aerogeneradores			X	X	X	X	X	X	X	X								
4.- Grabación de audio de aerogeneradores			X	X	X	X	X	X	X	X								
5.- Monitoreo adicional con dos estaciones										X	X	X	X	X	X	X	X	X
6.- Visualizar los niveles de presión sonora a tiempo real en las estaciones de monitoreo continuo, mediante página web										X	X	X	X	X	X	X	X	X
7.- Realizar un análisis comparativo entre los niveles de ruido obtenidos de las mediciones discretas en cada parque con la estimación del nivel de presión sonora utilizando la normativa danesa y la normativo ISO-9613.											X	X						
8.- Proponer criterios para el protocolo de cálculo de niveles de presión sonora en parques eólicos, utilizando la normativa ISO-9613.													X	X				
9.- Entrega Primer informe de Avance		X																
10.- Entrega Segundo informe de Avance								X										
11.- Entrega Informe Final														X				
12.- Presentación resultados		X												X				X
13.- Aprobación de informe final, revisión por la contraparte técnica y modificaciones en caso necesario														X	X	X	X	
14.- Término del contrato																		X

6 RESULTADOS

6.1 Mediciones continuas

Dada la gran cantidad de datos obtenidos de las campañas de mediciones de ruido, se adjuntan todos los datos en formato *.xls* (Excel). Los archivos que se adjuntan son los siguientes:

1) PE1_01_MC1M_VF.xlsx.

Corresponde a los datos cada 1 minuto de la estación continua 01, a una distancia de 250m desde el aerogenerador más cercano, del parque eólico 1.

2) PE1_01_MC10M_VF.xlsx.

Ídem al anterior, pero datos cada 10 minutos.

3) PE1_02_MC1M_VF.xlsx.

Corresponde a los datos cada 1 minuto de la estación continua 02, a una distancia de 500m desde el aerogenerador más cercano, del parque eólico 1.

4) PE1_02_MC10M_VF.xlsx.

Ídem al anterior, pero datos cada 10 minutos.

5) PE2_01_MC1M_VF.xlsx.

Corresponde a los datos cada 1 minuto de la estación continua 01, a una distancia de 250m desde el aerogenerador más cercano, del parque eólico 2.

6) PE2_01_MC10M_VF.xlsx.

Ídem al anterior, pero datos cada 10 minutos.

7) PE2_02_MC1M_VF.xlsx.

Corresponde a los datos cada 1 minuto de la estación continua 02, a una distancia de 300m desde el aerogenerador más cercano, del parque eólico 2.

8) PE2_02_MC10M_VF.xlsx.

Ídem al anterior, pero datos cada 10 minutos.

9) PE3_01_MC1M_VF.xlsx.

Corresponde a los datos cada 1 minuto de la estación continua 01, a una distancia de 250m desde el aerogenerador más cercano, del parque eólico 3.

10) PE3_01_MC10M_VF.xlsx.

Ídem al anterior, pero datos cada 10 minutos.

11) PE3_02_MC1M_VF.xlsx.

Corresponde a los datos cada 1 minuto de la estación continua 02, a una distancia de 300m desde el aerogenerador más cercano, del parque eólico 3.

12) PE3_02_MC10M_VF.xlsx.

Ídem al anterior, pero datos cada 10 minutos.

13) PE4_01_MC1M_VF.xlsx.

Corresponde a los datos cada 1 minuto de la estación continua 01, a una distancia de 250m desde el aerogenerador más cercano, del parque eólico 4.

14) PE4_01_MC10M_VF.xlsx.

Ídem al anterior, pero datos cada 10 minutos.

15) PE4_02_MC1M_VF.xlsx.

Corresponde a los datos cada 1 minuto de la estación continua 02, a una distancia de 500m desde el aerogenerador más cercano, del parque eólico 4.

16) PE4_02_MC10M_VF.xlsx.

Ídem al anterior, pero datos cada 10 minutos.

17) PE5_01_MC1M_VF.xlsx.

Corresponde a los datos cada 1 minuto de la estación continua 01, a una distancia de 500m desde el aerogenerador más cercano, del parque eólico 5.

18) PE5_01_MC10M_VF.xlsx.

Ídem al anterior, pero datos cada 10 minutos.

19) PE5_02_MC1M_VF.xlsx.

Corresponde a los datos cada 1 minuto de la estación continua 02, a una distancia de 500m desde el aerogenerador más cercano, del parque eólico 5.

20) PE5_02_MC10M_VF.xlsx.

Ídem al anterior, pero datos cada 10 minutos.

21) PE6_01_MC1M_VF.xlsx.

Corresponde a los datos cada 1 minuto de la estación continua 01, a una distancia de 250m desde el aerogenerador más cercano, del parque eólico 6.

22) PE6_01_MC10M_VF.xlsx.

Ídem al anterior, pero datos cada 10 minutos.

23) PE6_02_MC1M_VF.xlsx.

Corresponde a los datos cada 1 minuto de la estación continua 02, a una distancia de 500m desde el aerogenerador más cercano, del parque eólico 6.

24) PE6_02_MC10M_VF.xlsx.

Ídem al anterior, pero datos cada 10 minutos.

En todas las tablas, se entregan los datos de LAeq, LCeq, LZeq, LA90, LC90, LZ90, velocidad y dirección promedio a la altura de buje de los tres (3) aerogeneradores más cercanos al punto de medición, temperatura y humedad relativa.

La estructura de cada archivo *.xls* (Excel), está compuesta por dieciséis (16) pestañas, una primera pestaña titulada "portada", donde se identifica el punto de medición, una fotografía de la estación, las coordenadas de la ubicación exacta de la misma, entre otros, luego catorce (14) pestañas restantes, tituladas "D1, D2,…., D14" donde se entregan los datos asociados al día 1, día 2, …, hasta el día 14 y una pestaña titulada "gráficos ETSU", donde se muestran los gráficos de correlación de velocidad de viento y ruido.

Además, se adjunta el archivo PE_MC10M_VF.xlsx, donde se entregan los datos medidos cada 10 minutos en bandas de 1/1 octava de frecuencia.

En las siguientes figuras, se muestra un ejemplo de la pestaña "portada", pestaña "D1" y pestaña "Gráficos ETSU" de uno de los archivos *.xls* (Excel).

CC: 17027
Cliente: Subsecretaria del Medio Ambiente
Proyecto: Caracterización acústica de parques eólicos
Datos: Parque eólico 2, estación 01 (250m distancia)
Versión: VF

IDENTIFICACION ESTACION DE MONITOREO

Estación	Coordenadas UTM				Altura medición
	Zona	Este	Norte		
PE2_01	18F	721912	5843996		4m sobre nivel suelo
Sonómetro:	Absentia	**Modelo:**	Capta	**N° serie:**	005
Antiviento:	Aco pacific	**Modelo:**	WS7-80T	**Distancia:**	250m al aerogenerador más cercano

Fotografía



CROQUIS PUNTO MEDICION

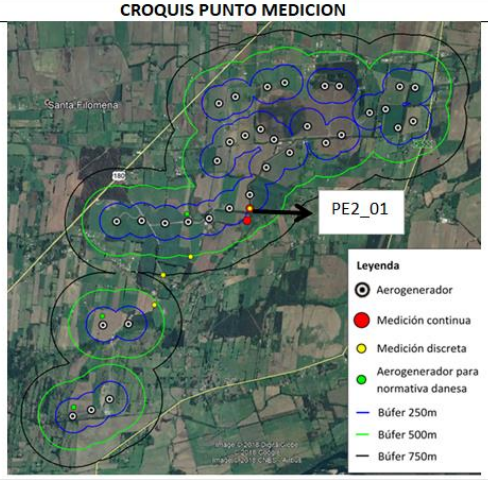


Figura 18. Ejemplo de pestaña “Portada” de archivo .xls (Excel).

CC: 17027
Cliente: Subsecretaria del Medio Ambiente
Proyecto: Caracterización acústica de parques eólicos
Datos: Parque eólico 2, estación 01 (250m distancia)
Coordenadas: UTM 18 H 0721912;5843996
Fecha: 01/12/2017
Versión: VF

Fecha	LAeq 1min	LCeq 1min	LZeq 1min	LA90 1min	LC90 1min	LZ90 1min	V (m/s) 1min	Dir. (°)	HR (%)	T (°C)
0:00:00	48,6	56,5	57,0	47,7	55,2	55,7	10,9	172,0	69,8	12,8
0:01:00	48,3	56,6	57,2	47,7	56,1	56,6	10,9	172,0	69,8	12,8
0:02:00	48,3	56,1	56,6	48,1	55,6	56,1	10,9	172,0	69,8	12,8
0:03:00	48,6	56,4	56,9	48,1	55,7	56,3	10,9	172,0	69,8	12,8
0:04:00	48,0	56,4	56,9	47,6	55,9	56,5	10,9	172,0	69,8	12,8
0:05:00	48,2	56,4	57,0	47,9	56,1	56,7	10,9	172,0	69,8	12,8
0:06:00	48,3	56,6	57,2	47,8	56,2	56,7	10,9	172,0	69,8	12,8
0:07:00	48,3	56,4	56,9	47,9	56,1	56,6	10,9	172,0	69,8	12,8
0:08:00	48,3	56,3	56,8	47,6	55,6	56,1	10,9	172,0	69,8	12,8
0:09:00	48,2	56,3	56,8	47,6	55,9	56,4	10,9	172,0	69,8	12,8
0:10:00	47,8	56,0	56,6	47,2	55,1	55,6	11,6	174,3	69,8	12,8
0:11:00	48,0	56,1	56,6	47,6	55,7	56,2	11,6	174,3	69,8	12,8
0:12:00	47,9	56,4	56,9	47,4	55,5	56,0	11,6	174,3	69,8	12,8
0:13:00	48,2	56,5	57,0	47,6	55,8	56,3	11,6	174,3	69,8	12,8
0:14:00	47,9	56,1	56,7	47,5	55,6	56,2	11,6	174,3	69,8	12,8
0:15:00	48,2	56,5	57,1	47,9	56,0	56,5	11,6	174,3	69,8	12,8
0:16:00	48,2	56,4	57,0	47,9	56,1	56,7	11,6	174,3	69,8	12,8
0:17:00	48,0	56,2	56,8	47,4	55,7	56,3	11,6	174,3	69,8	12,8
0:18:00	47,9	56,2	56,7	47,4	55,5	56,1	11,6	174,3	69,8	12,8
0:19:00	47,9	56,2	56,8	47,5	55,4	56,0	11,6	174,3	69,8	12,8

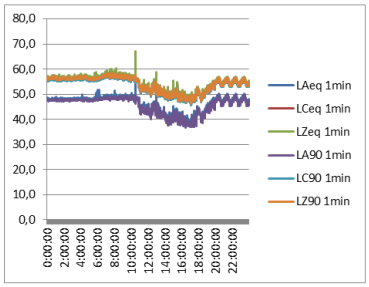
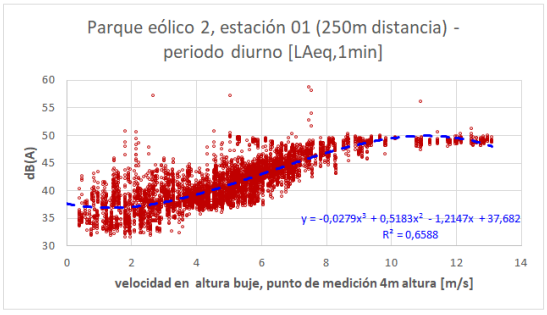
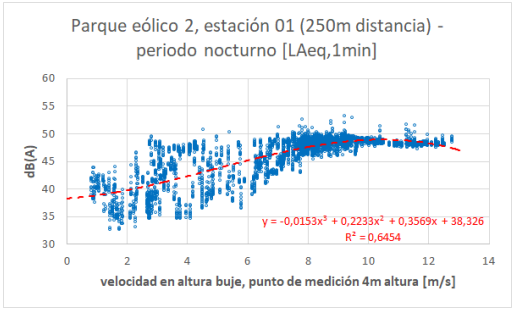


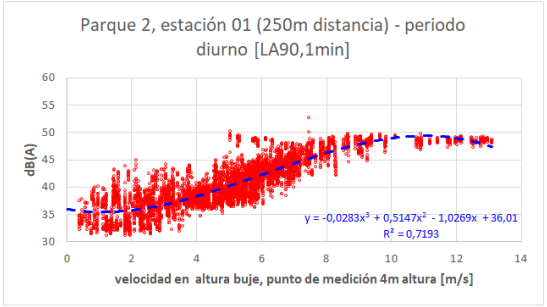
Figura 19. Ejemplo de pestaña "D1" de archivo .xls (Excel).

CC: 17027
Cliente: Subsecretaria del Medio Ambiente
Proyecto: Caracterización acústica de parques eólicos
Datos: Parque eólico 2, estación 01 (250m distancia)
Coordenadas: UTM 18 H 0721912;5843996
Fecha: 01/12/2017 - 07/12/2017
Versión: VF

Periodo diurno: 07:00-21:00 hrs.
Periodo nocturno: 21:00-07:00 hrs.







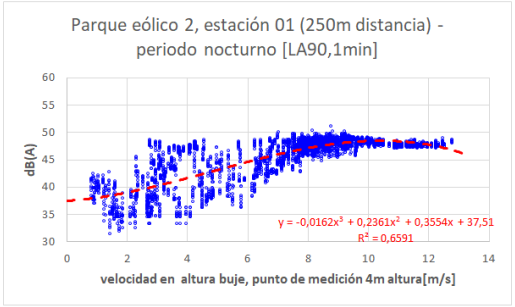


Figura 20. Ejemplo de pestaña "Gráficos ETSU" de archivo .xls (Excel).

Por otra parte, a continuación se presenta una tabla resumen de los niveles de ruido obtenidos a diferentes distancias para un mismo periodo de tiempo. Si bien existe una variación importante entre el nivel de presión sonora de un instante y otro (dada la dependencia que hay entre las condiciones meteorológicas y el nivel de emisión de ruido de un aerogenerador), se muestra niveles de presión sonora de cada parque eólico bajo estudio, logrando visualizar la variabilidad del nivel de presión sonora en función de la distancia.

Tabla 15. Resumen de niveles de ruido obtenidos a diferentes distancia para cada parque eólico.

Parque Eólico	Velocidad (m/s)	NPS (dBA)		
		250m	300m	500m
PE1	8,1	45,4	-	42,4
PE2	10,9	48,3	46,6	-
PE3	7,1	42,3	41,9	-
PE4	10,8	49,0	-	45,8
PE5	12,7	-	44,8	-
PE6	6,5	52,0	-	49,0

Además, en las siguientes figuras, se muestran los niveles de ruidos medidos para cuatro (4) parques eólicos durante un (1) día de medición. En el eje vertical izquierdo se muestran los niveles de ruido y en el derecho los niveles de velocidad del viento a altura de buje.

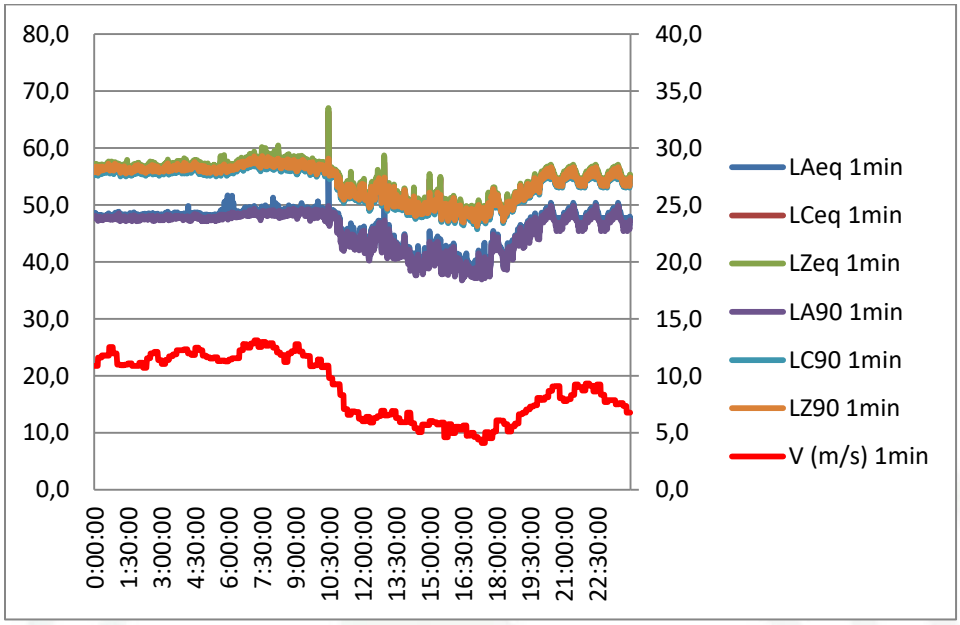


Figura 21. Nivel de ruido medido en parque eólico 2 a 250m de distancia durante un (1) día de medición.

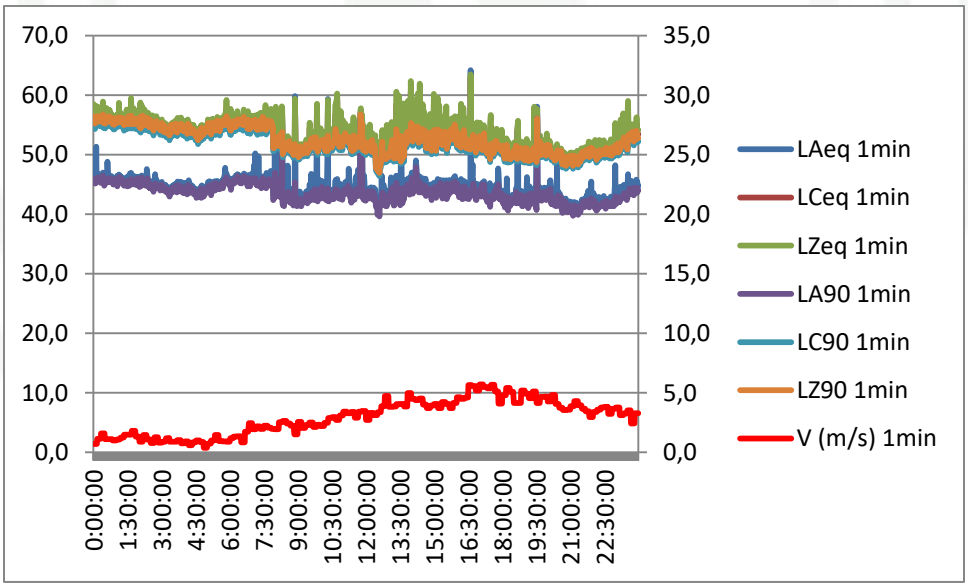


Figura 22. Nivel de ruido medido en parque eólico 3 a 250m de distancia durante un (1) día de medición.

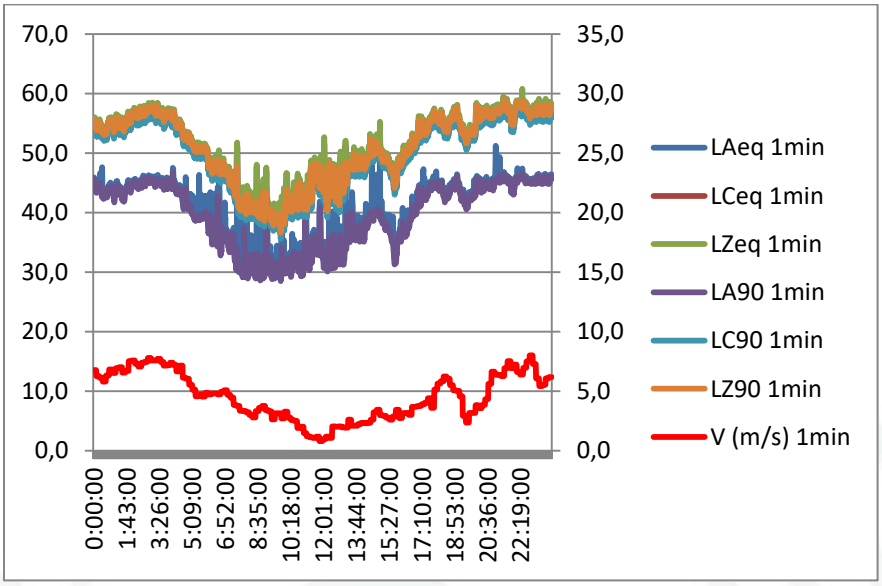


Figura 23. Nivel de ruido medido en parque eólico 4 a 500m de distancia durante un (1) día de medición.

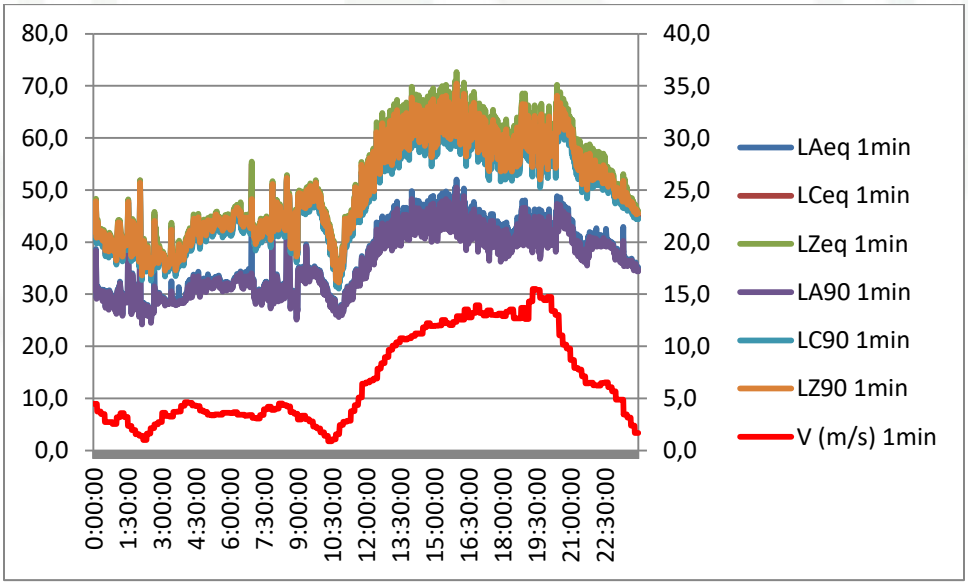


Figura 24. Nivel de ruido medido en parque eólico 5 a 500m de distancia durante un (1) día de medición.

Finalmente, en la siguiente tabla, se muestra un resumen de los niveles de ruido obtenidos para un parque eólico durante una (1) semana de medición de ruido.

Tabla 16. Resumen de niveles de ruido obtenidos en parque eólico 5 durante una (1) semana cada una (1) hora, datos a 500m.

Hora	NPS (dBA)						
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
01:00	29,7	27,9	27,8	30,1	33,4	30,8	30,7
02:00	29,4	30,1	28,8	30,2	31,2	29,2	31,1
03:00	33,1	33,4	32,4	33,3	31,1	30,6	30,6
04:00	32,8	30,9	32,3	29,7	28,8	28,8	28,8
05:00	32,6	31,3	29,9	27,9	31,5	29,9	31,5
06:00	33,5	32,6	32,1	31,2	32,3	30,9	32,3
07:00	35,6	31,9	31,0	32,4	34,6	32,5	34,6
08:00	35,0	34,6	34,6	33,9	31,6	32,0	31,6
09:00	36,5	34,6	34,6	38,2	37,1	32,6	33,3
10:00	38,1	32,0	32,0	35,2	35,1	31,6	34,4
11:00	30,1	30,8	30,8	32,7	29,0	30,0	29,7
12:00	29,3	29,5	29,2	30,8	30,6	28,9	32,7
13:00	33,0	39,5	36,6	40,4	32,9	37,9	40,8
14:00	40,6	44,9	44,0	44,3	40,6	42,4	43,9
15:00	44,3	50,9	44,9	44,6	45,0	45,4	45,3
16:00	47,7	48,0	45,5	45,4	46,1	46,4	46,3
17:00	47,3	46,5	44,7	45,7	44,3	46,9	45,2
18:00	45,3	43,9	44,6	44,9	44,8	45,3	42,7
19:00	47,5	44,0	43,3	43,1	48,8	47,5	42,6
20:00	44,7	44,9	41,8	43,4	45,4	44,7	43,3
21:00	40,8	42,7	42,2	42,1	43,5	40,8	44,9
22:00	37,3	39,4	42,8	39,4	39,4	37,3	40,7
23:00	35,8	33,9	37,3	34,6	34,6	35,8	40,4
24:00	30,9	28,7	31,2	31,2	31,2	30,9	36,3

6.2 Mediciones discretas

Al igual que para las mediciones continuas, se adjuntan todos los datos en formato *.xlsx* (Excel). Los archivos que se adjuntan son los siguientes:

1) PE1_MD1_VF.xlsx.
2) PE1_MD2_VF.xlsx.
3) PE1_MD3_VF.xlsx.
4) PE1_MD4_VF.xlsx.
5) PE1_RF1_VF.xlsx.
6) PE1_RF2_VF.xlsx.
7) PE2_MD1_VF.xlsx.
8) PE2_MD2_VF.xlsx.
9) PE2_MD3_VF.xlsx.
10) PE2_MD4_VF.xlsx.
11) PE2_RF1_VF.xlsx.
12) PE2_RF2_VF.xlsx.
13) PE3_MD1_VF.xlsx.
14) PE3_MD2_VF.xlsx.
15) PE3_MD3_VF.xlsx.
16) PE3_MD4_VF.xlsx.
17) PE3_RF1_VF.xlsx.
18) PE3_RF2_VF.xlsx.
19) PE4_MD1_VF.xlsx.
20) PE4_MD2_VF.xlsx.
21) PE4_MD3_VF.xlsx.
22) PE4_MD4_VF.xlsx.
23) PE4_RF1_VF.xlsx.
24) PE4_RF2_VF.xlsx.
25) PE5_MD1_VF.xlsx.
26) PE5_MD2_VF.xlsx.
27) PE5_MD3_VF.xlsx.
28) PE5_MD4_VF.xlsx.

29) PE5_RF1_VF.xlsx.
30) PE5_RF2_VF.xlsx.
31) PE6_MD1_VF.xlsx.
32) PE6_MD2_VF.xlsx.
33) PE6_MD3_VF.xlsx.
34) PE6_MD4_VF.xlsx.
35) PE6_RF1_VF.xlsx.
36) PE6_RF2_VF.xlsx.

En todas las tablas, se entregan los datos cada 1 y 10 minuto de LAeq, LA90, velocidad y dirección del viento promedio a la altura de buje de los tres (3) aerogeneradores más cercanos al punto de medición, temperatura y humedad relativa. Cabe destacar, que para el parque eólico 3, el titular no pudo facilitar los datos meteorológicos a la altura de buje del equipo, por lo cual, se utilizaron los datos de la estación meteorológica, instalada a 10m de altura.

La estructura de cada archivo *.xls* (Excel) de las mediciones discretas (MD), está compuesta por tres (3) pestañas, una primera pestaña titulada “portada”, donde se identifica el punto de medición, una fotografía del sonómetro utilizado, las coordenadas de la ubicación exacta de la misma, entre otros, y luego dos (2) pestañas restantes, tituladas “Diurno” y “Nocturno”, donde se entregan los datos asociados al periodo diurno y nocturno de forma separada.

Respecto a la estructura de los archivos .xls (Excel) de las mediciones de ruido de fondo (RF), es muy similar a la de mediciones discretas, pero sólo cuenta con una pestaña “portada” y una pestaña de resultados.

En las siguientes figuras, se muestra un ejemplo de la pestaña “portada”, pestaña “Diurno” y pestaña “Nocturno” de uno de los archivos *.xls* (Excel).

CC: 17027
Cliente: Subsecretaria del Medio Ambiente
Proyecto: Caracterización acústica de parques eólicos
Datos: Parque eólico 1, medición discreta D1
Operario: Nicolás Andrés Bastián Monarca
Versión: VF

IDENTIFICACION PUNTO MEDICION

Punto	Coordenadas UTM				Altura medición
	Zona	Este	Norte		
D1	18F	723934	5845861		1.5m sobre nivel suelo
Sonómetro:	BSWA	**Modelo:**	309	**N° serie:**	540091
Antiviento:	Aco pacific	**Modelo:**	WS7-80T	**Distancia:**	250m al aerogenerador más cercano

FOTOGRAFIA PUNTO MEDICION



Nota: Los aerogeneradores cuentan con medidas de mitigación de control de ruido en las aspas. En este sentido, tienen instalados dientes de sierra.

CROQUIS PUNTO MEDICION

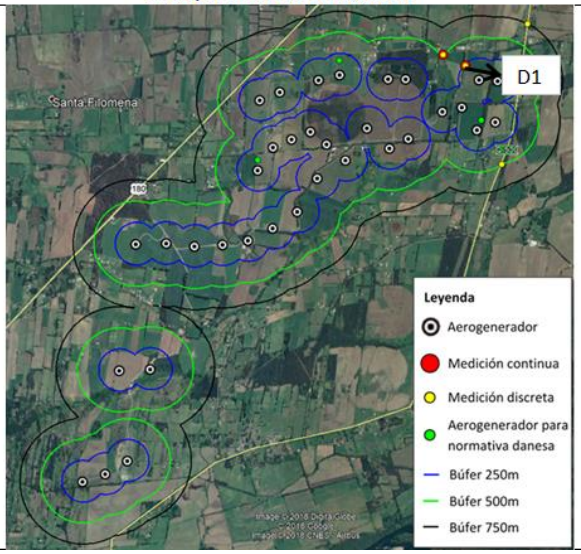


Figura 25. Ejemplo de pestaña “Portada” de archivo .xls (Excel).

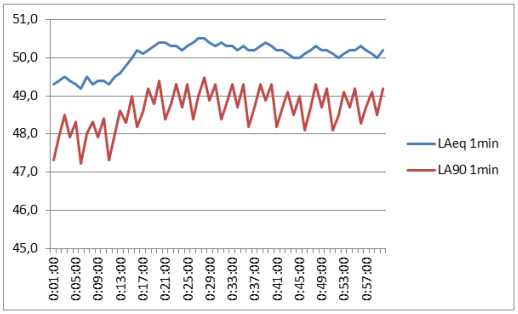
CC: 17027
Cliente: Subsecretaria del Medio Ambiente
Proyecto: Caracterización acústica de parques eólicos
Datos: Parque eólico 1, medición discreta D1
Coordenadas: UTM 18 H 0723934;5845861
Fecha: 18/11/2017
Versión: VF

Datos mediciones de ruido y condiciones meteorológicas

Hora inicio: 10:45 **Temp. (°C):** 18,4
Hora termino: 11:45 **HR (%):** 44,4

Nota: Velocidad y dirección promedio en altura de buje de 3 aerogeneradores más cercanos

Tiempo	LAeq 1min	LA90 1min	LAeq 10min	LA90 10min	V (m/s) 1min	Dir. (°)
0:01:00	49,3	47,3			9,9	174,4
0:02:00	49,4	47,9			9,9	174,4
0:03:00	49,5	48,5			9,9	174,4
0:04:00	49,4	47,9			9,9	174,4
0:05:00	49,3	48,3			9,9	174,4
0:06:00	49,2	47,2			9,8	176,7
0:07:00	49,5	48,0			9,8	176,7
0:08:00	49,3	48,3			9,8	176,7
0:09:00	49,4	47,9			9,8	176,7
0:10:00	49,4	48,4	49,4	48,0	9,8	176,7
0:11:00	49,3	47,3			9,8	176,7
0:12:00	49,5	48,0			9,8	176,7
0:13:00	49,6	48,6			9,8	176,7
0:14:00	49,8	48,3			9,8	176,7
0:15:00	50,0	49,0			9,8	176,7
0:16:00	50,2	48,2			9,8	175,7
0:17:00	50,1	48,6			9,8	175,7
0:18:00	50,2	49,2			9,8	175,7
0:19:00	50,3	48,8			9,8	175,7
0:20:00	50,4	49,4	50,0	48,6	9,8	175,7
0:21:00	50,4	48,4			9,8	175,7
0:22:00	50,3	48,8			9,8	175,7
0:23:00	50,3	49,3			9,8	175,7
0:24:00	50,2	48,7			9,8	175,7
0:25:00	50,3	49,3			9,8	175,7
0:26:00	50,4	48,4			9,8	178,4
0:27:00	50,5	49,0			9,8	178,4
0:28:00	50,5	49,5			9,8	178,4
0:29:00	50,4	48,9			9,8	178,4
0:30:00	50,3	49,3	50,4	49,0	9,8	178,4
0:31:00	50,4	48,4			9,8	178,4



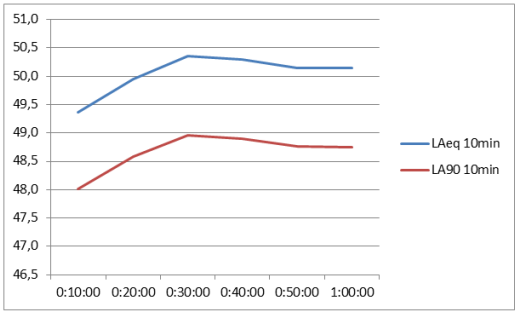


Figura 26. Ejemplo de pestaña “Diurno” de archivo .xls (Excel).

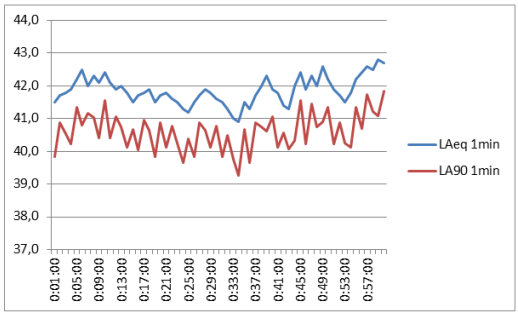
CC: 17027
Cliente: Subsecretaria del Medio Ambiente
Proyecto: Caracterización acústica de parques eólicos
Datos: Parque eólico 1, medición discreta D1
Coordenadas: UTM 18 H 0723934;5845861
Fecha: 19/11/2017
Versión: VF

Datos mediciones de ruido y condiciones meteorológicas

Hora inicio: 0:06 **Temp. (°C):** 17,1
Hora termino: 1:06 **HR (%):** 42,9

Nota: Velocidad y dirección promedio en altura de buje de 3 aerogeneradores más cercanos

Tiempo	LAeq 1min	LA90 1min	LAeq 10min	LA90 10min	V (m/s) 1min	Dir. (°)
0:01:00	41,5	39,8			6,5	170,1
0:02:00	41,7	40,9			6,5	170,1
0:03:00	41,8	40,5			6,5	170,1
0:04:00	41,9	40,2			6,5	170,1
0:05:00	42,2	41,4			7,7	171,2
0:06:00	42,5	40,8			7,7	171,2
0:07:00	42,0	41,2			7,7	171,2
0:08:00	42,3	41,0			7,7	171,2
0:09:00	42,1	40,4			7,7	171,2
0:10:00	42,4	41,6	42,1	40,8	7,7	171,2
0:11:00	42,1	40,4			7,7	171,2
0:12:00	41,9	41,1			7,7	171,2
0:13:00	42,0	40,7			7,7	171,2
0:14:00	41,8	40,1			7,7	171,2
0:15:00	41,5	40,7			7,3	171,8
0:16:00	41,7	40,0			7,3	171,8
0:17:00	41,8	41,0			7,3	171,8
0:18:00	41,9	40,6			7,3	171,8
0:19:00	41,5	39,8			7,3	171,8
0:20:00	41,7	40,9	41,8	40,6	7,3	171,8
0:21:00	41,8	40,1			7,3	171,8
0:22:00	41,6	40,8			7,3	171,8
0:23:00	41,5	40,3			7,3	171,8
0:24:00	41,3	39,6			7,3	171,8
0:25:00	41,2	40,4			6,1	165,7
0:26:00	41,5	39,8			6,1	165,7
0:27:00	41,7	40,9			6,1	165,7
0:28:00	41,9	40,6			6,1	165,7
0:29:00	41,8	40,1			6,1	165,7
0:30:00	41,6	40,8	41,6	40,4	6,1	165,7
0:31:00	41,5	39,8			6,1	165,7



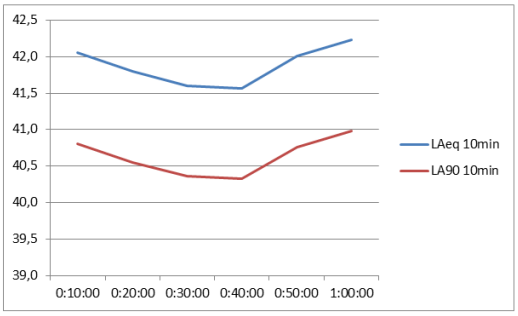


Figura 27. Ejemplo de pestaña "Nocturno" de archivo .xls (Excel).

6.3 Mediciones de ruido en aerogeneradores

Al igual que para las mediciones continuas y discretas, se adjuntan todos los datos en formato *.xls* (Excel). Los archivos que se adjuntan son los siguientes:

1) PE1_MRAE1_VF.xlsx.
2) PE1_MRAE2_VF.xlsx.
3) PE1_MRAE3_VF.xlsx.
4) PE2_MRAE1_VF.xlsx.
5) PE2_MRAE2_VF.xlsx.
6) PE2_MRAE3_VF.xlsx.
7) PE3_MRAE1_VF.xlsx.
8) PE4_MRAE1_VF.xlsx.

9) PE4_MRAE2_VF.xlsx.
10) PE4_MRAE3_VF.xlsx.
11) PE5_MRAE1_VF.xlsx.
12) PE5_MRAE2_VF.xlsx.
13) PE6_MRAE1_VF.xlsx.
14) PE6_MRAE2_VF.xlsx.
15) PE6_MRAE3_VF.xlsx.

En todas las tablas, se entregan los datos cada 10 segundos de LAeq y velocidad del viento a la altura de buje del aerogenerador caracterizado.

La estructura de cada archivo *.xls* (Excel), está compuesta por seis (6) pestañas, una primera pestaña titulada “Portada”, donde se identifica el punto de medición, una fotografía de la condición de medición, entre otros y luego cinco (5) pestañas restantes, tituladas “Mediciones AE”, “Medición RF”, “Proyección 250”, “Proyección 500” y “Proyección 750”, donde se entregan los datos asociados al registro de datos y al cálculo de proyección de niveles de ruido según el modelo de la regulación danesa [11].

En las siguientes figuras, se muestra un ejemplo de la pestaña “portada”, pestaña “Diurno” y pestaña “Nocturno” de uno de los archivos *.xls* (Excel).

CC: 17027
Cliente: Subsecretaria del Medio Ambiente
Proyecto: Caracterización acústica de parques eólicos
Datos: Parque eólico Lebu, medición potencia acústica AE3
Operario: Felipe Andrés Fernández Gaete
Versión: VF

IDENTIFICACION PUNTO MEDICION

Punto	Coordenadas UTM						Altura medición
	Zona	Este		Norte			
PE3_MRAE3	18F	619.750		5.828.605			A nivel del suelo
Sonómetro:	CESVA	**Modelo:**	SC310	**N° serie:**	T226562		
Antiviento:	ACO PACIFIC	**Modelo:**	HEMI 18	**Distancia:**	92m al aerogenerador		
Aerogeneador:	VESTAS	**Modelo:**	V90	**Potencia:**	900 kW		

FOTOGRAFIA PUNTO MEDICION



CROQUIS PUNTO MEDICION

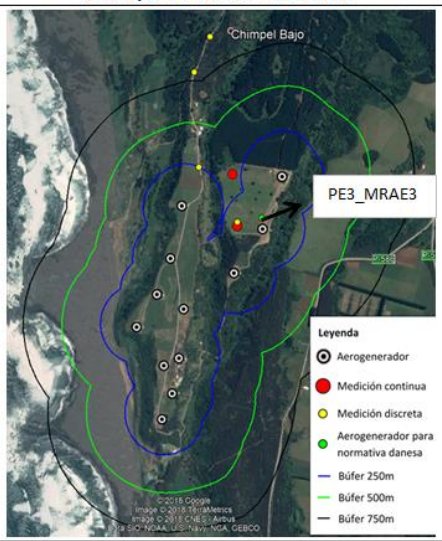
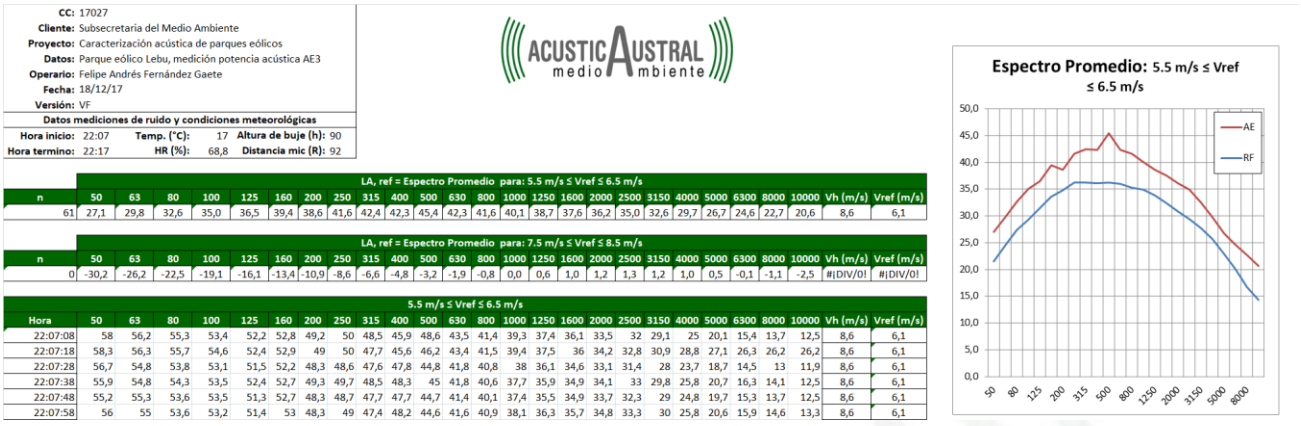


Figura 28. Ejemplo de pestaña “Portada” de archivo .xls (Excel).



CC: 17027
Cliente: Subsecretaria del Medio Ambiente
Proyecto: Caracterización acústica de parques eólicos
Datos: Parque eólico Lebu, medición potencia acústica AE3
Operario: Felipe Andrés Fernández Gaete
Fecha: 18/12/17
Versión: VF

Datos mediciones de ruido y condiciones meteorológicas

Hora inicio:	22:07	Temp. (°C):	17	Altura de buje (h):	90
Hora termino:	22:17	HR (%):	68,8	Distancia mic (R):	92

LA, ref = Espectro Promedio para: 5.5 m/s ≤ Vref ≤ 6.5 m/s

n	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	Vh (m/s)	Vref (m/s)
61	27,1	29,8	32,6	35,0	36,5	39,4	38,6	41,6	42,4	42,3	45,4	42,3	41,6	40,1	38,7	37,6	36,2	35,0	32,6	29,7	26,7	24,6	22,7	20,6	8,6	6,1

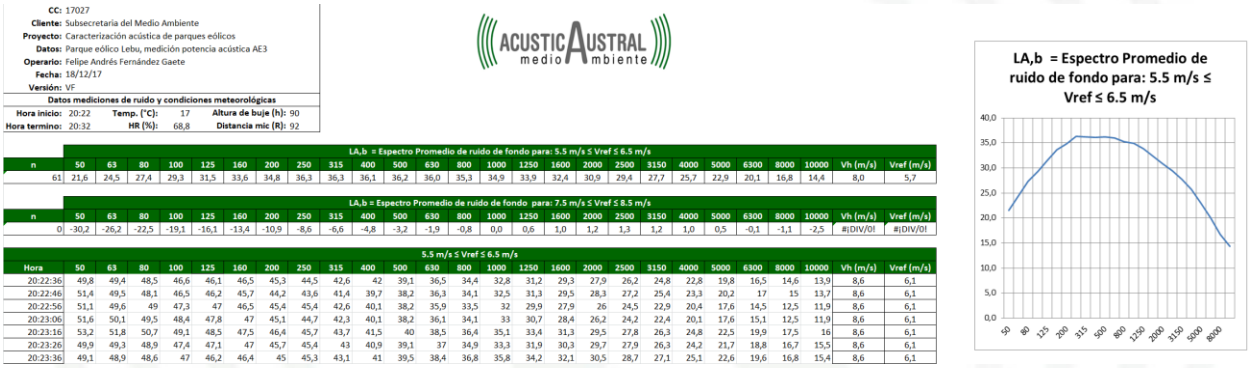
LA, ref = Espectro Promedio para: 7.5 m/s ≤ Vref ≤ 8.5 m/s

n	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	Vh (m/s)	Vref (m/s)
0	-30,2	-26,2	-22,5	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1,9	-0,8	0,0	0,6	1,0	1,2	1,3	1,2	1,0	0,5	-0,1	-1,1	-2,5	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!

5.5 m/s ≤ Vref ≤ 6.5 m/s

Hora	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	Vh (m/s)	Vref (m/s)
22:07:08	58	56,2	55,3	53,4	52,2	52,8	49,2	50	48,5	45,9	48,6	43,5	41,4	39,3	37,4	36,1	33,5	32	29,1	25	20,1	15,4	13,7	12,5	8,6	6,1
22:07:18	58,3	56,3	55,7	54,6	52,4	52,9	49	50	47,7	45,6	46,2	43,4	41,5	39,4	37,5	36	34,2	32,8	30,9	28,8	27,1	26,3	26,2	26,2	8,6	6,1
22:07:28	56,7	54,8	53,8	53,1	51,5	52,2	48,3	48,6	47,6	47,8	44,8	41,8	40,8	38	36,1	34,6	33,1	31,4	28	23,7	18,7	14,5	13	11,9	8,6	6,1
22:07:38	55,9	54,8	54,3	53,5	52,4	52,7	49,3	49,7	48,5	48,3	45	41,8	40,6	37,7	35,9	34,9	34,1	33	29,8	25,8	20,7	16,3	14,1	12,5	8,6	6,1
22:07:48	55,2	55,3	53,6	53,5	51,3	52,7	48,3	48,7	47,7	47,7	44,7	41,4	40,1	37,4	35,5	34,9	33,7	32,3	29	24,8	19,7	15,3	13,7	12,5	8,6	6,1
22:07:58	56	55	53,6	53,2	51,4	53	48,3	49	47,4	48,2	44,6	41,6	40,9	38,1	36,3	35,7	34,8	33,3	30	25,8	20,6	15,9	14,6	13,3	8,6	6,1

Figura 29. Ejemplo de pestaña "Mediciones AE" de archivo .xls (Excel).



CC: 17027
Cliente: Subsecretaria del Medio Ambiente
Proyecto: Caracterización acústica de parques eólicos
Datos: Parque eólico Lebu, medición potencia acústica AE3
Operario: Felipe Andrés Fernández Gaete
Fecha: 18/12/17
Versión: VF

Datos mediciones de ruido y condiciones meteorológicas

Hora inicio:	20:22	Temp. (°C):	17	Altura de buje (h):	90
Hora termino:	20:32	HR (%):	68,8	Distancia mic (R):	92

LA,b = Espectro Promedio de ruido de fondo para: 5.5 m/s ≤ Vref ≤ 6.5 m/s

n	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	Vh (m/s)	Vref (m/s)
61	21,6	24,5	27,4	29,3	31,5	33,6	34,8	36,3	36,3	36,1	36,2	36,0	35,3	34,9	33,9	32,4	30,9	29,4	27,7	25,7	22,9	20,1	16,8	14,4	8,0	5,7

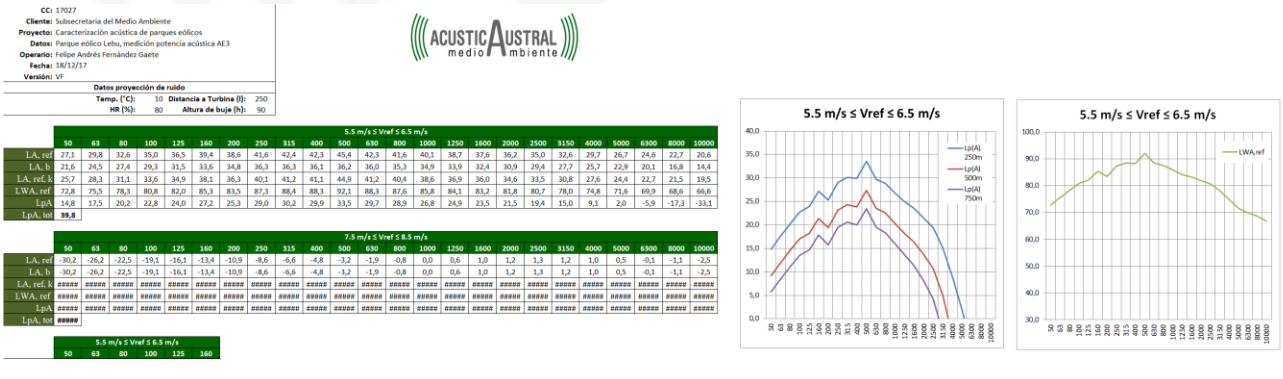
LA,b = Espectro Promedio de ruido de fondo para: 7.5 m/s ≤ Vref ≤ 8.5 m/s

n	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	Vh (m/s)	Vref (m/s)
0	-30,2	-26,2	-22,5	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1,9	-0,8	0,0	0,6	1,0	1,2	1,3	1,2	1,0	0,5	-0,1	-1,1	-2,5	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!

5.5 m/s ≤ Vref ≤ 6.5 m/s

Hora	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	Vh (m/s)	Vref (m/s)
20:22:36	49,8	49,4	48,5	46,6	46,1	46,5	45,3	44,5	42,6	42	39,1	36,5	34,4	32,8	31,2	29,3	27,9	26,2	24,8	22,8	19,8	16,5	14,6	13,9	8,6	6,1
20:22:46	51,4	49,5	48,1	46,5	46,2	45,7	44,2	43,6	41,4	39,7	38,2	36,3	34,1	32,5	31,3	29,5	28,3	27,2	25,4	23,3	20,2	17	15	13,7	8,6	6,1
20:22:56	51,1	49,6	49	47,3	47	46,5	45,4	45,4	42,6	40,1	38,2	35,9	33,5	32	29,9	27,9	26	24,5	22,9	20,4	17,6	14,5	12,5	11,9	8,6	6,1
20:23:06	51,6	50,1	49,5	48,4	47,8	47	45,1	44,7	42,3	40,1	38,2	36,1	34,1	33	30,7	28,4	26,2	24,2	22,4	20,1	17,6	15,1	12,5	11,9	8,6	6,1
20:23:16	53,2	51,8	50,7	49,1	48,5	47,5	46,4	45,7	43,7	41,5	40	38,5	36,4	35,1	33,4	31,3	29,5	27,8	26,3	24,8	22,5	19,9	17,5	16	8,6	6,1
20:23:26	49,9	49,3	48,9	47,4	47,1	47	45,7	45,4	43	40,9	39,1	37	34,9	33,3	31,9	30,3	29,7	27,9	26,3	24,2	21,7	18,8	16,7	15,5	8,6	6,1
20:23:36	49,1	48,9	48,6	47	46,2	46,4	45	45,3	43,1	41	39,5	38,4	36,8	35,8	34,2	32,1	30,5	28,7	27,1	25,1	22,6	19,6	16,8	15,4	8,6	6,1

Figura 30. Ejemplo de pestaña "Mediciones RF" de archivo .xls (Excel).



CC: 17027
Cliente: Subsecretaria del Medio Ambiente
Proyecto: Caracterización acústica de parques eólicos
Datos: Parque eólico Lebu, medición potencia acústica AE3
Operario: Felipe Andrés Fernández Gaete
Fecha: 18/12/17
Versión: VF

Datos proyección de ruido

Temp. (°C):	10	Distancia a Turbina (l):	250		
HR (%):	80	Altura de buje (h):	90		

5.5 m/s ≤ Vref ≤ 6.5 m/s

	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
LA, ref	27,1	29,8	32,6	35,0	36,5	39,4	38,6	41,6	42,4	42,3	45,4	42,3	41,6	40,1	38,7	37,6	36,2	35,0	32,6	29,7	26,7	24,6	22,7	20,6
LA, b	21,6	24,5	27,4	29,3	31,5	33,6	34,8	36,3	36,3	36,1	36,2	36,0	35,3	34,9	33,9	32,4	30,9	29,4	27,7	25,7	22,9	20,1	16,8	14,4
LA, ref, b	25,7	28,3	31,1	33,6	34,9	38,1	36,3	40,1	41,2	41,1	44,9	41,2	40,4	38,6	36,9	36,0	34,6	33,5	30,8	27,6	24,4	22,7	21,5	19,5
LWA, ref	72,8	75,5	78,3	80,8	82,0	85,3	83,5	87,3	88,4	88,3	92,1	88,3	87,6	85,8	84,1	83,2	81,8	80,7	78,0	74,8	71,6	69,9	68,6	66,6
LpA	14,8	17,5	20,2	22,8	24,0	27,2	25,3	29,0	30,2	29,9	33,5	29,7	28,9	26,8	24,9	23,5	21,5	19,4	15,0	9,1	2,0	-5,9	-17,3	-33,1
LpA, tot	39,8																							

7.5 m/s ≤ Vref ≤ 8.5 m/s

	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
LA, ref	-30,2	-26,2	-22,5	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1,9	-0,8	0,0	0,6	1,0	1,2	1,3	1,2	1,0	0,5	-0,1	-1,1	-2,5
LA, b	-30,2	-26,2	-22,5	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1,9	-0,8	0,0	0,6	1,0	1,2	1,3	1,2	1,0	0,5	-0,1	-1,1	-2,5
LA, ref, b	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
LWA, ref	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
LpA	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
LpA, tot	#####																							

5.5 m/s ≤ Vref ≤ 6.5 m/s

50	63	80	100	125	160

Figura 31. Ejemplo de pestaña "Proyección 250" de archivo .xls (Excel).

Además, en la siguiente tabla se presentan los niveles de potencia acústica de aerogeneradores calculados a partir de la regulación danesa. Cabe destacar que algunas

velocidades no fueron posibles de medir in situ, por lo cual, se realizó una extrapolación de los niveles de potencia para las velocidades que no se lograron obtener.

Tabla 17. Resumen de potencia acústica medida para diferentes aerogeneradores según regulación danesa.

Marca	Modelo	Potencia (kW)	Frecuencia (Hz)	LwA (dBA)				
				6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s
GOLDWIND	GW87	1500	63	81,2	84,4	87,6	88,0	88,4
			125	90,4	93,6	96,8	97,2	97,6
			250	92,5	95,7	98,9	99,3	99,7
			500	95,6	98,8	102,0	102,4	102,8
			1.000	89,9	93,1	96,3	96,7	97,1
			2.000	85,3	88,5	91,7	92,1	92,5
			4.000	71,3	74,5	77,7	78,1	78,5
			8.000	61,1	64,3	67,5	67,9	68,3
VESTAS	V110	2000	63	86,8	90,0	93,2	93,6	94,0
			125	95,3	98,5	101,7	102,1	102,5
			250	95,9	99,1	102,3	102,7	103,1
			500	103,0	106,2	109,4	109,8	110,2
			1.000	102,0	105,2	108,4	108,8	109,2
			2.000	98,0	101,2	104,4	104,8	105,2
			4.000	87,8	91,0	94,2	94,6	95,0
			8.000	80,3	83,5	86,7	87,1	87,5
VESTAS	V66	1750	63	80,9	84,1	87,3	87,7	88,1
			125	87,9	91,1	94,3	94,7	95,1
			250	88,6	91,8	95,0	95,4	95,8
			500	94,7	97,9	101,1	101,5	101,9
			1.000	90,8	94,0	97,2	97,6	98,0
			2.000	86,8	90,0	93,2	93,6	94,0
			4.000	80,3	83,5	86,7	87,1	87,5
			8.000	73,4	76,6	79,8	80,2	80,6
VESTAS	V100	2000	63	77,4	80,6	83,8	84,2	84,6
			125	82,9	86,1	89,3	89,7	90,1

Marca	Modelo	Potencia (kW)	Frecuencia (Hz)	LwA (dBA)				
				6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s
			250	84,3	87,5	90,7	91,1	91,5
			500	89,3	92,5	95,7	96,1	96,5
			1.000	85,0	88,2	91,4	91,8	92,2
VESTAS	V100	2000	2.000	81,8	85,0	88,2	88,6	89,0
			4.000	59,2	62,4	65,6	66,0	66,4
			8.000	60,2	63,4	66,6	67,0	67,4
GAMESA	G90	2000	63	79,4	82,6	85,8	86,2	86,6
			125	89,7	92,9	96,1	96,5	96,9
			250	93,8	97,0	100,2	100,6	101,0
			500	92,3	95,5	98,7	99,1	99,5
			1.000	91,3	94,5	97,7	98,1	98,5
			2.000	81,9	85,1	88,3	88,7	89,1
			4.000	66,2	69,4	72,6	73,0	73,4
			8.000	56,4	59,6	62,8	63,2	63,6
GAMESA	G128	5000	63	81,5	84,7	87,9	88,3	88,7
			125	87,7	90,9	94,1	94,5	94,9
			250	90,1	93,3	96,5	96,9	97,3
			500	92,3	95,5	98,7	99,1	99,5
			1.000	92,8	96,0	99,2	99,6	100,0
			2.000	85,8	89,0	92,2	92,6	93,0
			4.000	74,6	77,8	81,0	81,4	81,8
			8.000	64,2	67,4	70,6	71,0	71,4

Finalmente, en el Anexo 3 del informe, se muestra un análisis comparativo entre los niveles de ruido medidos en cada parque eólico y los niveles de ruido proyectados al utilizar la regulación danesa e ISO-9613.

7 ANALISIS Y DISCUSION

7.1 Mediciones de ruido

7.1.1 Mediciones continuas

Las mediciones continuas de ruido, son una herramienta fundamental para poder caracterizar acústicamente un parque eólico. De los resultados obtenidos, se aprecia que los niveles de ruido en la cercanía de un parque eólico, pueden fluctuar en demasía durante un día, con diferencias de hasta 15 dB, entre el momento más tranquilo (durante la noche, sin viento, con un bajo nivel de ruido de fondo y con el parque detenido por las velocidades bajas de viento) y el momento con los niveles de ruido más altos (con mucho viento, un nivel de ruido de fondo elevado por el viento y el parque en operación), como se muestra en la siguiente figura.

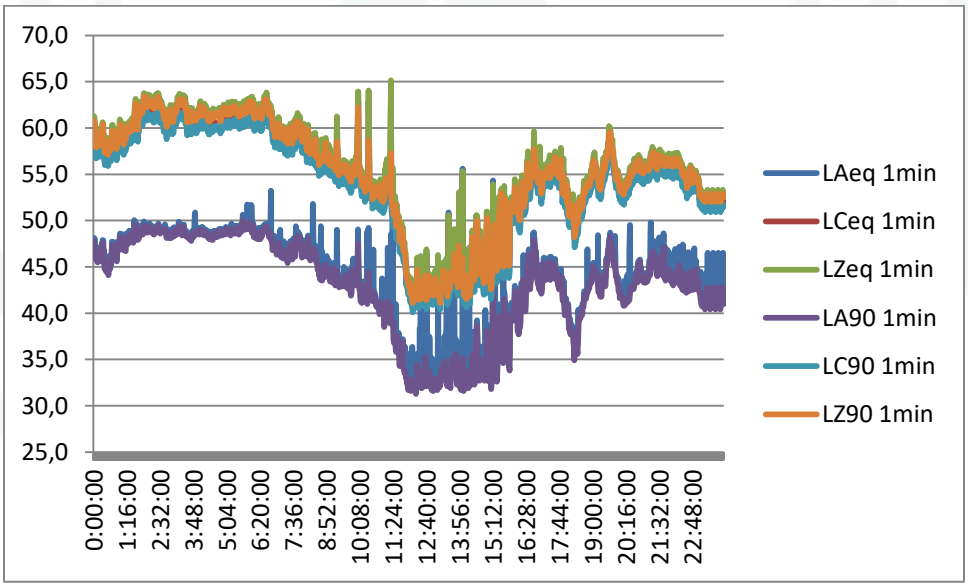


Figura 32. Resultados de mediciones continuas de ruido durante un día en parque eólico 4.

Teniendo en cuenta lo anterior, es evidente que utilizar una medición discreta para caracterizar un parque eólico es inadecuado, ya que es sumamente complejo lograr predecir cuál es el momento del día en que habrá la mayor exposición al ruido de un receptor (la diferencia más grande entre el ruido del parque eólico y el ruido de fondo), con el fin de lograr evaluar el peor escenario de emisión de ruido de la fuente.

Por otra parte, la variación del sonido operacional de un parque eólico entre un día y otro es bastante grande, lo cual, evidencia lo difícil que es determinar cuánto tiempo de monitoreo de ruido resulta necesario para caracterizar temporalmente el sonido operacional de un parque eólico. En este sentido, se pudo ver que no hay un comportamiento periódico (con excepción del parque eólico 5, que es un caso muy particular) y existe mucha variación del sonido operacional entre un día y otro. Esto se debe, a la gran dependencia que tiene la emisión de ruido de un aerogenerador con las condiciones meteorológicas del entorno (en particular, la dirección y velocidad del viento). Por lo anterior, se justifica hacer un análisis de la correlación que hay entre los niveles de ruido medidos y las velocidades de viento, con el fin de verificar si las mediciones de ruido se deben al parque eólico u a otro tipo de fuente de ruido. En la siguiente figura, se muestra los resultados de correlación de ruido y velocidad de viento para el parque eólico 2, en periodo diurno.

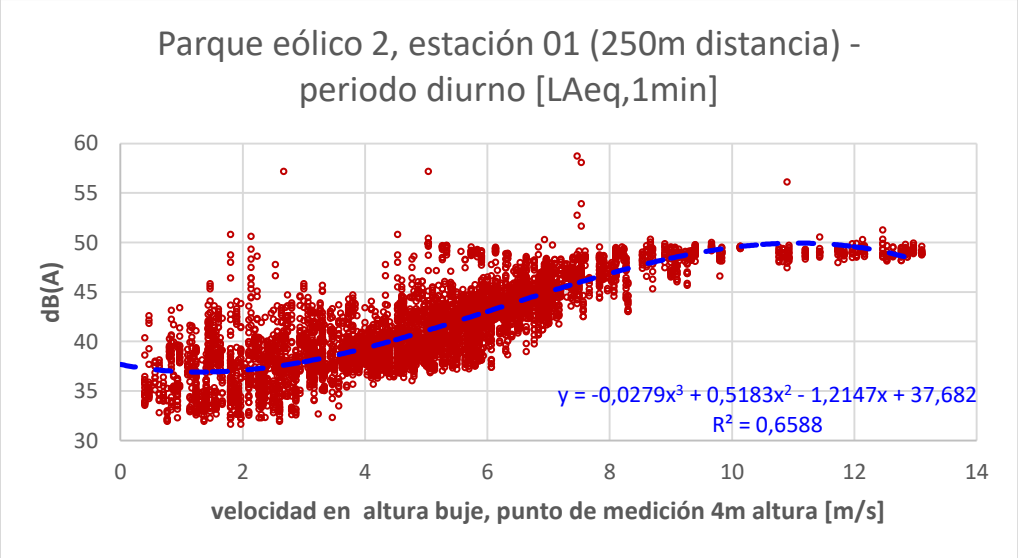


Figura 33. Resultados de correlación de velocidad del viento y mediciones continuas de ruido en parque eólico 2 para periodo diurno.

Al observar la figura 33, se puede apreciar que existe una buena correlación entre la velocidad del viento medida y las mediciones continuas de ruido. Existen algunos puntos que se alejan de la curva, los cuales se pueden atribuir a ruidos ocasionales ajenos al sonido operacional de los aerogeneradores. Este tipo de análisis, es esencial para garantizar que

los niveles de ruido medidos, son efectivamente del parque eólico y no de otro tipo de fuentes que suelen estar cerca de algunos parques eólicos (animales, árboles, rutas, tractores, etc).

Complementando lo anterior, otro tipo de gráfico que permite visualizar la correlación del nivel de ruido y la velocidad del viento, se muestra a continuación. En el gráfico, el eje vertical izquierdo representa el nivel de ruido y el derecho la velocidad del viento respecto del tiempo.

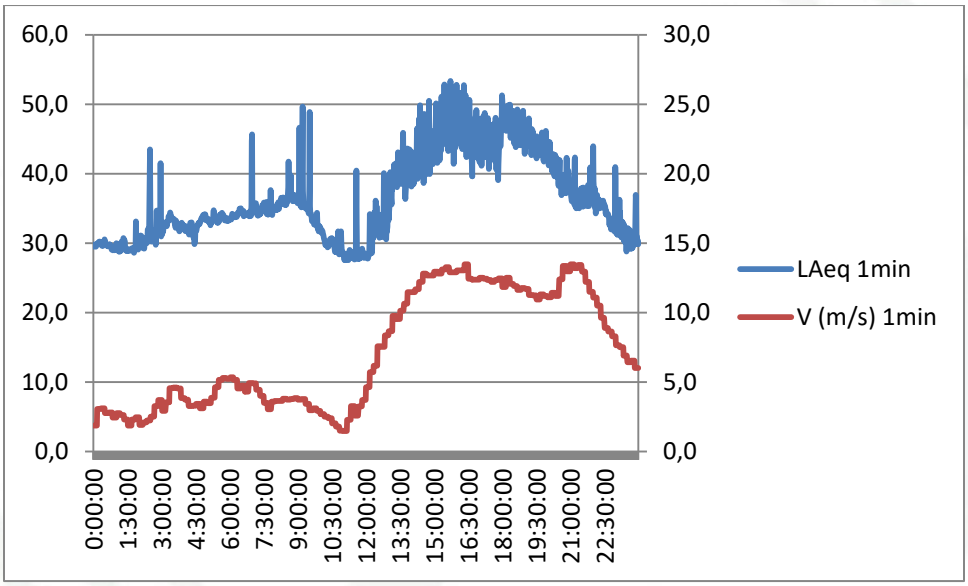


Figura 34. Medición continúa de ruido a 500m de distancia y velocidad del viento a altura de buje en parque eólico 5.

Al analizar la figura 34, se evidencia que existe una relación entre el nivel de ruido medido y la velocidad del viento a la altura de buje, ya que tienen una tendencia temporal muy similar.

En adición, se debe destacar que en algunos parques, se vieron resultados de mediciones de ruido inesperados. En particular, para el parque eólico 1, en la estación que estaba a 500m del aerogenerador más cercano, se apreciaron algunos niveles de ruido casi continuos en el tiempo y de un alto nivel, según lo indicado en la siguiente figura.

Estos niveles se pueden explicar por la zona en que se ubica el parque eólico 1, en la cual, se trabaja mucho con la tierra y se observó la presencia de tractores trabajando gran parte del día. Además, por un factor de seguridad, la estación se instaló en el patio de una persona, ya que en la zona donde se encuentra el parque eólico, se había evidenciado problemas de vandalismo.

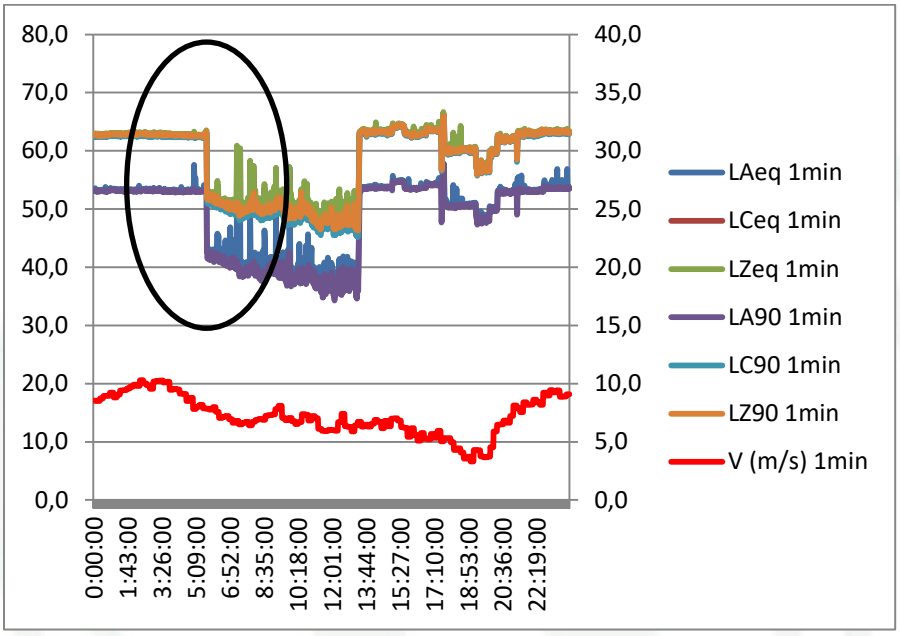


Figura 35. Medición continúa de ruido en parque eólico 1 a 500m de distancia.

Complementando lo anterior, es importante destacar el equilibrio que debe existir entre la selección de los puntos de mediciones continuos de ruido. En este sentido, se debe considerar el compromiso técnico de la veracidad de los datos, la seguridad del sistema y la factibilidad técnica para la instalación del sistema en el lugar elegido. En este proyecto, se dio prioridad a la seguridad, ya que muchos puntos de medición quedaban fuera de los parques eólicos, lo cual, incrementaba de forma considerable el riesgo a hurto de los equipos y pérdida total de datos.

7.1.2 Mediciones discretas

Las mediciones discretas de ruido, se utilizan para poder caracterizar de forma espacial una fuente de ruido. Sin embargo, teniendo en cuenta lo mencionado en la sección anterior

sobre las mediciones continuas, una medición discreta caracteriza una situación muy particular del sonido operacional de un parque eólico, por lo cual, lo ideal sería utilizar mediciones continuas para caracterizar de forma certera, tanto temporal y espacialmente un parque eólico. Sin perjuicio de lo anterior, una de las grandes fortalezas de realizar mediciones discretas, es tener la oportunidad de poder escuchar el sonido operacional de los parques eólicos y comprobar cómo funcionan éstos. En este sentido, dado que este trabajo es el primer estudio técnico del país en la materia (y probablemente de Sudamérica), el haber realizado mediciones discretas, ayudó a tener una mejor percepción del funcionamiento de un parque eólico y cómo son los diferentes entornos en los cuales éstos se desarrollan. Lo anterior, permite hacer recomendaciones aterrizadas a la realidad nacional y que contribuyan a gestionar el ruido de parques eólico en el país.

Por otra parte, en relación a la medición de ruido de fondo, dado el costo económico asociado a la detención de los aerogeneradores, cinco (5) de los seis (6) parque eólicos, no autorizaron detener los aerogeneradores para realizar este tipo de mediciones de ruido. Lo anterior, implicó que se tuviesen que realizar mediciones en “ambiente comparado”, las cuales fueron realizadas de forma exitosa y representan el ruido ambiente que habría en la ubicación de los parques eólicos.

Respecto a la medición de ruido de fondo, sin duda resulta en una actividad bastante compleja, sobre todo cuando un parque eólico ya está instalado y operando. Dicho esto, el equipo consultor cree oportuno que cuando se confeccione una nueva normativa de ruido de parques eólicos, se considere que este tipo de fuente deba cumplir un nivel de ruido fijo, con diferentes niveles máximos permisibles durante el periodo diurno y nocturno, sin necesidad de medir el ruido de fondo.

Respecto a los descriptores utilizados para las mediciones discretas de ruido, se pudo apreciar en terreno que el LA90 es más representativo para caracterizar el sonido operacional de un parque eólico, ya que elimina los ruidos ocasionales ajenos al parque eólico que se está caracterizando. A modo de ejemplo, en la siguiente figura se muestra una medición discreta de ruido en el parque eólico 5, el cual, está cercano a un aeropuerto. En la figura, se puede apreciar como el LAeq incrementa con el paso del avión, pero el LA90 se mantiene estable, representando el nivel de ruido que se tiene en ese lugar, que está caracterizado por el sonido operacional del parque eólico bajo estudio.

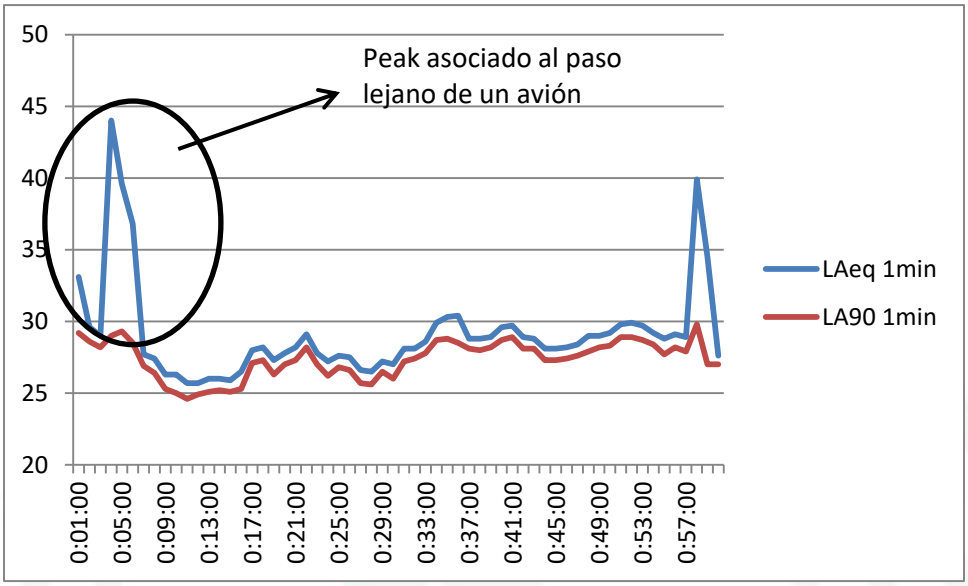


Figura 36. Medición discreta en parque eólico 5.

7.1.3 Mediciones de ruido de aerogeneradores

Las mediciones de ruido de aerogeneradores no se pudieron implementar de manera óptima, dada la dependencia por parte de los titulares para la detención de los parques eólicos, logrando así, realizar las mediciones según lo indicado en la regulación danesa [11]. En este sentido, dado el costo económico elevado asociado a la detención de los aerogeneradores, cinco (5) de los seis (6) parque eólicos, no autorizaron la detención de los aerogeneradores para realizar las mediciones en cuestión. Lo anterior, implicó que se realizaran las mediciones en la mayoría de los parques con otros aerogeneradores funcionando, lo cual, contaminó la medición de ruido del aerogenerador que se quería caracterizar, lo que hace que las mediciones sean poco representativas. Sin embargo, para los parques eólicos 5 y 6, se lograron realizar mediciones sin influencia de otros aerogeneradores. En particular, para el parque eólico 5, se detuvieron los aerogeneradores más cercanos al punto de medición de ruido de aerogeneradores. Por otra parte, para el parque eólico 6, el día en que se realizaron las mediciones de ruido de aerogeneradores, varios de éstos no estaban operativos, lo cual, fue ideal para realizar las mediciones de ruido en aerogeneradores sin influencia de otros.

El desarrollo de esta actividad, requiere detener aerogeneradores, medir diferentes velocidades de viento, revisión de potencia eléctrica del aerogeneradores, entre otros. Lo anterior, sin duda demuestra lo engorroso que es realizar mediciones de ruido de aerogeneradores, dada la alta dependencia de los titulares de los parques eólicos. Por ende, el equipo consultor estima que este tipo de actividad no se debiera considerar en una futura normativa de ruido de parques eólicos, ya que complicaría en demasía el desarrollo de los proyectos en la evaluación de ruido de parques eólicos.

Por otra parte, de los resultados obtenidos de las mediciones de ruido de aerogeneradores, se pudo apreciar que los mayores niveles de potencia acústica (LwA), se encontraban entre las bandas de octava de 125 a 2.000 Hz, teniendo su máximo valor en la banda de 500 Hz. En adición, se observó que para una misma banda de frecuencia, existen variaciones de hasta 7 dB en función de la velocidad de viento en altura de buje (para el rango de 6 a 10 m/s).

7.2 Mediciones de condiciones meteorológicas

Como se mencionó en la sección anterior, el sonido operacional de un parque eólico depende en gran medida de las condiciones meteorológicas del entorno, en particular, de la dirección y velocidad del viento.

Para este caso, la mayoría de los datos se obtuvieron a altura de buje de los aerogeneradores, ya que los titulares de los parques eólicos bajo estudio, facilitaron esa información. Además, para los parques eólicos 3 y 6, se instalaron estaciones meteorológicas a 10 metros de altura para captar los datos meteorológicos solicitados, según se muestra en la siguiente figura.

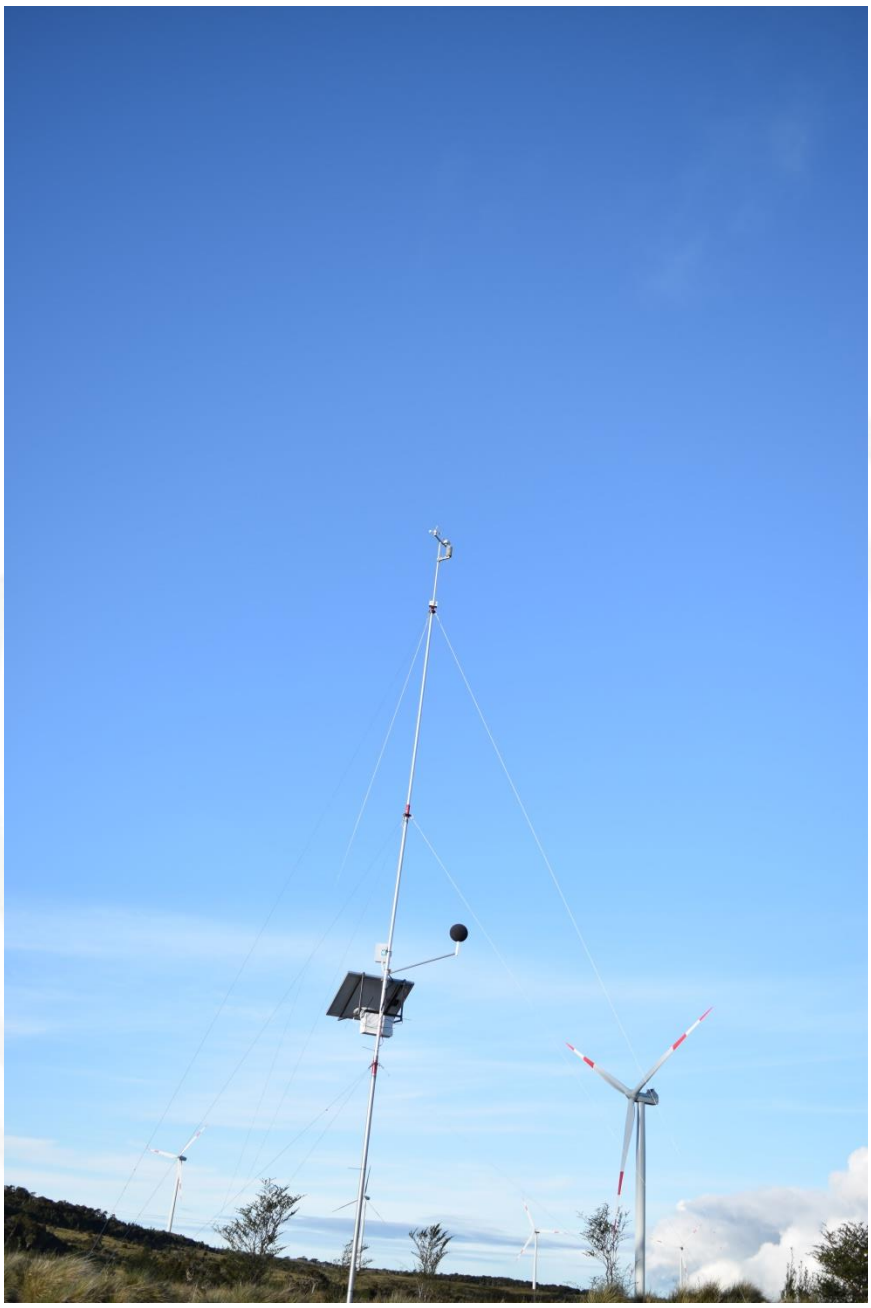


Figura 37. Estación de monitoreo de ruido y condiciones meteorológicas en parque eólico 6.

Si bien, utilizar los datos de los parques a la altura de buje es bastante más cómodo y sencillo, se debe pensar que en un futuro, cuando exista una nueva normativa específica de ruido de parques eólicos, lo ideal sería que el sistema de monitoreo de ruido también

capture las condiciones meteorológicas, ya que cuando se desee evaluar un nuevo proyecto de parque eólico, se debe medir la velocidad de viento de referencia.

La única desventaja de tener que instalar la estación de monitoreo de ruido y condiciones meteorológicas en un mismo sistema, resulta en que la altura del mismo es bastante alta, lo cual, llama la atención y puede poner en peligro el sistema, ya que el vandalismo es una realidad nacional inevitable. En este sentido, como medidas de seguridad, la instalación de cercos y cintas de peligro fueron esenciales para evitar hurtos del instrumental de medición.

En la siguiente figura, se muestra un sistema con un cerco perimetral en base a alambre púas.



Figura 38. Estación de monitoreo de ruido en parque eólico 4 con cerco perimetral.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, el registro de datos meteorológicos es sumamente útil para validar que los datos de las estaciones de monitoreo de ruido son del sonido operacional del parque y no de otras fuentes de ruido. En particular, resulta fundamental un gráfico de correlación entre las velocidades de viento y niveles de ruido, lo cual permite descartar datos que no tienen relación con el sonido operacional del parque y que se pueden atribuir a ruidos ocasionales (como lo mostrado en las figuras 33 y 34).

7.3 Otros

7.3.1 Diseño de parques eólicos

El diseño de un parque eólico evoluciona durante la fase de desarrollo y se retroalimenta constantemente en base a las conclusiones y según el avance de los estudios necesarios en el proceso de la evaluación del impacto ambiental, y tras consultas con las comunidades cercanas. El diseño que finalmente se construye considera un rango muy amplio de restricciones ambientales, antropológicas, arqueológicas, hidrológicas, y técnicas, entre otras.

Frecuentemente, el desarrollador tiene que buscar un equilibrio entre requerimientos contrarios. Por ejemplo, desarrollar parques eólicos en áreas lejanas de zonas pobladas generalmente minimiza impactos a la comunidad. Sin embargo, dichas áreas remotas a menudo se encuentran en hábitats más vírgenes, con una flora y fauna mucho más diversa y vulnerable a impactos, que también merece un alto grado de protección. Como consecuencia, el diseño responsable de un parque eólico no simplemente es una cuestión de alejarlo de comunidades, sino un proceso mucho más complejo.

Actualmente no existe un marco normativo muy robusto para algunos de los impactos que afecta la comunidad y distintos desarrolladores aplican distintos criterios para evaluar el ruido, parpadeo de sombra y el impacto visual, para luego poder considerarlo en el diseño del proyecto. Como consecuencia, en algunos parques eólicos dichos impactos han causado más molestias que en otros.

Para proteger mejor las comunidades en el futuro, y fomentar el desarrollo de la industria eólica, el Estado tiene la oportunidad de gestionar la reconciliación de intereses de distintos grupos (comunidades, por un lado, la industria eólica por el otro) por medio de definir un

marco normativo que deje menos ambigüedad y con menos margen para interpretaciones distintas, que sea más fácil entender incluso para personas no especialistas en el rubro, y que no requiera metodologías extremadamente complejas para verificar el cumplimiento de la normativa, tanto durante la fase de desarrollo como la fase de operación de un proyecto.

7.3.2 Monitoreo de ruido de parques eólicos existentes

Durante el transcurso del proyecto, se pudo apreciar que existen varias casas habitadas que están muy cercanas a parques eólicos, las cuales, desde la perspectiva del equipo consultor, requieren ser monitoreadas para evaluar cuál es el impacto acústico que se está generando en las personas que viven en esos hogares.

En vista de los resultados obtenidos en relación a la caracterización acústica de parques eólicos, el equipo consultor ha establecido tres (3) distancias para evaluar la necesidad de generar monitoreo de ruido:

1. Distancia Ideal: Se ha establecido, que si la distancia entre un hogar y un parque eólico es igual o superior a 1 km., el sonido operacional del parque eólico es casi imperceptible, por lo cual, no se requiere realizar monitoreo de ruido.
2. Distancia mínima: Se ha establecido, que si la distancia entre un hogar y un parque eólico es igual o menor a 500 m., el sonido operacional del parque eólico es perceptible y puede ser molesto para conciliar el sueño, por lo cual, se recomienda realizar monitoreo de ruido.
3. Distancia crítica: Se ha establecido, que si la distancia entre un hogar y un parque eólico es igual o menor a 250 m., el sonido operacional del parque eólico es muy perceptible y es altamente molesto para conciliar el sueño, por lo cual, se recomienda realizar monitoreo de ruido y evaluar medidas de control de ruido para los aerogeneradores cercanos al hogar.

8 PROXIMOS ESTUDIOS

Si bien este estudio ha logrado caracterizar espacial y temporalmente los niveles de ruido generados por los parques eólicos instalados en el país, el equipo consultor estima necesario realizar un nuevo estudio específico en la materia, pero enfocado en la percepción acústica de los parques eólicos en Chile, en el cual, se estudie cómo la comunidad percibe esta fuente de ruido, ya que, como se mencionó anteriormente (y se pudo verificar en las campañas de mediciones acústicas), los parques eólicos no emiten niveles de sonido muy altos, pero pueden ser percibidos sumamente molestos por sus características.

En este sentido, para lograr estudiar la percepción acústica de los parques eólicos en Chile, se estima necesaria instalar estaciones de monitoreo de ruido en diferentes receptores de distintas zonas del país, realizar encuestas a todas las personas que vivan en los puntos receptores estudiados y trabajar en conjunto con las personas, logrando identificar en qué momentos, ellos sienten que el nivel de ruido alcanza la mayor molestia. Además, parece oportuno realizar grabaciones con cabezas binaurales, generando registros en alta calidad de los sonidos que molestan a las personas que viven cerca a parques eólicos.

9 CONCLUSIONES

Del trabajo realizado, se puede concluir lo siguiente:

a) Los resultados de las mediciones continuas de ruido, mostraron que existe una gran variación entre los niveles de ruido de un parque eólico, llegando a diferencias de 15 dB en un mismo día. Esto se debe, a la gran dependencia que tiene el nivel de ruido emitido por un parque eólico con las condiciones meteorológicas, en particular, con la dirección y velocidad del viento. Asimismo, la utilización de gráficos que correlacionan el ruido y la velocidad del viento resultan fundamentales para evaluar si los niveles de ruido provienen de la operación del parque eólico o de ruidos ocasionales ajenos al él. Complementando lo anterior, la utilización de los gráficos según la normativa ETSU permitió visualizar los ruidos ocasionales de algunos resultados de las mediciones continuas de ruido, como por ejemplo, en algunos días de la estación 02 del parque eólico 1, ubicada a 500m del aerogenerador más cercano.
b) En relación a las mediciones discretas de ruido, se pudo apreciar que el descriptor LA90 representó mejor la caracterización del ruido operacional del parque eólico que el LAeq, toda vez que el LA90 eliminó los ruidos ocasionales de algunas mediciones, como por ejemplo, el sonido de un avión lejano en el parque eólico 5.
c) Teniendo en cuenta lo anterior, de los resultados de este estudio, resulta evidente utilizar una medición discreta de ruido para caracterizar espacial y/o temporalmente el nivel de ruido generado por un parque eólico es poco representativo, ya que definir el horario de medición que pueda representar la mayor emisión de ruido de la fuente es complejo, dada su dependencia con las condiciones meteorológicas. En particular, es sabido que el ruido de un aerogenerador es más preponderante para velocidades de viento que oscilan entre los 6 y 10 m/s en altura de buje. Además, analizando los datos de mediciones continuas de este estudio, tal condición no se logra obtener en un mismo día.
d) Dado que una medición discreta caracteriza una situación muy particular del sonido operacional de un parque eólico (por su dependencia con las condiciones meteorológicas), realizar mediciones de ruido de fondo cercano al emplazamiento de parques eólicos con mediciones discretas de 30 minutos no es recomendable. De

acuerdo a los datos analizados (mediciones discretas de 30 minutos) en el presente estudio, no se registraron todas las velocidades de viento de interés para caracterizar el ruido de fondo de forma apropiada. De esta forma, una metodología adecuada para medir el ruido de fondo para todas las velocidades de viento, es utilizando mediciones continuas de ruido y detenciones de los parques eólicos de forma coordinada y programada, permitiendo obtener todas las velocidades de viento de interés en un periodo de tiempo suficiente, reduciendo los costos financieros a los titulares por las detenciones de los aerogeneradores.

e) En relación a los niveles de ruido obtenidos en las estaciones de monitoreo de ruido, se pudo apreciar que para la distancia de 250 metros, considerando la propagación del ruido en la dirección del viento desde el parque hacia el punto de medición (peor escenario), a una velocidad de viento en altura de buje entre 6 y 10 m/s, el nivel LAeq aproximado resultó en valores en un rango de 49-50 dBA. De forma similar, bajo las mismas condiciones, a una distancia de 500 metros, el LAeq aproximado dio entre 46-47 dBA. Finalmente, bajo las mismas condiciones, a una distancia de 750 metros, el LAeq aproximado fue de 44-45 dBA.
f) La utilización de pantallas antiviento especiales para medir los niveles de ruido de parques eólicos son fundamentales para obtener datos fidedignos, toda vez que durante una de las campañas de terreno, se realizó el ejercicio comparativo entre la pantalla convencional (diámetro de 2,5”) y la especial (diámetro de 7”), resultando diferencias de hasta 20 dB por las velocidades de viento (mayores a 5 m/s).
g) La implementación de la regulación danesa para realizar mediciones de ruido de aerogeneradores (mediciones de potencia acústica) requiere de periodos de tiempo extensos, además de la coordinación con los titulares de los parques eólicos, ya que se deben realizar mediciones de ruido para diferentes velocidades de viento, específicamente en los rangos de 5,5-6,0; 6,0-6,5; 7,5-8,0 y 8,0-8,5 m/s. En este sentido, durante las mediciones de potencia acústica de un aerogenerador, se deben detener los demás aerogeneradores del parque eólico para que el sonido operacional de ellos no influya en la medición de ruido del aerogenerador que se está caracterizando, lo cual, genera costos financieros importantes. Por lo anterior, y teniendo en consideración que los resultados de las simulaciones utilizando datos de potencia acústica medidos in situ versus datos por ficha técnica no difieren

significativamente, el equipo consultor concluye que no vale la pena implementar el método de la regulación danesa para las mediciones de ruido de aerogeneradores.

h) Complementando lo anterior, en relación a los niveles de ruido medido en los aerogeneradores, si bien fueron en diferentes condiciones y equipos de potencias variadas, se pudo apreciar que los mayores niveles de potencia acústica (LwA), se encontraban entre las bandas de octava de 125 a 2.000 Hz, teniendo su máximo valor en la banda de 500 Hz. En adición, se pudo apreciar que para una misma banda de frecuencia, existen variaciones de hasta 7 dB en función de la velocidad de viento en altura de buje (para el rango de 6 a 10 m/s).

i) El haber incrementado el periodo de mediciones continuas de ruido a dos (2) semanas de monitoreo, permitió caracterizar temporalmente el ruido de los parques eólicos bajo estudio. En este sentido, si bien una (1) semana de medición continua de ruido puede ser suficiente para captar el nivel de emisión de ruido de un parque eólico para todas las velocidades de viento de interés (entre 6 y 10 m/s en altura de buje), el equipo consultor considera que es un plazo ajustado, ya que, como se pudo observar en algunos parques eólicos, existen ruidos ocasionales que contaminan las mediciones de ruido, por lo cual, es necesario tener un margen de seguridad en lo relacionado al periodo de muestreo. Por lo anterior, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se concluye que un periodo de medición continua de ruido de dos (2) semanas de monitoreo es el mínimo necesario para caracterizar temporalmente el sonido operacional de un parque eólico para las velocidades de viento de interés.

j) La selección de los puntos de mediciones continuas de ruido, debe considerar los aspectos de seguridad del sistema, factibilidad técnica de instalación y condiciones apropiadas para caracterizar de buena manera el parque eólico. En el caso de este estudio, se priorizó la seguridad, ya que muchos puntos estaban fuera de los terrenos de los parques eólicos, lo que incrementaba de forma considerable el riesgo de hurto de los equipos y pérdida de datos. Lo anterior, implicó incorporar cercos y bandas de seguridad alrededor de las estaciones de monitoreo de ruido, con el fin de resguardar el sistema. En relación a las distancias de medición de ruido, se definieron en función de las distancias típicas entre parques eólicos y viviendas que existen en el país, las cuales fueron 250 y 500 metros al aerogenerador más cercano (al igual que las mediciones discretas, pero incorporando además 750 metros). Por

otra parte, para lograr caracterizar el sonido operacional del parque eólico y reducir los ruidos ocasionales, los puntos de medición se seleccionaron lejos de árboles, granjas con animales, carreteras, entre otros. Asimismo, se consideró las pendientes en el terreno, de tal manera que el ángulo entre la horizontal y una línea recta desde el micrófono y la altura de buje sea entre 25 a 40 grados. En adición, se estudió el perfil de viento de cada parque eólico, para determinar el emplazamiento óptimo de la estación monitora de ruido. En este sentido, se priorizó caracterizar el peor escenario de emisión de ruido del aerogenerador, es decir, la propagación del ruido en la dirección del viento desde el parque hacia el punto de medición.

k) Una de las variables que dificultó la instalación del sistema de medición continua de ruido, fue la composición del suelo. En particular, el sistema de monitoreo de ruido estaba compuesto, entre otras cosas, por un mástil y estacas de sujeción (normalmente llamadas “vientos”). Éstos últimos, se entierran en el suelo para dar rigidez a todo el sistema y evitar el vuelco del mástil. Dicho esto, uno de los parques eólicos, presentó un terreno con mucho fango y piedra, lo que dificultó la instalación de las estacas de sujeción e impactó en la ubicación presupuestada de la estación monitora de ruido. Por lo anterior, es recomendable que se consideren varios sistemas de sujeción entre el sistema de monitoreo de ruido y el suelo. En este sentido, utilizar estacas es lo más efectivo para terrenos que estén compuestos por tierra rígida y arena. Para terrenos sólidos como piedra, se debe utilizar un elemento más robusto, como por ejemplo un mástil autoportante con pernos de anclaje.

l) Finalmente, teniendo en cuenta que utilizar una medición discreta para caracterizar los niveles de ruido de un parque eólico no son apropiadas, el equipo recomienda confeccionar una normativa específica de ruido de parques eólicos, que considere, entre otros aspectos, mediciones de niveles de ruido para diferentes velocidad de viento, instrumental apropiado (en especial las pantallas antiviento), periodos de muestreo más extensos a los señalados en el D.S. 38/11 del MMA, entre otros. Para complementar estas recomendaciones, el Anexo 8 del estudio muestra algunas consideraciones para una normativa de ruido de parques eólicos.



Juan Pablo Álvarez Rodenbeek
Ingeniero Civil Acústico
13.847.860-2



Nicolás Andrés Bastián Monarca
Magíster en Acústica y Vibraciones
Ingeniero Civil Acústico
INCE[2] & IIAV[3] member
17.200.393-1

[2] INCE: Institute of Noise Control Engineering of the USA. www.inceusa.org
[3] IIAV: The International Institute of Acoustics and Vibration. www.iiav.org

10 BIBLIOGRAFIA

[1] Danish Wind Energy association. Statistics. Disponible en la web: www.windpower.org/en/knowledge/statistics/the_global_market.html. Ingresado el 08 de agosto del 2017.

[2] J. Sawin, Renewables 2014: Global Status Report, in: Report Published by Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2014.

[3] B. Nobbs, C.J. Doolan, D.J. Moreau, Characterisation of noise in homes affected by wind turbine noise, in: Acoustics 2012-Fremantle, 2012. Fremantle, Australia.

[4] R.H. Bakker, E. Pedersen, G.P.V.d. Berg, R.E. Stewart, W. Lok, J. Bouma, Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress, Sci. Total Environ. 425 (2012) 42-51.

[5] M. Meunier, Wind farm – long term noise and vibration measurements, in: ICA 2013 Montreal, Acouustical Society of America through the American Institute of Physics, Montreal, Canada, 2013.

[6] A. Crespo, J. Hernández, S. Frandsen, Survey of modelling mthods for wind turbine wakes and wind farms, Wind Energy 2 (1999) 1-24.

[7] Bowder, D (2009). Amplitude Modulation of Wind Turbine Noise. A Review of the Evidence. Institute of Acoustics, 33 (4).

[8] Rogers, A., Manwell, J. y Wright, S. (2006). Wind Turbine Acoustic Noise, a White Paper. Renewable Energy Research Laboratory, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Massachusetts at Amherst.

[9] Wagner, S., Bareiss, R. y Guidati, G. (1996). Wind turbine noise, Stuttgart, Alemania, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

[10] Ministry of the Environment (2008). Noise Guidelines for Wind Farms. Ontario, Canadá. Disponible en la web: https://www.ontario.ca/page/noise-guidelines-wind-farms.

[11] Regulación de Ruido de Parques Eólicos en Dinamarca, Orden Legal 1284: Statutory Order 1284 (2011). Disponible en la web: http://eng.mst.dk/media/mst/66206/engelsk_vindmoellebekendtgoerelse.pdf.

[12] Regulación Internacional para Ruido de Parques Eólicos: ETSU-R-97. The assessment and Rating of Noise from Wind Farms. The Working Group on Noise from Wind Turbine (1996). Disponible en la web: http://www.hoareleaacoustics.com/images/uploads/docs/Report_-_ETSU-R-97_-_The_Assessment_and_Rating_of_Noise_from_Wind_Farms.pdf.

[13] Manual de aplicación de la regulación internacional ETSU-R-97: 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). Disponible en la web: http://www.ioa.org.uk/sites/default/files/IOA%20Good%20Practice%20Guide%20on%20Wind%20Turbine%20Noise%20-%20May%202013.pdf.

[14] Regulación Internacional para Ruido de Parques Eólicos: Standards New Zealand. NZS 6808:2010 Acoustics – Wind farm noise. Wellington, New Zealand (2010). Resumen disponible en la web: http://www.windenergy.org.nz/store/doc/6808_StephenChiles_acousticsjournal.pdf.

[15] Lineamientos de ruido ambiental de parques eólicos en Australia: Environmental Protection Authority South Australia. Wind farms environmental noise guidelines. Adelaide, Australia (2009). Disponible en la web: http://www.epa.sa.gov.au/files/47788_windfarms.pdf.

[16] Decreto Supremo N°38/2011 del Ministerio del Medio Ambiente. Norma de Emisión de Ruidos Generados por Fuentes que Indica (2011).

[17] Gómez, I., Padilla, C. y Salas, C. Análisis de metodologías y criterios de evaluación de impacto acústico de parques eólicos según estándares extranjeros específicos y la normativa chilena aplicable. IX Congreso Iberoamericano de Acústica FIA. Valdivia, Chile (2014).

[18] The Wind Power. País, Chile. Disponible en la web: www.thewindpower.net/country_windfarms_es_57_chile.php. Ingresado el 08 de agosto del 2017.

[19] Arenas, J.P., Suárez, R. y Burdisso, R.A. Environmental Noise Impact Assessment for Wind farms: The Case of Chile. The 12th Western Pacific Acoustics Conference WESPAC. Singapore (2015).

[20] Grupo Técnico de Energías Renovables GTER. Control de ruido originado por parques eólicos en Chile. Etapa de trabajo 1: Definición del problema (2015).

[21] Grupo Técnico de Energías Renovables GTER. Documento de Consulta – Control del Ruido de Parques Eólicos en Chile (2015).

[22] Normativa Técnica Internacional para la caracterización acústica de aerogeneradores: IEC 61400-11 International Standard (2002). Disponible en la web: http://www.magasbakony.hu/Val/iec61400-11%7Bed2.1%7Den.pdf.

[23] Institute of Acoustics. Wind Turbine Noise Good Practice Guide. United Kingdom (2013). Disponible en la web: http://www.ioa.org.uk/publications/wind-turbine-noise.

[24] Montoya, E.N. y Gómez, I.P. Guidelines for developing regulations for acoustic impact, based on the stage of operation of wind farms in Chile. Proceedings of Meetings on Acoustics POMA. Salt Lake City, Utah (2016)

[25] International Standard ISO 9613-2. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors. Part I: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere. Genève, Switzerland (1993).

[26] International Standard ISO 9613-2. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors. Part II: General method of calculation. Genève, Switzerland (1996).

[27] Fernández, F. y Burdisso, R. Simulación en Interiores de Ruido de Turbinas Eólicas con Amplitud Modulada. IX Congreso Iberoamericano de Acústica (FIA). Valdivia, Chile (2014).

[28] Fernández, F., Burdisso, R. y Arenas, J.P. Indoor Simulation of Wind Turbine Amplitude Modulated Noise. 6th International Meeting on Wind Turbine Noise. Glasgow, Escocia (2015).

[29] Fernández, F. Burdisso, R. y Arenas, J.P. Indoor simulation of amplitude modulated wind turbine noise. Wind Energy Journal. DOI: 10.1002/we.2019, 12 Agosto 2016.

[30] MassCEC Acoustics Study Methodology for Wind Turbine Projects. MA, USA (2011).

[31] POCH Ambiental S.A., 2014. DIA Parque eólico Los Buenos Aires. Renato Sánchez 3838, Las Condes, Santiago, Chile.

[32] Universidad de Chile, Ministerio de Energía & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, «Explorador de Energía Eólica,» [En línea]. http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/.

[33] Danish Environmental Protection Agency, 1984. Guidelines for measurements of environmental noise. Denmark.

[34] International Electrotechnical Commission IEC, 2002. IEC 61672-1:2002 Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications.

[35] International Electrotechnical Commission IEC, 2003. IEC 60942:2003 Electroacoustics – Sound calibrators.

[36] Nord2000, 2000. Nordic Noise Predicttion Method. Denmark.

[37] Parra, J.D., Valdebenito, I. y Lobos, V.H. Addressing a Management Strategy of Wind Farms Noise Control in Chile. 7th International Conference on Wind Turbine Noise. Rotterdam, Países Bajos.

[38] Parra, J.D., Suárez, E., Arenas, J.P., Burdisso, R. y McBride, S. Evaluación de Códigos para la Predicción del Ruido de Aerogeneradores y Parques Eólicos y su aplicación en la Gestión del Impacto Acústico producido por Parques Eólicos en Chile. Congreso Internacional de Acústica y Audio profesional INGEACUS 2017. Valdivia, Chile.

[39] Kaliski, K., Wilson, D.K., Vecherin, S. y Duncan, E. Improving Predictions of Wind Turbine Noise Using PE Modeling. NOISE-CON 2011 – Institute of Noise Control Engineers. Portland, OR.

[40] EMD International A/S (2016). WindPRO 3.1 user guide. Denmark.

11 EQUIPO DE TRABAJO

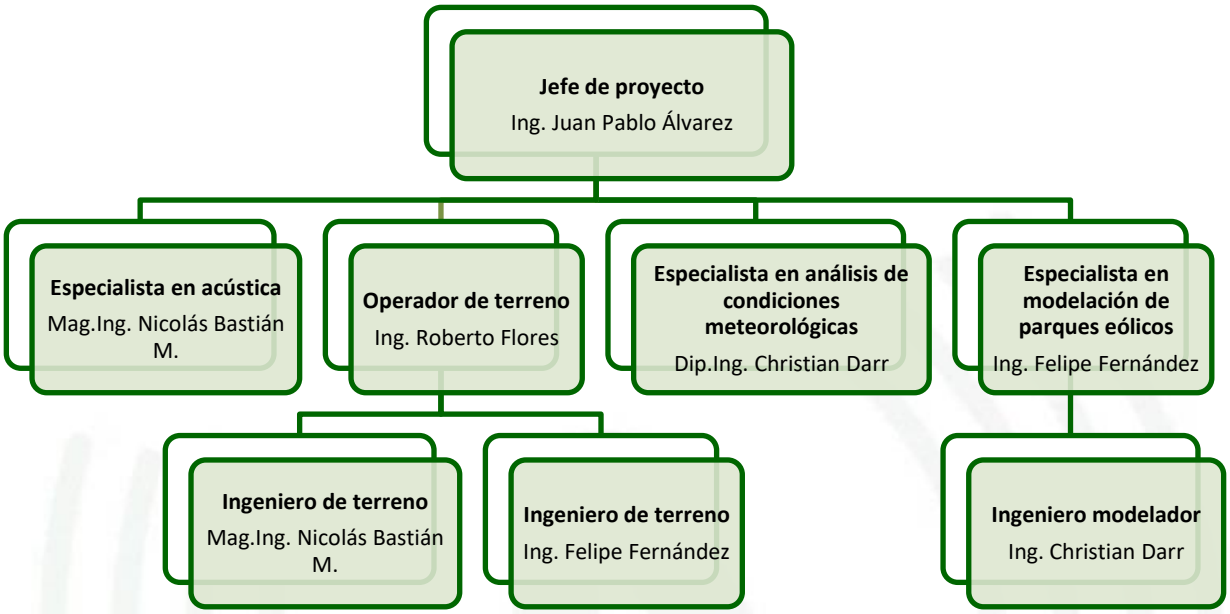


Figura 17. Organigrama equipo de trabajo.

Listado de profesionales	
Jefe de proyecto:	Ing. Juan Pablo Álvarez Rodenbeek (JPA)
Especialista en Acústica:	Mag. Ing. Nicolás Andrés Bastián Monarca (NBM)
Operador de terreno:	Ing. José Roberto Flores Rosales
Esp. análisis condiciones meteorológicas:	Dip. Ing. Christian Darr (CD)
Esp. modelación parques eólicos:	Ing. Felipe Andrés Fernández Gaete (FF)
Ingeniero de terreno:	Mag. Ing. Nicolás Andrés Bastián Monarca (NBM)
Ingeniero de terreno:	Ing. Felipe Andrés Fernández Gaete (FF)
Ingeniero modelador:	Dip. Ing. Christian Darr (CD)

Anexo 1: Certificados Sonómetros

LABCAL – ISP
Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PERIÓDICA
Código: SON20170028
Página 1 de 6 páginas

FABRICANTE SONÓMETRO	: ABSENTÍA
MODELO SONÓMETRO	: CAPTA
NÚMERO SERIE SONÓMETRO	: 001
MARCA MICRÓFONO	: MINIDSP
MODELO MICRÓFONO	: PMIK-1
NÚMERO SERIE MICRÓFONO	: 1001
FECHA CALIBRACIÓN	: 28/03/2017
CLIENTE	: ABSENTIA

Juan Carlos Valenzuela Illanes Técnico de Calibración	
Juan Carlos Valenzuela Illanes Director Técnico	

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Anexo a este Certificado de Calibración se adjuntan los valores nominales de los resultados de la calibración, junto con las tolerancias establecidas en la especificación metrológica aplicada. Se incluye además, una tabla resumen con el resultado de contrastar dichas tolerancias con los resultados, teniendo en cuenta la incertidumbre de medida. La tabla no supone la conformidad del instrumento con respecto a la especificación metrológica, tan sólo con los apartados de dicha especificación metrológica.

Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones, aplicando únicamente al instrumento sometido a ensayo. Este Informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo expide.

Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile
Marathón 1000 – Ñuñoa – Santiago – Chile.
Tel.: 56 – 2) 2575 55 61.
www.ispch.cl

- **CONDICIONES AMBIENTALES DE MEDIDA:**
  T = 23ºC ± 3ºC / H.R. = 50% ± 20% / P = 95kPa ± 10kPa
- **CONDICIONES AMBIENTALES DE REFERENCIA:**
  T = 23ºC / H.R. = 50 % / P = 101,325kPa
- **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN:**
  ME-512.03-001 Calibración de Sonómetros Según Norma Técnica IEC 61672-3:2006 de Sonómetros.
- **ESPECIFICACIÓN METROLÓGICA APLICADA:**
  Las tolerancias aplicadas son las establecidas en la Norma IEC 61672-3:2006 de Sonómetros. Dichas tolerancias son las indicadas para el grado de precisión del instrumento Clase 2.
- **PATRONES UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN:**
  Los patrones utilizados garantizan su trazabilidad a través de Laboratorios nacionales acreditados por el INN o por Laboratorios internacionales acreditados. La trazabilidad de las medidas efectuadas se refiere a nuestros patrones de referencia calibrados periódicamente con los patrones de los laboratorios de Brüel & Kjaer.
- **RESUMEN DE RESULTADOS:**

Apartado de la especificación metrológica (Ref. IEC 61672-3:2006)		Resultado
Indicación a la frecuencia de comprobación de la calibración (Apartado 9)		POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales acústicas (Apartado 11)	Ponderación frecuencial A	N/A
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales eléctricas (Apartado 12)	Ponderación frecuencial A	POSITIVO
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
	Ponderación frecuencial lineal	N/A
	Ponderación frecuencial Z	POSITIVO
Ponderaciones temporales y frecuenciales a 1 kHz (Apartado 13)	Ponderaciones frecuenciales	POSITIVO
	Ponderaciones temporales	POSITIVO
Linealidad de nivel en el margen de nivel de referencia (Apartado 14)		POSITIVO
Linealidad de nivel incluyendo el selector de márgenes de nivel (Apartado 15)		N/A
Respuesta a tren de ondas (Apartado 16)	Ponderación temporal Fast	POSITIVO
	Ponderación temporal Slow	POSITIVO
	Nivel promediado en el tiempo	POSITIVO
Nivel de sonido con ponderación C de pico (Apartado 17)		N/A
Indicación de sobrecarga (Apartado 18)		POSITIVO

- Resultado **POSITIVO** significa que el instrumento cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **NEGATIVO** significa que el instrumento no cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **N/A** significa que el ensayo no es aplicable al instrumento.

- **INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA PARA LA CALIBRACIÓN**

INSTRUMENTO	MARCA	MODELO	Nº SERIE	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	CALIBRADO POR
Generador de funciones	STANDFORD	DS360	88431	2016-3605	DTS
Generador Multifrecuencia	BRUEL & KJAER	4226	2692339	CAS-140788-X5Y9G2-902	BRÜEL&KJAER North America Inc.
Multimetro Digital	AGILENT TECHNOLOGIES	3458ª	MY45044808	D-K-15155-01-00	UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
Módulo de presión Barométrica	ALMEMO	FD A612-SA	9040332	D-K-15211-01-00	ENAER
Termohigrómetro	ALMEMO	FH A646-E1	09070450	D-K-15211-01-00	ENAER

LABCAL – ISP

Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PERIÓDICA

Código: SON20170030
Página 1 de 6 páginas

FABRICANTE SONÓMETRO	: ABSENTIA
MODELO SONÓMETRO	: CAPTA
NÚMERO SERIE SONÓMETRO	: 003
MARCA MICRÓFONO	: MINIDSP
MODELO MICRÓFONO	: PMIK-1
NÚMERO SERIE MICRÓFONO	: 1003
FECHA CALIBRACIÓN	: 29/03/2017
CLIENTE	: ABSENTIA

Juan Carlos Valenzuela Illanes Técnico de Calibración	
Juan Carlos Valenzuela Illanes Director Técnico	

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Anexo a este Certificado de Calibración se adjuntan los valores nominales de los resultados de la calibración, junto con las tolerancias establecidas en la especificación metrológica aplicada. Se incluye además, una tabla resumen con el resultado de contrastar dichas tolerancias con los resultados, teniendo en cuenta la incertidumbre de medida. La tabla no supone la conformidad del instrumento con respecto a la especificación metrológica, tan sólo con los apartados de dicha especificación metrológica.

Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones, aplicando únicamente al instrumento sometido a ensayo. Este Informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo expide.

Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile
Marathon 1000 – Ñuñoa – Santiago – Chile
Tel.: (56 – 2) 2575 55 61
www.ispch.cl

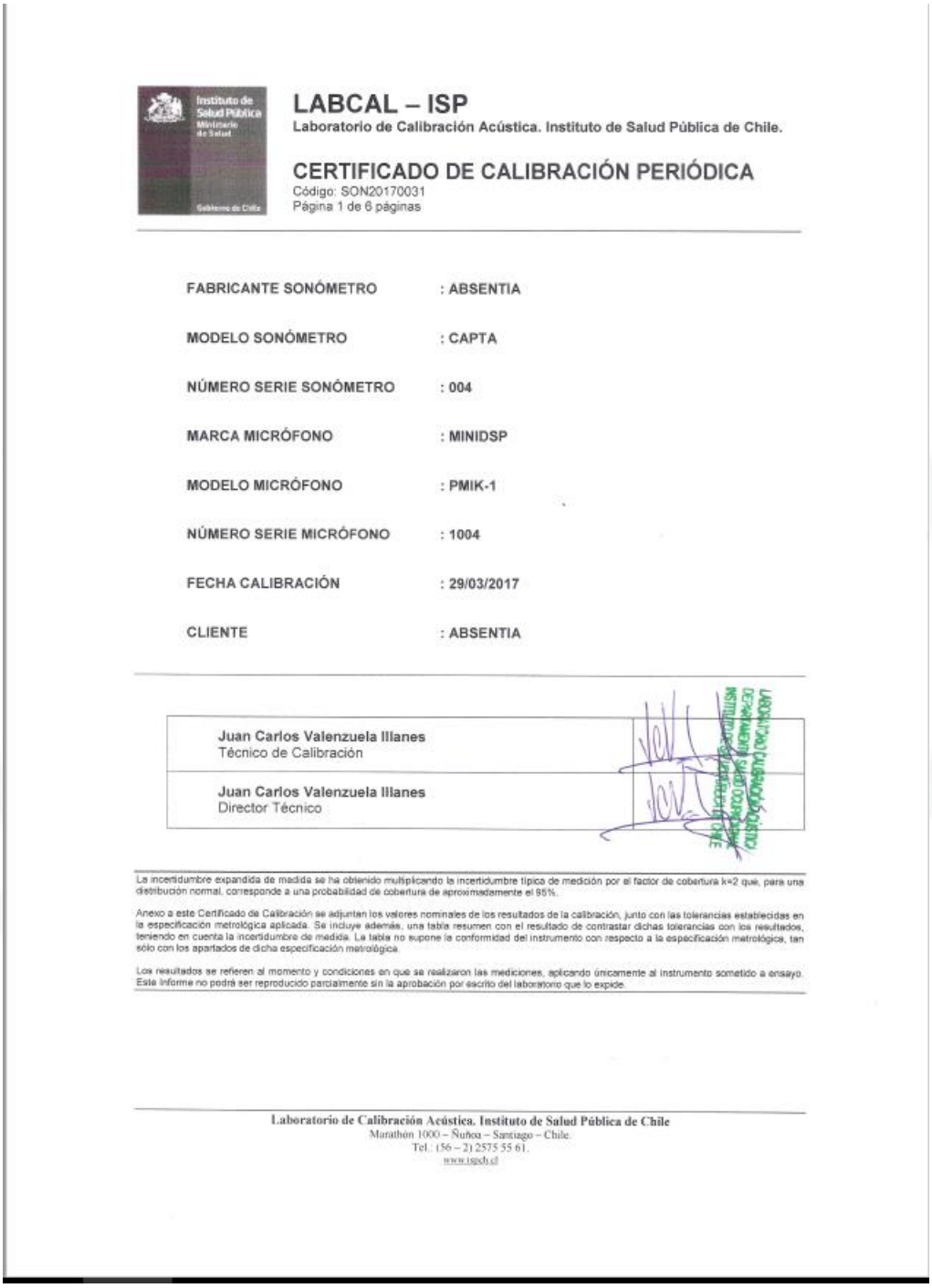
- **CONDICIONES AMBIENTALES DE MEDIDA:**
  T = 23°C ± 3°C / H.R. = 50% ± 20% / P = 95kPa ± 10kPa
- **CONDICIONES AMBIENTALES DE REFERENCIA:**
  T = 23°C / H.R. = 50 % / P = 101,325kPa
- **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN:**
  ME-512.03-001 Calibración de Sonómetros Según Norma Técnica IEC 61672-3:2006 de Sonómetros.
- **ESPECIFICACIÓN METROLÓGICA APLICADA:**
  Las tolerancias aplicadas son las establecidas en la Norma IEC 61672-3:2006 de Sonómetros. Dichas tolerancias son las indicadas para un grado de precisión del instrumento Clase 2.
- **PATRONES UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN:**
  Los patrones utilizados garantizan su trazabilidad a través de Laboratorios nacionales acreditados por el INN o por Laboratorios internacionales acreditados. La trazabilidad de las medidas efectuadas se refiere a nuestros patrones de referencia calibrados periódicamente con los patrones de los laboratorios de Brüel & Kjaer.
- **RESUMEN DE RESULTADOS:**

Apartado de la especificación metrológica (Ref. IEC 61672-3:2006)		Resultado
Indicación a la frecuencia de comprobación de la calibración (Apartado 9)		POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales acústicas (Apartado 11)	Ponderación frecuencial A	N/A
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales eléctricas (Apartado 12)	Ponderación frecuencial A	POSITIVO
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
	Ponderación frecuencial lineal	N/A
	Ponderación frecuencial Z	POSITIVO
Ponderaciones temporales y frecuenciales a 1 kHz (Apartado 13)	Ponderaciones frecuenciales	POSITIVO
	Ponderaciones temporales	POSITIVO
Linealidad de nivel en el margen de nivel de referencia (Apartado 14)		POSITIVO
Linealidad de nivel incluyendo el selector de márgenes de nivel (Apartado 15)		N/A
Respuesta a tren de ondas (Apartado 16)	Ponderación temporal Fast	POSITIVO
	Ponderación temporal Slow	POSITIVO
	Nivel promediado en el tiempo	POSITIVO
Nivel de sonido con ponderación C de pico (Apartado 17)		N/A
Indicación de sobrecarga (Apartado 18)		POSITIVO

- Resultado **POSITIVO** significa que el instrumento cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **NEGATIVO** significa que el instrumento no cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **N/A** significa que el ensayo no es aplicable al instrumento.

- **INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA PARA LA CALIBRACIÓN**

INSTRUMENTO	MARCA	MODELO	Nº SERIE	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	CALIBRADO POR
Generador de funciones	STANDFORD	DS360	88431	2016-3605	DTS
Generador Multifrecuencia	BRUEL & KJAER	4226	2692339	CAS-140788-X5Y9G2-902	BRUEL&KJAER North America Inc
Multimetro Digital	AGILENT TECHNOLOGIES	3458°	MY45044808	D-K-15155-01-00	UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
Módulo de presión Barométrica	ALMEMO	FD A612-SA	9040332	D-K-15211-01-00	ENAER
Termohigrómetro	ALMEMO	FH A646-E1	09070450	D-K-15211-01-00	ENAER



Instituto de Salud Pública
Ministerio de Salud
Gobierno de Chile

LABCAL – ISP
Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PERIÓDICA
Código: SON20170031
Página 1 de 6 páginas

FABRICANTE SONÓMETRO	: ABSENTIA
MODELO SONÓMETRO	: CAPTA
NÚMERO SERIE SONÓMETRO	: 004
MARCA MICRÓFONO	: MINIDSP
MODELO MICRÓFONO	: PMIK-1
NÚMERO SERIE MICRÓFONO	: 1004
FECHA CALIBRACIÓN	: 29/03/2017
CLIENTE	: ABSENTIA

Juan Carlos Valenzuela Illanes
Técnico de Calibración

Juan Carlos Valenzuela Illanes
Director Técnico

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Anexo a este Certificado de Calibración se adjuntan los valores nominales de los resultados de la calibración, junto con las tolerancias establecidas en la especificación metrológica aplicada. Se incluye además, una tabla resumen con el resultado de contrastar dichas tolerancias con los resultados, teniendo en cuenta la incertidumbre de medida. La tabla no supone la conformidad del instrumento con respecto a la especificación metrológica, tan sólo con los apartados de dicha especificación metrológica.

Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones, aplicando únicamente al instrumento sometido a ensayo. Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo expide.

Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile
Marathon 1000 – Ñuñoa – Santiago – Chile.
Tel.: (56 – 2) 2575 55 61.
www.ispch.cl

- **CONDICIONES AMBIENTALES DE MEDIDA:**
  T = 23ºC ± 3ºC / H.R. = 50% ± 20% / P = 95kPa ± 10kPa
- **CONDICIONES AMBIENTALES DE REFERENCIA:**
  T = 23ºC / H.R. = 50 % / P = 101.325kPa
- **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN:**
  ME-512.03-001 Calibracion de Sonómetros Segun Norma Técnica IEC 61672-3:2006 de Sonómetros.
- **ESPECIFICACIÓN METROLÓGICA APLICADA:**
  Las tolerancias aplicadas son las establecidas en la Norma IEC 61672-3:2006 de Sonómetros. Dichas tolerancias son las indicadas para el grado de precisión del instrumento Clase 2.
- **PATRONES UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN:**
  Los patrones utilizados garantizan su trazabilidad a través de Laboratorios nacionales acreditados por el INN o por Laboratorios internacionales acreditados. La trazabilidad de las medidas efectuadas se refiere a nuestros patrones de referencia calibrados periódicamente con los patrones de los laboratorios de Brüel & Kjaer.
- **RESUMEN DE RESULTADOS:**

Apartado de la especificación metrológica (Ref. IEC 61672-3:2006)		Resultado
Indicación a la frecuencia de comprobación de la calibración (Apartado 9)		POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales acústicas (Apartado 11)	Ponderación frecuencial A	N/A
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales eléctricas (Apartado 12)	Ponderación frecuencial A	POSITIVO
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
	Ponderación freeuencial lineal	N/A
	Ponderación frecuencial Z	POSITIVO
Ponderaciones temporales y frecuenciales a 1 kHz (Apartado 13)	Ponderaciones frecuenciales	POSITIVO
	Ponderaciones temporales	POSITIVO
Linealidad de nivel en el margen de nivel de referencia (Apartado 14)		POSITIVO
Linealidad de nivel incluyendo el selector de márgenes de nivel (Apartado 15)		N/A
Respuesta a tren de ondas (Apartado 16)	Ponderación temporal Fast	POSITIVO
	Ponderación temporal Slow	POSITIVO
	Nivel promediado en el tiempo	POSITIVO
Nivel de sonido con ponderación C de pico (Apartado 17)		N/A
Indicación de sobrecarga (Apartado 18)		POSITIVO

- Resultado **POSITIVO** significa que el instrumento cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **NEGATIVO** significa que el instrumento no cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **N/A** significa que el ensayo no es aplicable al instrumento.

- **INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA PARA LA CALIBRACIÓN**

INSTRUMENTO	MARCA	MODELO	Nº SERIE	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	CALIBRADO POR
Generador de funciones	STANDFORD	DS360	88431	2016-3605	DTS
Generador Multifrecuencia	BRUEL & KJAER	4226	2692339	CAS-140788-X5Y9G2-902	BRÜEL&KJAER North America Inc.
Multimetro Digital	AGILENT TECHNOLOGIES	3458ª	MY45044808	D-K-15155-01-00	UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
Módulo de presión Barométrica	ALMEMO	FD A612-SA	9040332	D-K-15211-01-00	ENAER
Termohigrómetro	ALMEMO	FH A646-E1	09070450	D-K-15211-01-00	ENAER

LABCAL – ISP

Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PERIÓDICA

Código: SON20170032
Página 1 de 6 páginas

FABRICANTE SONÓMETRO	: ABSENTIA
MODELO SONÓMETRO	: CAPTA
NÚMERO SERIE SONÓMETRO	: 005
MARCA MICRÓFONO	: MINIDSP
MODELO MICRÓFONO	: PMIK-1
NÚMERO SERIE MICRÓFONO	: 1005
FECHA CALIBRACIÓN	: 30/03/2017
CLIENTE	: ABSENTIA

Mauricio Sánchez Valenzuela
Técnico de Calibración

Juan Carlos Valenzuela Illanes
Director Técnico

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Anexo a este Certificado de Calibración se adjuntan los valores nominales de los resultados de la calibración, junto con las tolerancias establecidas en la especificación metrológica aplicada. Se incluye además, una tabla resumen con el resultado de contrastar dichas tolerancias con los resultados, teniendo en cuenta la incertidumbre de medida. La tabla no supone la conformidad del instrumento con respecto a la especificación metrológica, tan sólo con los apartados de dicha especificación metrológica.

Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones, aplicando únicamente al instrumento sometido a ensayo. Este Informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo expide.

Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile
Marathon 1000 – Ñuñoa – Santiago – Chile.
Tel.: (56 – 2) 2575 55 61.
www.ispch.cl

- **CONDICIONES AMBIENTALES DE MEDIDA:**
  T = 23ºC ± 3ºC / H.R. = 50% ± 20% / P = 95kPa ± 10kPa
- **CONDICIONES AMBIENTALES DE REFERENCIA:**
  T = 23ºC / H.R. = 50 % / P = 101,325kPa
- **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN:**
  ME-512.03-001 Calibración de Sonómetros Según Norma Técnica IEC 61672-3:2006 de Sonómetros.
- **ESPECIFICACIÓN METROLÓGICA APLICADA:**
  Las tolerancias aplicadas son las establecidas en la Norma IEC 61672-3:2006 de Sonómetros. Dichas tolerancias son las indicadas para un grado de precisión del instrumento Clase 2.
- **PATRONES UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN:**
  Los patrones utilizados garantizan su trazabilidad a través de Laboratorios nacionales acreditados por el INN o por Laboratorios internacionales acreditados. La trazabilidad de las medidas efectuadas se refiere a nuestros patrones de referencia calibrados periódicamente con los patrones de los laboratorios de Brüel & Kjaer.
- **RESUMEN DE RESULTADOS:**

Apartado de la especificación metrológica (Ref. IEC 61672-3:2006)		Resultado
Indicación a la frecuencia de comprobación de la calibración (Apartado 9)		POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales acústicas (Apartado 11)	Ponderación frecuencial A	N/A
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales eléctricas (Apartado 12)	Ponderación frecuencial A	POSITIVO
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
	Ponderación frecuencial lineal	N/A
	Ponderación frecuencial Z	POSITIVO
Ponderaciones temporales y frecuenciales a 1 kHz (Apartado 13)	Ponderaciones frecuenciales	POSITIVO
	Ponderaciones temporales	POSITIVO
Linealidad de nivel en el margen de nivel de referencia (Apartado 14)		POSITIVO
Linealidad de nivel incluyendo el selector de márgenes de nivel (Apartado 15)		N/A
Respuesta a tren de ondas (Apartado 16)	Ponderación temporal Fast	POSITIVO
	Ponderación temporal Slow	POSITIVO
	Nivel promediado en el tiempo	POSITIVO
Nivel de sonido con ponderación C de pico (Apartado 17)		N/A
Indicación de sobrecarga (Apartado 18)		POSITIVO

- Resultado **POSITIVO** significa que el instrumento cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **NEGATIVO** significa que el instrumento no cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **N/A** significa que el ensayo no es aplicable al instrumento.

- **INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA PARA LA CALIBRACIÓN**

INSTRUMENTO	MARCA	MODELO	Nº SERIE	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	CALIBRADO POR
Generador de funciones	STANDFORD	DS360	88431	2016-3605	DTS
Generador Multifrecuencia	BRUEL & KJAER	4226	2692339	CAS-140788-X5Y9G2-902	BRÜEL&KJAER North America Inc.
Multimetro Digital	AGILENT TECHNOLOGIES	3458ª	MY45044808	D-K-15155-01-00	UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
Módulo de presión Barométrica	ALMEMO	FD A612-SA	9040332	D-K-15211-01-00	ENAER
Termohigrómetro	ALMEMO	FH A646-E1	09070450	D-K-15211-01-00	ENAER

LABCAL – ISP

Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PERIÓDICA

Código: SON20170033

Página 1 de 6 páginas

FABRICANTE SONÓMETRO	: ABSENTÍA
MODELO SONÓMETRO	: CAPTA
NÚMERO SERIE SONÓMETRO	: 006
MARCA MICRÓFONO	: MINIDSP
MODELO MICRÓFONO	: PMIK-1
NÚMERO SERIE MICRÓFONO	: 1006
FECHA CALIBRACIÓN	: 30/03/2017
CLIENTE	: ABSENTIA

Mauricio Sánchez Valenzuela
Técnico de Calibración

Juan Carlos Valenzuela Illanes
Director Técnico

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Anexo a este Certificado de Calibración se adjuntan los valores nominales de los resultados de la calibración, junto con las tolerancias establecidas en la especificación metrológica aplicada. Se incluye además, una tabla resumen con el resultado de contrastar dichas tolerancias con los resultados, teniendo en cuenta la incertidumbre de medida. La tabla no supone la conformidad del instrumento con respecto a la especificación metrológica, tan sólo con los apartados de dicha especificación metrológica.

Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones, aplicando únicamente al instrumento sometido a ensayo. Este Informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo expide.

Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile
Marathon 1000 – Ñuñoa – Santiago – Chile.
Tel.: (56 – 2) 2575 55 61.
www.ispch.cl

- **CONDICIONES AMBIENTALES DE MEDIDA:**
  T = 23°C ± 3°C / H.R. = 50% ± 20% / P = 95kPa ± 10kPa
- **CONDICIONES AMBIENTALES DE REFERENCIA:**
  T = 23°C / H.R. = 50 % / P = 101,325kPa
- **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN:**
  ME-512.03-001 Calibración de Sonómetros Según Norma Técnica IEC 61672-3:2006 de Sonómetros.
- **ESPECIFICACIÓN METROLÓGICA APLICADA:**
  Las tolerancias aplicadas son las establecidas en la Norma IEC 61672-3:2006 de Sonómetros. Dichas tolerancias son las indicadas para el grado de precisión del instrumento Clase 2.
- **PATRONES UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN:**
  Los patrones utilizados garantizan su trazabilidad a través de Laboratorios nacionales acreditados por el INN o por Laboratorios internacionales acreditados. La trazabilidad de las medidas efectuadas se refiere a nuestros patrones de referencia calibrados periódicamente con los patrones de los laboratorios de Brüel & Kjaer.
- **RESUMEN DE RESULTADOS:**

Apartado de la especificación metrológica (Ref. IEC 61672-3:2006)		Resultado
Indicación a la frecuencia de comprobación de la calibración (Apartado 9)		POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales acústicas (Apartado 11)	Ponderación frecuencial A	N/A
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales eléctricas (Apartado 12)	Ponderación frecuencial A	POSITIVO
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
	Ponderación frecuencial lineal	N/A
	Ponderación frecuencial Z	POSITIVO
Ponderaciones temporales y frecuenciales a 1 kHz (Apartado 13)	Ponderaciones frecuenciales	POSITIVO
	Ponderaciones temporales	POSITIVO
Linealidad de nivel en el margen de nivel de referencia (Apartado 14)		POSITIVO
Linealidad de nivel incluyendo el selector de márgenes de nivel (Apartado 15)		N/A
Respuesta a tren de ondas (Apartado 16)	Ponderación temporal Fast	POSITIVO
	Ponderación temporal Slow	POSITIVO
	Nivel promediado en el tiempo	POSITIVO
Nivel de sonido con ponderación C de pico (Apartado 17)		N/A
Indicación de sobrecarga (Apartado 18)		POSITIVO

- Resultado **POSITIVO** significa que el instrumento cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **NEGATIVO** significa que el instrumento no cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **N/A** significa que el ensayo no es aplicable al instrumento.

- **INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA PARA LA CALIBRACIÓN**

INSTRUMENTO	MARCA	MODELO	Nº SERIE	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	CALIBRADO POR
Generador de funciones	STANDFORD	DS360	88431	2016-3605	DTS
Generador Multifrecuencia	BRUEL & KJAER	4226	2692339	CAS-140788-X5Y9G2-902	BRÜEL&KJAER North America Inc
Multimetro Digital	AGILENT TECHNOLOGIES	3458°	MY45044808	D-K-15155-01-00	UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
Módulo de presión Barométrica	ALMEMO	FD A612-SA	9040332	D-K-15211-01-00	ENAER
Termohigrómetro	ALMEMO	FH A646-E1	09070450	D-K-15211-01-00	ENAER

LABCAL – ISP

Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PERIÓDICA

Código: SON20170075
Página 1 de 6 páginas

FABRICANTE SONÓMETRO	: ABSENTIA
MODELO SONÓMETRO	: CAPTA
NÚMERO SERIE SONÓMETRO	: 007
MARCA MICRÓFONO	: MINIDSP
MODELO MICRÓFONO	: PMIK-1
NÚMERO SERIE MICRÓFONO	: 1007
FECHA CALIBRACIÓN	: 08/08/2017
CLIENTE	: ABSENTIA SPA

Juan Carlos Valenzuela Illanes Técnico de Calibración	
Juan Carlos Valenzuela Illanes Director Técnico	

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Anexo a este Certificado de Calibración se adjuntan los valores nominales de los resultados de la calibración, junto con las tolerancias establecidas en la especificación metrológica aplicada. Se incluye además, una tabla resumen con el resultado de contrastar dichas tolerancias con los resultados, teniendo en cuenta la incertidumbre de medida. La tabla no supone la conformidad del instrumento con respecto a la especificación metrológica, tan sólo con los apartados de dicha especificación metrológica.

Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones, aplicando únicamente al instrumento sometido a ensayo. Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo expide.

Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile
Marathón 1000 – Ñuñoa – Santiago – Chile.
Tel.: (56 – 2) 2575 55 61.
www.ispch.cl

- **CONDICIONES AMBIENTALES DE MEDIDA:**
  T = 23°C ± 3°C / H.R. = 50% ± 20% / P = 95kPa ± 10kPa
- **CONDICIONES AMBIENTALES DE REFERENCIA:**
  T = 23°C / H.R. = 50 % / P = 101,325kPa
- **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN:**
  ME-512.03-001 Calibración de Sonómetros Según Norma Técnica IEC 61672-3:2006 de Sonómetros.
- **ESPECIFICACIÓN METROLÓGICA APLICADA:**
  Las tolerancias aplicadas son las establecidas en la Norma IEC 61672-3:2006 de Sonómetros. Dichas tolerancias son las indicadas para el grado de precisión del instrumento Clase 2.
- **PATRONES UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN:**
  Los patrones utilizados garantizan su trazabilidad a través de Laboratorios nacionales acreditados por el INN o por Laboratorios internacionales acreditados. La trazabilidad de las medidas efectuadas se refiere a nuestros patrones de referencia calibrados periódicamente con los patrones de los laboratorios de Brüel & Kjaer.
- **RESUMEN DE RESULTADOS:**

Apartado de la especificación metrológica (Ref. IEC 61672-3:2006)		Resultado
Indicación a la frecuencia de comprobación de la calibración (Apartado 9)		POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales acústicas (Apartado 11)	Ponderación frecuencial A	N/A
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales eléctricas (Apartado 12)	Ponderación frecuencial A	POSITIVO
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
	Ponderación frecuencial lineal	N/A
	Ponderación frecuencial Z	POSITIVO
Ponderaciones temporales y frecuenciales a 1 kHz (Apartado 13)	Ponderaciones frecuenciales	POSITIVO
	Ponderaciones temporales	POSITIVO
Linealidad de nivel en el margen de nivel de referencia (Apartado 14)		POSITIVO
Linealidad de nivel incluyendo el selector de márgenes de nivel (Apartado 15)		N/A
Respuesta a tren de ondas (Apartado 16)	Ponderación temporal Fast	POSITIVO
	Ponderación temporal Slow	POSITIVO
	Nivel promediado en el tiempo	POSITIVO
Nivel de sonido con ponderación C de pico (Apartado 17)		N/A
Indicación de sobrecarga (Apartado 18)		POSITIVO

- Resultado **POSITIVO** significa que el instrumento cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **NEGATIVO** significa que el instrumento no cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado N/A significa que el ensayo no es aplicable al instrumento.

- **INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA PARA LA CALIBRACIÓN**

INSTRUMENTO	MARCA	MODELO	Nº SERIE	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	CALIBRADO POR
Generador de funciones	STANDFORD	DS360	88431	2016-3605	DTS
Generador Multifrecuencia	BRUEL & KJAER	4226	2692339	CAS-140788-X5Y9G2-902	BRÜEL&KJAER North America Inc.
Multimetro Digital	AGILENT TECHNOLOGIES	3458*	MY45044808	D-K-15155-01-00	UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
Módulo de presión Barométrica	ALMEMO	FD A612-SA	9040332	D-K-15211-01-00	ENAER
Termohigrómetro	ALMEMO	FH A646-E1	09070450	D-K-15211-01-00	ENAER

Anexo 2: Resumen recomendaciones regulación danesa S.O.1284/11

Esta sección, es una traducción de la regulación danesa definida por la Orden Legal 1284 (S.O. 1284)[11], confeccionada por el equipo consultor. Se realizó una traducción de las partes de la normativa que aplicaban para este estudio, por lo cual, se dejó fuera la metodología para aerogeneradores *offshore*, determinación de exposición de ruido L_r, entre otros.

A2.1 Reglas generales para medir la emisión de ruido de aerogeneradores

A2.1.1 Posición de medición para aerogeneradores onshore

- Medir en un punto sotavento (leeward /downwind) para diferentes niveles de potencia eléctrica producida por el aerogenerador.
- Las mediciones deben tomarse a una distancia R desde la base del aerogenerador, no debe tener una desviación mayor al 20% respecto a la distancia R_0 (ver Figura 22). La desviación de R_0 no debe sobrepasar una distancia de ± 30 metros. $R_0 =$ altura de buje (h) + radio del rotor (d/2).
- La posición del micrófono debe ser en dirección del viento desde el eje del aerogenerador, no debe desviarse más que ±15° de la dirección del viento.
- Basándose en las mediciones, se debe determinar el espectro de referencia en ponderación A, para velocidades de viento de 6 y 8 m/s, respectivamente.

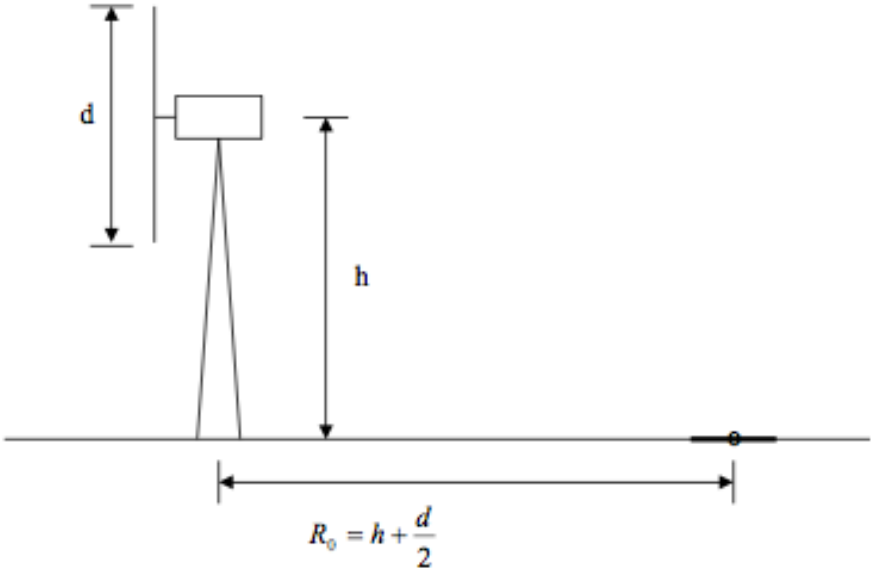


Figura A2.1. Esquema de distancia de medición de potencia acústica. Fuente: [11].

Por otra parte, con el fin de eliminar el ruido del viento en el micrófono, se fija media pantalla antiviento al micrófono, el cual se posiciona directamente sobre una placa circular reflectora sobre el suelo. La placa circular debe un diámetro mínimo de 1 metro. El viento puede producir ruido de fondo muy alto en bajas frecuencia, por lo cual, se debe utilizar una pantalla antiviento secundaria hemisférica, de entre 40 a 50 cm de diámetro como mínimo, localizada en forma concéntrica sobre el micrófono y la pantalla de viento primaria. Si se utiliza una pantalla secundaria, se debe corregir la atenuación en de 1/3 de bandas de octava.

A2.1.2 Medición de espectro y velocidad de viento

- Se mide sonido espectral en bandas de 1/3 de octava en ponderación A, para un rango de frecuencias que incluya, como mínimo, las bandas desde 20 a 10.000 Hz.
- Un cierto número de espectros deben medirse en periodos de 10 o 60 segundos.
- Para el mismo periodo, se registra el promedio de potencia eléctrica producida por el aerogenerador y la velocidad de viento a la altura de buje junto con la velocidad a 10 metros de altura en alguna posición cercana al aerogenerador, en la que, tanto

como el aerogenerador u otros objetos en el área, no afecten la medición de viento (ojalá delante del aerogenerador).

a) Cálculos para la velocidad del viento

- Cuando la potencia eléctrica promedio es menor que 0.95 veces su potencia nominal, la velocidad de viento v_h (a la altura de buje), puede ser calculada a partir de la curva de potencia del aerogenerador. La velocidad de viento v_{ref} a una altura de 10 metros bajo condiciones de referencia puede ser determinada usando la ecuación 1.
- Para salidas de potencia eléctrica más altas, la velocidad del viento v_h es determinada utilizando el anemómetro incorporado en la altura de buje del aerogenerador, y la velocidad del viento v_{ref} es determinada utilizando la ecuación 1.
- Si para casos excepcionales, la curva de potencia del aerogenerador es desconocida, o cuando el aerogenerador ha sido detenido debido a mediciones de ruido de fondo, la velocidad del viento es determinada utilizando el anemómetro a una altura de al menos 10 metros. Para este caso, la velocidad del viento v_{ref} es determinada utilizando la ecuación 2.
- Basado en todas las mediciones, cuando el aerogenerador se encuentra en operación con una potencia promedio menor a 0.95 veces la potencia nominal, la correlación entre las tres (3) medidas diferentes de velocidad del viento, se establece la siguiente razón: para cada periodo de medición de 10 o 60 segundos, entre la velocidad del viento basada en la curva de potencia y las dos (2) mediciones separadas de viento, finalmente se obtiene la razón promedio para todas las razones por cada uno de los dos anemómetros.
- Las razones promedio, deben ser multiplicadas con las mediciones de viento v_h, cuando la potencia promedio es mayor que 0.95 veces la potencia nominal.
- Cuando los aerogeneradores han sido detenidos para medir ruido de fondo, las razones promedio se deben multiplicar con las mediciones de viento a una altura de al menos 10 metros.
- Una copia de la curva de potencia debe formar parte del reporte sobre la medición de potencia acústica. Debido a que la curva de potencia del aerogenerador es

utilizada para establecer la correlación entre la potencia producida y la velocidad del viento.

b) Mediciones de espectro

Tiempo promedio 10s: Mínimo de 30 espectros para v_{ref} (10m altura), dentro de un rango de $5.5 \leq v_{ref} \leq 6.5$ m/s y mínimo de 30 espectros para un rango de $7.5 \leq v_{ref} \leq 8.5$ m/s.

Tiempo promedio de 60s: Proporcionalmente menos espectros para cada uno de los rangos de v_{ref}.

Un mínimo de 12 espectros (para un periodo de 10 segundos) debe caer dentro de los siguientes cuatro rangos de v_{ref}:

1) $5.5 \leq v_{ref} \leq 6.0$ m/s.
2) $6.0 \leq v_{ref} \leq 6.5$ m/s.
3) $7.5 \leq v_{ref} \leq 8.0$ m/s.
4) $8.0 \leq v_{ref} \leq 8.5$ m/s.

Por otra parte, el espectro de referencia para cada banda de 1/3 (o 1/1) de octava en ponderación A, para las velocidades de 6 y 8 m/s, respectivamente, es determinado como el promedio energético de los niveles de presión medidos para v_{ref}, dentro de los rangos especificados alrededor de 6 y 8 m/s, respectivamente.

$$v_{ref} = v_h \frac{\ln \frac{z_{ref}}{z_{0ref}}}{\ln \frac{h}{z_{0ref}}} \quad (1)$$

Donde:
h es la altura de buje del aerogenerador (en metros).
z_{0ref} es la aspereza de referencia de 0.05 metros.
z_{ref} es la altura de referencia de 10 metros.

Además, si la velocidad del viento es medida a una altura z, la correlación entre v_{ref} y v_z se muestra en la ecuación (2).

$$v_{ref} = v_z \frac{\ln \frac{z_{ref}}{z_{0ref}} \ln \frac{h}{z_0}}{\ln \frac{h}{z_{0ref}} \ln \frac{z}{z_0}} \quad (2)$$

Donde:

z es la altura del anemómetro (en metros).

z_0 es la aspereza del terreno del punto de medición, el cual se debe estimar según lo indicado en la tabla 15.

Tabla A2.1. Aspereza de diferentes tipos de terrenos. Fuente: [11]

Tipo de terreno	Aspereza z_0 (m)
Agua, nieve, arena	0,0001
tierra abierta y plana, terreno libre, pasto	0,01
Plantaciones con vegetación	0,05
Áreas residenciales, pueblos pequeños, áreas con vegetación densa y alta	0,3

A2.1.3 Corrección por ruido de fondo

Cuando el aerogenerador está detenido, el ruido de fondo es medido con un número equivalente de espectros y dentro de los mismos rangos de velocidad de viento indicados anteriormente. La velocidad del viento es medida utilizando un anemómetro a la altura de al menos 10 metros, y la velocidad de viento v_{ref} es calculada utilizando la ecuación (2).

El valor de energía promedio del espectro de ruido de fondo medido, es determinado a 6 y 8 m/s, respectivamente, y utilizando para corregir el espectro y referencia del aerogenerador.

Además, se deben corregir los niveles de presión sonora L_{Aref} en cada banda de 1/3 (o 1/1) de octava en el espectro de referencia, utilizando la ecuación (3).

Si el nivel de presión sonora en el espectro de referencia no es al menos 3 dB más alto que el nivel de presión sonora del ruido de fondo, la corrección por el ruido de fondo debe ser limitada a 3 dB.

El nivel L_{Aeq} total promediado para el ruido de fondo debe ser al menos 6 dB más bajo que el nivel total L_{Aeq} del ruido del aerogenerador. Si este no es el caso, una nueva medición debe ser llevada a cabo, cuando el ruido de fondo es más bajo. Sin embargo, para inspección del impacto de ruido, mediciones en que la diferencia entre el ruido total y el ruido de fondo es menor a 6 dB, pueden ser usadas siempre y cuando el nivel de ruido calculado después de corregir por ruido de fondo de -1,3 dB es no mayor que los valores límites.

$$L_{Aref,k} = 10\log\left(10^{\frac{L_{Aref}}{10}} - 10^{\frac{L_{A,b}}{10}}\right) \quad (3)$$

Donde:
$L_{Aref,k}$ es el nivel de presión sonora de referencia corregido en bandas de 1/3 (o 1/1) de octava.
$L_{A,b}$ es el nivel de presión sonora del ruido de fondo promedio en bandas de 1/3 (o 1/1) de octava.

Luego, el nivel de potencia acústica del aerogenerador L_{WAref} en bandas de 1/3 (o 1/1) de octava, puede ser calculado mediante la ecuación que se muestra a continuación:

$$L_{WAref} = L_{Aref} + 10\log 4\pi(R^2 + h^2) - 6dB \quad (4)$$

Donde:
$6dB$ es una corrección debido a medir cerca de una superficie reflectante sobre el suelo.
R es la distancia de medición entre el micrófono y la base del aerogenerador.

El método descrito cumple con la normativa IEC 61400-11 [22], y las mediciones llevadas a cabo acorde a esta norma, pueden ser usadas como base para la determinación de L_{WAref}.

A2.2 Determinación del nivel de presión sonora L_{pA}

En un punto, por ejemplo, cercano a un vecino, el nivel de presión sonora en bandas de 1/3 (o 1/1) de octava asociado a un aerogenerador, a una altura de 1,5 metros, se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$L_{pA} = L_{WAref} - 10\log(l^2 + h^2) - 11dB + \triangle L_g - \triangle L_a \quad (5)$$

Donde:

l es la distancia de la base del aerogenerador al punto de cálculo.

$11dB$ es la corrección por distancia, $10\ x\ \log 4\pi$.

$\triangle L_g$ es la corrección por efectos del suelo (1,5 dB y 3 dB para aerogeneradores *onshore* y *offshore*, respectivamente).

$\triangle L_a$ es la absorción del aire, $\left(\alpha_a x\sqrt{l^2+h^2}\right)$, donde el coeficiente de absorción α_a se muestra en las siguientes tablas.

Los calculados para bandas de 1/3 (o 1/1) de octava, se hacen desde los 50-10.000 Hz (63-8.000 Hz).

Tabla A2.2. Coeficiente de absorción del aire para bandas de 1/1 octava a una humedad relativa del 80% y una temperatura del aire de 10°C. Fuente: [11].

Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
α_a en dB/km	0,11	0,38	1,02	2,0	3,6	8,8	29,0	104,5

Tabla A2.3. Coeficiente de absorción del aire para bandas de 1/3 octava a una humedad relativa del 80% y una temperatura del aire de 10°C. Fuente: [11].

Frecuencia (Hz)	50	63	80	100	125	160	200	250	315
α_a en dB/km	0,07	0,11	0,17	0,26	0,38	0,55	0,77	1,02	1,3
Frecuencia (Hz)	**400**	**500**	**630**	**800**	**1000**	**1250**	**1600**	**2000**	**2500**
α_a en dB/km	1,6	2,0	2,4	2,9	3,6	4,6	6,3	8,8	12,6
Frecuencia (Hz)	**3150**	**4000**	**5000**	**6300**	**8000**	**10000**	**-**	**-**	**-**
α_a en dB/km	18,8	29,0	43,7	67,2	105	157	-	-	-

Un factor de seguridad se puede incorporar, así los valores altos de la potencia acústica de la fuente L_{WAref}.se utilizan para los cálculos en vez de los mostrados en los reportes de medición. El nivel de presión sonora total en ponderación A (L_{pAtot}) en el punto de cálculo, se obtiene al incorporar el nivel de presión sonora $L_{pA,i}$ en cada banda de 1/3 (o 1/1) de octava:

$$L_{pAtot} = 10\log\sum 10^{\frac{L_{pA,i}}{10}} \qquad (6)$$

La incertidumbre de calcular el nivel de presión sonora L_{pAtot} con este método es de ±2 dB.

Anexo 3: Análisis comparativo entre regulación danesa S.O.1284/11 e ISO-9613

En esta sección, se describen los modelos de propagación de ruido de la regulación danesa [11] e ISO-9613 [25][26] y luego se realiza un análisis comparativo entre los niveles de ruido obtenidos en cada parque y la estimación de los niveles de presión sonora utilizando la regulación danesa [11] e ISO-9613 [25][26].

A 3.1: Modelo propagación ISO-9613

La fórmula para la proyección de la propagación del sonido emitido por fuentes de ruido, está dada por:

$$Lp = Lw + K0 - Dc - Adiv - Aatm - Agr - Afol - Ahous - Abar - Cmet - RL \quad (7)$$

donde:

Lp=Nivel de presión sonora en la posición del receptor (dB o dBA)
Lw=Nivel de potencia sonora de cada fuente de ruido (dB)
K0= Índice de directividad de la fuente (dB)
Dc=Corrección por directividad de la fuente (dB)
Aatm=Atenuación debido a la absorción atmosférica (dB)
Agr=Atenuación debido a los efectos del suelo (dB)
Afol= Atenuación debido a efectos de la vegetación (dB)
Ahous= Atenuación debido a edificaciones (dB)
Abar=Atenuación debido a barreras (dB)
Cmet= Corrección por efectos meteorológicos (dB)
RL= Pérdida por reflexión (dB)

Por otra parte, cabe señalar que ISO-9613 considera viento de 3 (m/s) a favor de la propagación de sonido y presenta grandes complejidades para modelar fuentes de ruido en Alturas mayores a 30 metros [39].

Además, el método establece un margen de error de ±3 dB para distancias entre 100 y 1000m (distancias comunes de cálculo de propagación para parques eólicos).

A 3.2: Modelo propagación regulación danesa S.O.1284/11

La fórmula para la proyección de la propagación del sonido emitido por un aerogenerador, está dada por:

$$L_{pA} = L_{WAref} - 10\log(l^2 + h^2) - 11dB + \triangle L_g - \triangle L_a \quad (8)$$

Donde:
L_{pA} es el nivel de presión sonora en la posición del receptor (dBA).
L_{WAref} es el nivel de potencia acústica del aerogenerador, el cual se obtiene a través de mediciones de ruido in situ, acorde a lo descrito en el anexo 2 de este informe.
l es la distancia de la base del aerogenerador al punto de cálculo.
$11dB$ es la corrección por distancia, $10\ x\ \log 4\pi$.
$\triangle L_g$ es la corrección por efectos del suelo (1,5 dB y 3 dB para aerogeneradores *onshore* y *offshore*, respectivamente).
$\triangle L_a$ es la absorción del aire.

Cabe destacar, que L_{WAref} se obtiene a través de mediciones de ruido in situ, las cuales se deben realizar para diferentes velocidades de viento, que oscilan entre 5,5 y 8,5 m/s.

Además, el método establece un margen de error de ±2 dB.

A 3.3: Análisis comparativo niveles de ruido medidos y proyectados

A continuación, se presenta una comparación entre los niveles de ruido medidos y calculados con la regulación danesa [11] e ISO-9613 [25][26] para cinco (5) parques eólicos. En las siguientes tablas, se presentan los resultados obtenidos para cada parque eólico. Las velocidades indicadas, son las que se tenían cuando se realizó la medición de ruido a altura de buje, además, se expresa la regulación danesa con la abreviatura S.O. e ISO-9613 como ISO.

Cabe destacar que todas las proyecciones con ISO fueron realizadas asumiendo una temperatura de 10°C, una humedad relativa del 70%, una absorción del suelo G=0,5 y una

altura de inmisión de 4 metros. Además, se realizaron proyecciones para velocidades de 6, 7, 8, 9 y 10 m/s. En adición, para estimar la potencia acústica de los aerogeneradores, se utilizó la base de datos del software WindPRO [40], con excepción del parque eólico 5, que se utilizó la potencia acústica calculada según la metodología de la S.O. Respecto a las proyecciones con S.O., se realizaron para una velocidad de 8 m/s. Finalmente, para las mediciones realizadas en terreno, indicadas como NPSmed, se seleccionaron las que hayan sido a velocidades cercanas a los 8 m/s para cada parque eólico y para cada distancia de referencia.

Tabla A3.1. Comparación niveles de ruidos medidos y proyectados.

Parque	Distancia (m)	Velocidad medida (m/s)	NPSmed (dBA)	S.O. (dBA)	ISO (dBA)	S.O. – NPS (dBA)	ISO – NPS (dBA)
PE1	250	7,3	42,1	45,6	45,0	**3,5**	**2,9**
PE1	500	7,7	40,8	40,1	44,9	**-0,7**	**4,1**
PE1	750	8,5	40,8	36,6	41,3	**-4,2**	**0,5**
PE1	500	8,5	39,5	40,1	46,1	**0,6**	**6,6**
PE2	250	8,0	48,1	53,3	51,2	**5,2**	**3,1**
PE2	500	8,0	44,6	47,7	45,6	**3,1**	**1**
PE2	750	8,3	45,9	44,2	43,4	**-1,7**	**-2,5**
PE2	500	9,6	48,9	47,7	47,4	**-1,2**	**-1,5**
PE4	500	7,0	47,0	48,2	46,0	**1,2**	**-1**
PE4	750	7,0	50,5	44,7	42,4	**-5,8**	**-8,1**
PE5	500	8,2	39,5	38,9	43,2	**-0,6**	**3,7**
PE5	750	9,2	40,4	35,4	42,3	**-5**	**1,9**
PE5	250	9,2	43,3	44,6	48,9	**1,3**	**5,6**
PE6	250	6,3	41,2	46,2	46,5	**5**	**5,3**
PE6	500	8,0	45,8	40,6	45,6	**-5,2**	**-0,2**

Al analizar la Tabla A3.1, se puede apreciar que tanto la S.O. como la ISO, subestiman los niveles de ruido para grandes distancias (sobre 500m). Esto se puede atribuir a que las proyecciones con ISO no incorpora una corección por ruido de fondo (a diferencia de la S.O.), el cual puede aportar a los niveles medidos en estos puntos. Por otra parte, para distancias de

500m o menos, ambos códigos tienden a sobreestimar los niveles de ruido proyectados. En este caso particular, se apreció que S.O. subestimó más niveles de ruido que ISO, sin embargo, las diferencias más altas entre los niveles medidos y proyectados las entrego ISO, con un margen de error de 8,1 dBA para una distancia de 750m. En términos generales, para este caso en particular, se aprecia que ISO, con las consideraciones indicadas anteriormente, presenta un margen de error de ±3 dBA para el 53% de los casos, mientras que S.O. presenta un margen de error de 3 dBA para el 46% de los casos.

Por lo anterior, se puede concluir que para este caso de estudio, ambos códigos presentan un margen de error similar, donde las mayores diferencias entre los niveles proyectados y medidos están en las grandes distancias (sobre 500m). Para distancias de menos de 500m, ambos códigos tienden a sobrestimar los niveles proyectados.

Anexo 4: Criterios para el protocolo de cálculo de niveles de presión sonora en parques eólicos utilizando ISO-9613

Como se mencionó anteriormente, la normativa chilena actual para evaluar el impacto acústico de un parque eólico (D.S. 38/11 del MMA [16]), establece el uso de la ISO-9613 [25][26] para la modelación de ruido.

Por lo anterior, el equipo consultor ha propuesto ciertos criterios para el protocolo de cálculo de niveles de presión sonora en parques eólicos, utilizando la normativa ISO-9613 [25][26].

Los criterios, se detallan a continuación, y están basados en las recomendaciones del Institute of Acoustics [23], los resultados obtenidos en el Anexo 3 de este informe y las recomendaciones entregadas por *Parra et al.* el 2017 [38]:

1. La ecuación (9) de ISO 9613-2 [26] se debe utilizar para calcular los efectos del suelo. Si no se tiene datos de espectro representativos, se recomienda utilizar Agr = -3 dB y la absorción del aire correspondiente a la banda de octava de 250 Hz.
2. NO se recomienda utilizar un factor de suelo G=1 (suelo blando).
3. Con la excepción de propagación sobre largas superficies de agua o zonas urbanas, se recomienda utilizar un factor de suelo de G=0,5 (suelo mixto), en combinación con niveles de emisión que incluyan un margen de incertidumbre.
4. El receptor debe estar a una altura de 4 m, con condiciones atmosféricas de 10°C y una humedad relativa del 70%.
5. Efectos de apantallamiento topográfico del terreno (ecuación (12) de la ISO-9613-2 [26]), se debe limitar a una reducción de no más de 2 dB y sólo si no existe una línea directa entre la altura de buje y el punto receptor.
6. Una corrección de +3 dB se debe incorporar al nivel de sonido global en ponderación “A” calculado, por propagación a través de perfiles de suelo concavos.

Para distancias superiores a 500m, ISO 9613 tiende a subestimar los niveles de ruido proyectados, por lo que se debe considerar un margen de error especial, dependiendo de cada caso y la distancia de interés entre el aerogenerador y el punto receptor.

Cabe destacar, que estas recomendaciones sólo aplican para parques eólicos *onshore*.

Anexo 5: Registro de datos

Adjunto a este informe, se entregan los siguientes archivos en formato .xlsx:

1) PE1_01_MC1M_VF.xlsx.
2) PE1_01_MC10M_VF.xlsx.
3) PE1_02_MC1M_VF.xlsx.
4) PE1_02_MC10M_VF.xlsx.
5) PE2_01_MC1M_VF.xlsx.
6) PE2_01_MC10M_VF.xlsx.
7) PE2_02_MC1M_VF.xlsx.
8) PE2_02_MC10M_VF.xlsx.
9) PE3_01_MC1M_VF.xlsx.
10) PE3_01_MC10M_VF.xlsx.
11) PE3_02_MC1M_VF.xlsx.
12) PE3_02_MC10M_VF.xlsx.
13) PE4_01_MC1M_VF.xlsx.
14) PE4_01_MC10M_VF.xlsx.
15) PE4_02_MC1M_VF.xlsx.
16) PE4_02_MC10M_VF.xlsx.
17) PE5_01_MC1M_VF.xlsx.
18) PE5_01_MC10M_VF.xlsx.
19) PE5_02_MC1M_VF.xlsx.
20) PE5_02_MC10M_VF.xlsx.
21) PE6_01_MC1M_VF.xlsx.
22) PE6_01_MC10M_VF.xlsx.
23) PE6_02_MC1M_VF.xlsx.
24) PE6_02_MC10M_VF.xlsx.
25) PE_MC10M_VF.xlsx.
26) PE1_MD1_VF.xlsx.
27) PE1_MD2_VF.xlsx.
28) PE1_MD3_VF.xlsx.
29) PE1_MD4_VF.xlsx.

30) PE1_RF1_VF.xlsx.
31) PE1_RF2_VF.xlsx.
32) PE2_MD1_VF.xlsx.
33) PE2_MD2_VF.xlsx.
34) PE2_MD3_VF.xlsx.
35) PE2_MD4_VF.xlsx.
36) PE2_RF1_VF.xlsx.
37) PE2_RF2_VF.xlsx.
38) PE3_MD1_VF.xlsx.
39) PE3_MD2_VF.xlsx.
40) PE3_MD3_VF.xlsx.
41) PE3_MD4_VF.xlsx.
42) PE3_RF1_VF.xlsx.
43) PE3_RF2_VF.xlsx.
44) PE4_MD1_VF.xlsx.
45) PE4_MD2_VF.xlsx.
46) PE4_MD3_VF.xlsx.
47) PE4_MD4_VF.xlsx.
48) PE4_RF1_VF.xlsx.
49) PE4_RF2_VF.xlsx.
50) PE5_MD1_VF.xlsx.
51) PE5_MD2_VF.xlsx.
52) PE5_MD3_VF.xlsx.
53) PE5_MD4_VF.xlsx.
54) PE5_RF1_VF.xlsx.
55) PE5_RF2_VF.xlsx.
56) PE6_MD1_VF.xlsx.
57) PE6_MD2_VF.xlsx.
58) PE6_MD3_VF.xlsx.
59) PE6_MD4_VF.xlsx.
60) PE6_RF1_VF.xlsx.
61) PE6_RF2_VF.xlsx.
62) PE1_MRAE1_VF.xlsx.

63) PE1_MRAE2_VF.xlsx.
64) PE1_MRAE3_VF.xlsx.
65) PE2_MRAE1_VF.xlsx.
66) PE2_MRAE2_VF.xlsx.
67) PE2_MRAE3_VF.xlsx.
68) PE3_MRAE1_VF.xlsx.
69) PE4_MRAE1_VF.xlsx.
70) PE4_MRAE2_VF.xlsx.
71) PE4_MRAE3_VF.xlsx.
72) PE5_MRAE1_VF.xlsx.
73) PE5_MRAE2_VF.xlsx.
74) PE6_MRAE1_VF.xlsx.
75) PE6_MRAE2_VF.xlsx.
76) PE6_MRAE3_VF.xlsx.

La descripción y estructura de cada archivo, se ha detallado en la sección 6 de este informe.

Anexo 6: Grabaciones de audio de aerogeneradores

Adjunto a este informe, se entregan los siguientes archivos en formato .wav:

1) PE2_GAA_250m_Binaural.wav

Corresponde a una grabación binaural del parque eólico 2, a 250m de distancia desde el aerogenerador más cercano.

2) PE5_GAA_750m.wav

Corresponde a una grabación de audio del parque eólico 5, a 750m de distancia desde el aerogenerador más cercano.

Además, se adjuntan 450 archivos de audio en formato .wav, que corresponde a todo un día de medición del parque eólico 3 a 250m de distancia.

Anexo 7: Registro fotográfico

Adjunto a este informe, se entregan los siguientes archivos en formato .jpg:

1) PE1_F1.jpg.
2) PE1_F2.jpg.
3) PE1_F3.jpg.
4) PE1_F4.jpg.
5) PE1_F5.jpg.
6) PE1_F6.jpg.
7) PE1_F7.jpg.
8) PE1_F8.jpg.
9) PE1_F9.jpg.
10) PE1_F10.jpg.
11) PE1_F11.jpg.
12) PE1_F12.jpg.
13) PE1_F13.jpg.
14) PE1_F14.jpg.
15) PE1_F15.jpg.
16) PE1_F16.jpg.
17) PE2_F1.jpg.
18) PE2_F2.jpg.
19) PE2_F3.jpg.
20) PE2_F4.jpg.
21) PE2_F5.jpg.
22) PE2_F6.jpg.
23) PE2_F7.jpg.
24) PE2_F8.jpg.
25) PE2_F9.jpg.
26) PE2_F10.jpg.
27) PE2_F11.jpg.
28) PE3_F1.jpg.
29) PE3_F2.jpg.

30) PE3_F3.jpg.
31) PE3_F4.jpg.
32) PE3_F5.jpg.
33) PE3_F6.jpg.
34) PE3_F7.jpg.
35) PE3_F8.jpg.
36) PE3_F9.jpg.
37) PE3_F10.jpg.
38) PE3_F11.jpg.
39) PE4_F1.jpg.
40) PE4_F2.jpg.
41) PE4_F3.jpg.
42) PE4_F4.jpg.
43) PE4_F5.jpg.
44) PE4_F6.jpg.
45) PE4_F7.jpg.
46) PE4_F8.jpg.
47) PE4_F9.jpg.
48) PE4_F10.jpg.
49) PE4_F11.jpg.
50) PE4_F12.jpg.
51) PE4_F13.jpg.
52) PE4_F14.jpg.
53) PE4_F15.jpg.
54) PE4_F16.jpg.
55) PE4_F17.jpg.
56) PE4_F18.jpg.
57) PE5_F1.jpg.
58) PE5_F2.jpg.
59) PE5_F3.jpg.
60) PE5_F4.jpg.
61) PE5_F5.jpg.
62) PE5_F6.jpg.

63) PE5_F7.jpg.
64) PE5_F8.jpg.
65) PE5_F9.jpg.
66) PE5_F10.jpg.
67) PE5_F11.jpg.
68) PE5_F12.jpg.
69) PE5_F13.jpg.
70) PE5_F14.jpg.
71) PE5_F15.jpg.
72) PE5_F16.jpg.
73) PE5_F17.jpg.
74) PE5_F18.jpg.
75) PE5_F19.jpg.
76) PE5_F20.jpg.
77) PE6_F1.jpg.
78) PE6_F2.jpg.
79) PE6_F3.jpg.
80) PE6_F4.jpg.
81) PE6_F5.jpg.
82) PE6_F6.jpg.
83) PE6_F7.jpg.
84) PE6_F8.jpg.
85) PE6_F9.jpg.
86) PE6_F10.jpg.
87) PE6_F11.jpg.
88) PE6_F12.jpg.
89) PE6_F13.jpg.

La nomenclatura PEX_FN indica lo siguiente:

- X indica el número de parque eólico y N el número de foto. Por ejemplo, PE1_F5 corresponde a la foto 5 del parque eólico 1.

Anexo 8: Consideraciones para normativa de ruido de parques eólicos

Como se mencionó anteriormente, el equipo consultor estima necesario confeccionar una normativa específica de ruido de parques eólicos, ya que la metodología de medición de la normativa actual que aplica para evaluar el impacto acústico de este tipo de fuentes (DS-38/11 del MMA [16]), no es la más apropiada para caracterizar de buena forma el impacto acústico generado por parques eólicos. En particular, tanto la metodología de medición, los niveles máximos permisibles que establece y los requisitos mínimos de instrumental que exige no son los más apropiados para evaluar un parque eólico.

Por lo anterior, el equipo consultor propone algunas consideraciones para desarrollar una nueva normativa de ruido de parques eólicos. Para realizar estas recomendaciones, el equipo ha realizado un análisis comparativo entre ciertas normativas internacionales de referencia:

1. Normativa Canadiense [10].
2. Normativa Danesa [11].
3. Normativa Inglesa [12][13].
4. Recomendación Norteamericana [30].
5. Recomendación Institute of Acoustics [23].
6. Normativa Australiana [15].

Cabe destacar, que estas recomendaciones son sólo de carácter técnico y no han sido analizadas desde el punto de vista jurídico.

En la siguiente tabla, se presenta un resumen de las consideraciones principales de cada normativa estudiada, basada en estudios previos de *Montoya et al.* [24] el año 2016.

Tabla A8.1. Principales consideraciones de normativas estudiadas.

Consideración	Australiana	Canadá	Dinamarca	IOA	UK	USA
Máximo nivel, zona rural (dBA)	35 o RF+5	40@4 m/s 45@8 m/s 51@10 m/s	42@6 m/s 44@8 m/s 20@6-8 m/s (BF)	D: RF+5 o límite inferior entre 35-40	D: RF+5 o límite inferior entre 35-40	RF + 10
Máximo nivel, zona residencial (dBA)	40 o RF+5	45@4 m/s 45 @8 m/s 51@10 m/s	37@6 m/s 39@8 m/s 20@6-8 m/s (BF)	N: RF+5 o límite inferior a 43	N: RF+5 o límite inferior a 43	
Descriptor	L90(A)	Leq(A)	Lp(A), tot y Lp(A)BF,tot	L90(A)	L90(A)	L90(A) y Leq(A)
Banda frecuencia	1/1 oct.	1/1 oct.	1/1 o 1/3 oct.	Según JNM	Según JNM	1/1 oct.
Consideración BF	NO	NO	SI	N/E	N/E	N/E
Tipo sonómetro	Clase 2 IEC	N/E	N/E	Clase 1/Tipo 1	Clase 1/Tipo 1	Tipo 1 ANSI
Ubicación medición ruido	Vivienda receptor	Vivienda receptor	Vivienda receptor	Vivienda receptor	Vivienda receptor	Vivienda receptor
Altura medición	1,2-1,5 m.	1,5/4,5 m.	1,5 m.	1,2-1,5 m	1,2-1,5 m.	1-2 m.
Extensión medición ruido	2000 intervalos de 10 min.	N/E	Intervalos de 10 o 60 seg.	14 días mínimo, intervalos 10 min.	14 días, intervalos 10 min.	14 días, intervalos 10 min.
Ubicación medición viento	Parque eólico	N/E	Parque eólico	Parque eólico	Parque eólico	Parque eólico o lugar represen.
Altura medición viento	Altura buje	10 m.	Altura buje y 10 m.	Extrapolado a 10 m.	Extrapolado a 10 m.	Altura buje o 10 m.
Extensión medición viento	2000 intervalos de 10 min.	N/E	N/E	14 días mínimo, int. 10 min.	14 días, intervalos 10 min.	14 días, intervalos 10 min.
Correlación ruido y viento	SI	N/E	N/E	SI	SI	SI
Sanciones (dB)	Tonalidad: 5	Tonalidad: 5	Tonalidad: 5	Tonalidad según gráfico	Tonalidad según gráfico	N/E
Mapa ruido	SI	SI	N/E	N/E	N/E	SI
Método propagación	ISO 9613 o CONCAWE	ISO 9613-2	Propio	ISO 9613-2	ISO 9613-2	ISO 9613-2

Donde:
D: Día.
N: Noche.
BF: Baja frecuencia.
RF: Ruido de fondo.
JNM: Normativa Joint Nordic Method [33].
N/E: No especificado.

Al analizar la tabla anterior, se puede apreciar que las normativas estudiadas consideran lo siguiente:

- Máximo nivel de ruido para zona rural y residencial, que tiene relación con los emplazamientos típicos de los parques eólicos.
- Descriptores acústicos, que varía entre el LA90, LAeq, el LAp total y el LAp en baja frecuencia.
- Mediciones en bandas de frecuencia, que todas recomiendan como mínimo 1/1 oct y algunas 1/3 oct.
- Consideraciones para baja frecuencia (sólo considerado en regulación danesa).
- Tipo de sonómetro para realizar mediciones de ruido.
- Altura, ubicación y extensión de medición de ruido y velocidad del viento.
- Si se debe considerar gráficos de correlación de ruido y viento.
- Si se deben entregar mapas de ruido en conjunto con la evaluación.
- El método de propagación para realizar las simulaciones acústicas del ruido generado por el parque eólico.

Además, se aprecia que existen bastantes diferencias entre algunas normativas y otras. En base a la experiencia de este proyecto, y el análisis comparativo recién mencionado, el equipo consultor estima apropiada las siguientes consideraciones para una nueva normativa de ruido de parques eólicos:

1. Un nivel máximo permisible independiente de la velocidad del viento y del ruido de fondo para el periodo nocturno, con la posibilidad de valores más altos durante el día. Efectos acumulativos surgiendo entre varios parques eólicos en la misma zona, deben cumplir el mismo nivel máximo permisible.

2. Verificación del cumplimiento por mediciones (opción preferida en el caso de un parque eólico en operación) y/o modelación (para un parque que todavía no existe, o en el caso de que la medición de un parque en operación no cumpla el límite aplicable por la influencia del ruido de fondo), dentro del rango de velocidad de viento de 6 a 12 m/s en altura de buje.
3. Descriptor de mediciones: LA90, 10 min para disminuir el impacto de ruidos ocasionales.
4. Bandas de frecuencia: 1/1 octava.
5. Consideración baja frecuencia: NO en una primera instancia.
6. Tipo sonómetro: Clase 1 ó 2 según IEC 61672/1:2002 [34].
7. Tipo calibrador: Clase 1 ó 2 según IEC 60942:2003 [35].
8. Ubicación medición ruido: Predio receptor. Se deben evitar puntos de medición cercanos a árboles, ya que el sonido de follaje puede contaminar la medición.
9. Altura medición de ruido: 1,2-1,5 metros.
10. Extensión medición ruido: Hasta que para cada velocidad de viento (5,5-6,5, 6,5-7,5, 7,5-8,5, 8,5-9,5, 9,5-10,5, 10,5-11,5 y 11,5-12,5 m/s en la altura de buje) se hayan obtenido un mínimo de 20 puntos validos (cada punto se refiere a un periodo de 10 minutos).
11. Ubicación medición viento: Parque eólico.
12. Altura medición viento: Altura buje (obtenido del SCADA, promedio de los aerogeneradores más cercanos).
13. Extensión medición viento: De forma simultánea a la medición de ruido.
14. Gráficos correlación ruido y viento: Sí, con regresión u otro tipo de análisis estadístico que determine un valor “típico” de la nube de puntos para cada velocidad entre 6 y 12 m/s en la altura de buje.
15. Sanciones: Tonalidad (metodología por definir).
16. Mapa de ruido: Sí.
17. Método propagación: ISO 9613[25][26], NORD2000[36] o S.O. 1284/11 [11], con una altura de inmisión de 4 metros y un factor de suelo G=0,5 (Esta configuración presenta las mejores aproximaciones [38]).
18. Protectores antiviento: Especiales para condiciones ventosas, con un diámetro mínimo de 100 mm y una porosidad de 4 a 8 poros cada 10 mm, según lo recomendado por IEC-61400-11 [22].