

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“MODELO PREDICTIVO DE RUIDO EN EL ESTUDIO DE IMPACTO
AMBIENTAL SEMIDETALLADO DE UN PROYECTO
DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

INGENIERO AMBIENTAL

JEAN CARLOS PAUCAR BALDEÓN

Lima – Perú

2023

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

TSP_final_para_tramites

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

12%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	SNC LAVALIN PERU S.A.. "ITS para la Mejora Tecnológica, Ampliación y Modificación de Componentes del EIA-SD para el Proyecto Parque Eólico Punta Lomitas y su Interconexión-IGA0017827", R.D. N° 0149-2021-MINEM/DGAAE, 2022 Publicación	4%
2	nanopdf.com Fuente de Internet	1%
3	www.unistmo.edu.mx Fuente de Internet	<1%
4	issuu.com Fuente de Internet	<1%
5	studylib.es Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.contadorycampos.cl Fuente de Internet	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“MODELO PREDICTIVO DE RUIDO EN EL ESTUDIO DE IMPACTO
AMBIENTAL SEMIDETALLADO DE UN PROYECTO
DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentada por:

JEAN CARLOS PAUCAR BALDEÓN

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Ph. D. Sergio Artemio Pacsi Valdivia
PRESIDENTE

Mg. Sc. Wilfredo Celestino Baldeón Quispe
MIEMBRO

Mg. Sc. Armando Javier Aramayo Bazzetti
MIEMBRO

Mg. Sc. Miguel Angel Quevedo Beltrán
ASESOR

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi madre Carmelita Baldeón, quien me da la fortaleza y motivación para alcanzar mis metas. A mi padre Florencio Paucar, quien nos protege y contempla orgulloso desde el cielo. A mis hermanos, quienes siempre me brindan su apoyo a pesar de la distancia. A mi novia Yadelis Valencia, quien me acompaña y alienta a seguir adelante en todo momento.

Jean Carlos Paucar Baldeón

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Mg. Sc. Miguel Angel Quevedo Beltrán, por el tiempo dedicado en la realización del presente Trabajo de Suficiencia Profesional.

A la compañía SNC-Lavalin, en especial a Fabiana Posadas y Julio Quijano del Equipo de Ciencias del Aire y de la Tierra, por darme la oportunidad de participar en diversos proyectos mineros y energéticos de gran importancia para el país.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMÁTICA	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1.OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. CONCEPTOS BÁSICOS DEL SONIDO.....	4
2.1.1.PROPAGACIÓN DEL SONIDO	4
2.1.2.CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO	5
2.1.3.FENÓMENOS ACÚSTICOS	6
2.1.4.PERCEPCIÓN DEL SONIDO.....	7
2.2. MEDICIÓN DEL SONIDO	9
2.2.1.PARAMETROS DEL NIVEL SONORO.....	9
2.2.2.INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	10
2.2.3.PONDERACIONES	11
2.2.4.INDICADORES O DESCRIPTORES DEL SONIDO.....	12
2.3. INTERACCIÓN ENTRE EL SONIDO Y EL AMBIENTE.....	13
2.3.1.PATRONES DE PROPAGACIÓN DE LA FUENTE	13
2.3.2.INFLUENCIA ATMOSFÉRICA	14
2.3.3.INFLUENCIA DEL SUELO	16
2.3.4.OBSTÁCULOS O BARRERAS ACÚSTICAS	17
2.4. RUIDO Y LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	19
2.4.1.RUIDO AMBIENTAL.....	19
2.4.2.TIPOS DE RUIDO	19
2.5. RUIDO EN LOS PARQUES EÓLICOS	20

2.5.1. RUIDO EN AEROGENERADORES	22
2.5.2. MEDICIÓN DEL RUIDO EN AEROGENERADORES	26
2.5.3. FACTORES QUE CONTRIBUYEN AL RUIDO EN AEROGENERADORES	26
2.6. MODELAMIENTO DE RUIDO EN PARQUES EÓLICOS	27
2.6.1. PREDICCIÓN DEL RUIDO EN AEROGENERADORES	27
2.6.2. PREDICCIÓN DEL RUIDO EN FUENTES RELACIONADAS	28
2.6.3. PREDICCIÓN DE LA PROPAGACIÓN	30
2.6.4. SOFTWARE DE MODELAMIENTO CADNAA	33
2.7. MODELAMIENTO DE RUIDO SUBACUÁTICO	34
2.8. EFECTOS DEL RUIDO EN PARQUES EÓLICOS	35
2.8.1. EFECTOS SOBRE LAS PERSONAS	36
2.8.2. EFECTOS SOBRE LAS VIVIENDAS	37
2.8.3. EFECTOS SOBRE LA FAUNA	37
III. DESARROLLO DEL TRABAJO	39
3.1. GENERALIDADES	39
3.2. PROYECTO DE ESTUDIO	39
3.2.1. COMPONENTES DEL PROYECTO	41
3.2.2. ETAPAS DEL PROYECTO	43
3.2.3. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL SEMIDETALLADO (EIA-sd)	44
3.3. APORTE DEL PROFESIONAL EN EL ESTUDIO	45
3.4. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO REALIZADO	45
3.5. TIPO DE TRABAJO	46
3.6. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA	46
3.6.1. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE RUIDO Y ESCENARIOS	47
3.6.2. INVENTARIO DE EMISIONES DE RUIDO	47
3.6.3. MODELAMIENTO DE LA PROPAGACIÓN SUPERFICIAL	50
3.6.4. MODELAMIENTO DE LA PROPAGACIÓN SUBACUÁTICA	59

3.6.5. PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE CONTROL	59
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
4.1. FUENTES DE RUIDO Y ESCENARIOS	60
4.2. EMISIONES DE RUIDO.....	60
4.2.1. ESCENARIO DE CONSTRUCCIÓN.....	61
4.2.2. ESCENARIO DE OPERACIÓN.....	62
4.3. NIVELES DE RUIDO SUPERFICIAL	63
4.3.1. ESCENARIO DE CONSTRUCCIÓN.....	63
4.3.2. ESCENARIO DE OPERACIÓN.....	70
4.4. NIVELES DE RUIDO SUBACUÁTICO.....	74
4.4.1. ESCENARIO DE CONSTRUCCIÓN.....	74
4.5. PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE CONTROL	76
4.5.1. ESCENARIO DE CONSTRUCCIÓN.....	76
4.5.2. ESCENARIO DE OPERACIÓN.....	79
V. CONCLUSIONES	82
VI. RECOMENDACIONES.....	86
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
VIII. ANEXOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escalas de presión sonora percibidas por el oído humano	8
Tabla 2. Rangos de audición de mamíferos marinos	8
Tabla 3. Tipos de ruido aerodinámico por regiones	25
Tabla 4. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido	36
Tabla 5. Límites máximos de golpes de aire por voladura.....	37
Tabla 6. Umbrales de audición y pérdida de audición en mamíferos marinos	38
Tabla 7. Componentes del Proyecto	41
Tabla 8. Integrantes del equipo.....	45
Tabla 9. Datos técnicos de los componentes operativos	47
Tabla 10. Herramientas a utilizar para la determinación de las emisiones sonoras	48
Tabla 11. Carga explosiva a utilizar en la cimentación de los aerogeneradores	49
Tabla 12. Datos técnicos del ruido en accesos internos	50
Tabla 13. Factores G de absorción del suelo	53
Tabla 14. Fuentes de emisión y datos de ingreso al modelo	56
Tabla 15. Puntos referenciales de evaluación de ruido sobre personas	57
Tabla 16. Puntos referenciales de evaluación del ruido sobre la fauna marina.....	57
Tabla 17. Datos de entrada al modelo de ruido subacuático	59
Tabla 18. Principales fuentes de emisión identificadas por escenario	60
Tabla 19. Estimación de los niveles de ruido emitidos por voladuras	61
Tabla 20. Niveles de ruido emitidos por aerogeneradores	62
Tabla 21. Niveles de ruido emitidos por la subestación Punta Lomitas	62
Tabla 22. Niveles de ruido emitidos en accesos internos.....	63
Tabla 23. Niveles presión sonora pico (Lpico) sobre viviendas - Escenario de construcción.....	64
Tabla 24. Niveles presión sonora pico (Lpico) sobre la fauna marina - Escenario de construcción.....	65

Tabla 25. Niveles presión sonora continuo equivalente (LAeqT) sobre personas - Escenario de construcción	67
Tabla 26. Niveles presión sonora equivalente (LAeqT) sobre personas - Escenario de operación.....	71
Tabla 27. Niveles presión sonora pico (Lpico) subacuático - Escenario de construcción.....	75
Tabla 28. Niveles presión sonora pico (Lpico) sobre viviendas – Aplicación de controles en el escenario de construcción	77
Tabla 29. Niveles presión sonora continuo equivalente (LAeqT) sobre personas - Aplicación de controles en el escenario de construcción.....	78
Tabla 30. Niveles presión sonora equivalente (LAeqT) sobre personas - Aplicación de controles en el escenario de operación	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Propagación de las ondas sonoras.....	4
Figura 2. Reflexión de las ondas sonoras.....	6
Figura 3. Absorción, reflexión y transmisión de las ondas sonoras	7
Figura 4. Sonómetro de clase 1	11
Figura 5. Curvas de ponderación más utilizadas	12
Figura 6. Influencia de la temperatura en la propagación del sonido	15
Figura 7. Influencia del viento en la propagación del sonido	16
Figura 8. Influencia del suelo sobre la atenuación del sonido.....	17
Figura 9. Atenuación de un obstáculo en función de la altura	18
Figura 10. Atenuación de un obstáculo en función de las propiedades del sonido	18
Figura 11. Esquema de distribución de un parque eólico	21
Figura 12. Aerogenerador de eje vertical.....	21
Figura 13. Componentes y funcionalidad de un aerogenerador	22
Figura 14. Componentes y nivel de potencia sonora total de un aerogenerador.....	23
Figura 15. Regiones principales de un aerogenerador.....	24
Figura 16. Factores que contribuyen al ruido en aerogeneradores	27
Figura 17. Regiones para la determinación de la atenuación del suelo	32
Figura 18. Portada del software CadnaA	34
Figura 19. Factores que contribuyen al ruido en aerogeneradores	36
Figura 20. Ubicación general del proyecto	40
Figura 21. Componentes del proyecto	42
Figura 22. Diseño de la metodología	47
Figura 23. Configuraciones generales.....	51
Figura 24. Configuración de la topografía del área de estudio.....	52
Figura 25. Configuración de la dirección del viento	54
Figura 26. Configuración de las fuentes en el software CadnaA	55
Figura 27. Ubicación de puntos referenciales de evaluación	58

Figura 28. Isófonas de niveles de presión sonora pico (L_{pico}) en horario diurno – Escenario de construcción.....	66
Figura 29. Isófonas de niveles de presión sonora equivalente (L_{AeqT}) en horario diurno - Escenario de construcción	69
Figura 30. Isófonas de niveles de presión sonora equivalente (L_{AeqT}) en horario diurno - Escenario de operación	72
Figura 31. Isófonas de niveles de presión sonora equivalente (L_{AeqT}) en horario nocturno - Escenario de operación	73
Figura 32. Propagación del ruido pico (L_{pico}) según el modelo subacuático	76
Figura 33. Isófonas de niveles de presión sonora equivalente (L_{AeqT}) sin controles a y con controles b en horario nocturno - Escenario de operación.....	81
Figura 34. Área de influencia del proyecto	87

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados del inventario de emisiones sonoras y modelamiento de ruido	95
--	----

RESUMEN

El modelo predictivo de ruido del proyecto “Parque Eólico Punta Lomitas y su Interconexión al SEIN” se realizó con la finalidad de estimar los niveles de ruido ambiental superficial y subacuático de las futuras actividades de construcción y operación. La metodología aplicada consistió en la identificación de escenarios y fuentes de emisión sonora, el inventario de emisiones, el modelamiento de ruido superficial y subacuático, y el planteamiento de medidas de control. Las principales fuentes de emisión de ruido son las voladuras en el escenario de construcción, así como el funcionamiento de los aerogeneradores, la subestación Punta Lomitas y los accesos internos en el escenario de operación. El máximo nivel de presión sonora pico (L_{pico}) generado por voladuras fue de 141.9 dBC en el escenario de construcción, y los máximos niveles de potencia sonora (L_w) fueron de 107.8 dBA en los aerogeneradores y de 113.4 dBA en la subestación Punta Lomitas en el escenario de operación. El modelo predictivo de ruido superficial determinó que el máximo nivel de presión sonora pico (L_{pico}) fue de 93.4 dBC en el escenario de construcción y el máximo nivel de presión sonora equivalente continuo (L_{AeqT}) fue de 57.1 dBC en el escenario de operación. El modelo predictivo de ruido subacuático determinó que los máximos niveles de presión sonora pico (L_{pico}), debido a las voladuras, fueron de 90.3 dB a 0 metros y 49.8 dB a 200 metros por debajo del océano. Los niveles de ruido determinados no contribuyen a la superación de los estándares de calidad ambiental (ECA) y otros límites establecidos por organismos internacionales, lo que podría indicar que no existe una afectación significativa del ruido sobre las personas, viviendas ni fauna marina. Estos resultados contribuyeron a determinar que los impactos por ruido serán de importancia “no significativa” en la posterior evaluación del Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-sd) del proyecto. Finalmente, los resultados permitieron plantear medidas de control en la construcción y operación de los aerogeneradores.

Palabras Clave: Parque eólico, aerogenerador, voladura, modelamiento, modelo predictivo, ruido ambiental, ruido subacuático.

ABSTRACT

The predictive noise model of the "Parque Eólico Punta Lomitas y su Interconexión al SEIN" project was carried out in order to estimate the levels of surface and underwater environmental noise from future construction and operation activities. The applied methodology consisted of the identification of sound emission scenarios and sources, emissions inventory, surface noise modeling, underwater noise modeling, and the control measures proposal. The main sources of noise emission are blasting in the construction scenario, and wind turbines, the Punta Lomitas substation and internal accesses in the operation scenario. The maximum peak sound pressure level (L_{peak}) generated by blasting was 141.9 dBC in the construction scenario, and the maximum sound power levels (L_w) were 107.8 dBA in the wind turbines and 113.4 dBA in the Punta Lomitas substation in the operating scenario. Surface noise modeling determined that the maximum peak sound pressure level (L_{peak}) was 93.4 dBC in the construction scenario and the maximum continuous equivalent sound pressure level (L_{AeqT}) was 57.1 dBC in the operation scenario. Underwater noise modeling determined that the maximum peak sound pressure levels (L_{peak}), due to blasting, were 90.3 dB at 0 meters and 49.8 dB at 200 meters below the ocean. The determined noise levels do not contribute to exceeding the environmental quality standards (ECA) and other limits established by international organizations, which could indicate that there is no significant impact of noise on people, homes or marine fauna. These results contributed to determine that noise impacts will be of "insignificant" importance in the subsequent evaluation of the Semi-detailed Environmental Impact Study (EIA-sd) of the project. Finally, the results allowed to propose control measures in the construction and operation of the wind turbines.

Keywords: Wind farm, wind turbine, blasting, modelling, prediction model, environmental noise, underwater noise.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMÁTICA

La energía eólica es una de las fuentes de energía renovable más eficientes y prometedoras del mundo. En los últimos años, ha surgido un aumento significativo de la capacidad de energía eólica global, como resultado de la necesidad de incrementar el aporte de las tecnologías limpias a la producción total de energía (Chourpouliadis et al., 2012).

En el Perú, la alta calidad del recurso eólico permite desarrollar centrales de generación con altos factores de planta y precios competitivos (Villacorta, 2019). Actualmente, se cuentan con siete centrales eólicas en operación que suman una capacidad instalada de 408 Megawatts (MW) y, entre enero y setiembre del 2021, aportaron el 3.1% de la producción de energía eléctrica a nivel nacional. Asimismo, existen tres proyectos eólicos que lograron obtener una concesión definitiva por parte del Estado y próximamente serán ejecutados, con lo cual se sumará una capacidad instalada de 499 MW (MEM, 2021). La implementación de proyectos eólicos aportará mucho al desarrollo energético y económico de las localidades cercanas y del país. Sin embargo, el emplazamiento de parques eólicos no está libre de consecuencias negativas tanto para la sociedad como para la naturaleza y, de no tomarse las precauciones necesarias, podrían manifestarse en cualquiera de las etapas de su ejecución (Petracci, 2017).

Los principales impactos negativos que se identifican en los proyectos eólicos están relacionados con la modificación del paisaje y la generación de ruido durante la construcción y la operación de los aerogeneradores. El ruido puede afectar directamente a la población cercana, así como a las actividades ganaderas y la fauna local (Martinez & Diaz, 2014).

En este contexto, la generación de ruido representa un problema importante para las comunidades locales y las autoridades, lo que dificulta incluso la aprobación de nuevos proyectos de energía eólica. Las empresas que desarrollan los parques eólicos pueden enfrentar una fuerte resistencia por parte de la población que reside en las proximidades de los nuevos proyectos, debido a la preocupación de que el ruido de las turbinas eólicas sea

una molestia que perturbará sus vidas. En consecuencia, el ruido producido por los aerogeneradores se considera una de las principales limitaciones para el desarrollo extensivo de la energía eólica durante los últimos años (Kaldellis et al., 2012).

Frente a la problemática descrita, los posibles impactos sonoros de los proyectos eólicos son identificados y evaluados con la finalidad de garantizar la prevención y/o mitigación de los efectos negativos del ruido sobre el ambiente físico, biológico y social. Esto se logra mediante los Instrumentos de Gestión Ambiental (IGA) de carácter preventivo, entre los cuales se encuentran los Estudios de Impacto Ambiental Semidetallados (EIA-sd). La entidad encargada de evaluar y aprobar los EIA-sd de los proyectos eólicos es el Ministerio de Energía y Minas (MEM) a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE), con la previa categorización por parte del Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE). Una vez aprobado el EIA-sd, las empresas desarrolladoras obtienen una certificación ambiental para la ejecución de los proyectos eólicos.

Existen diversas metodologías para la identificación y la caracterización de los impactos ambientales. Para cada proyecto, y su correspondiente estudio ambiental, la selección de la metodología debe ser concordante con la legislación nacional vigente y con las guías específicas que publiquen las autoridades competentes (MINAM, 2022). Asimismo, debe considerar una serie de aspectos técnicos que garanticen la representatividad de los resultados obtenidos.

Una de las metodologías más aceptadas y aplicadas para la caracterización de los impactos ambientales por ruido en los EIA-sd es el modelamiento. El uso de esta herramienta permite evaluar diversos escenarios, lo cual facilita la obtención de información que mejora la toma de decisión respecto de aquella alternativa que conlleve los menores niveles de ruido (SEA, 2019).

El presente trabajo de suficiencia profesional (TSP) mostrará la metodología y los resultados del modelamiento de ruido desarrollado por la empresa SNC-Lavalin en el Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-sd) del proyecto “Parque Eólico Punta Lomitas y su Interconexión al SEIN”, el cual fue uno de los tres proyectos de generación de energía eólica que lograron obtener certificaciones ambientales y concesiones definitivas por parte del estado peruano en los últimos años.

El modelamiento de ruido tuvo como alcance la identificación de fuentes de ruido en escenarios de construcción y operación del proyecto, la estimación de los niveles de ruido generados por las fuentes identificadas, la estimación de los niveles de ruido propagados sobre la superficie terrestre mediante el desarrollo de modelos basados en la norma ISO 9613-2:1996 y la estimación de los niveles de ruido por debajo del nivel del mar (subacuático) mediante el modelo de propagación de Ainslie (2010) con la finalidad de analizar los efectos ante la posible presencia de lobos marinos. Los resultados obtenidos permitieron establecer medidas de control sobre una de las principales fuentes identificadas.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Estimar los niveles de ruido ambiental superficial y subacuático de las futuras actividades de construcción y operación asociadas al proyecto “Parque Eólico Punta Lomitas y su Interconexión al SEIN” mediante un modelamiento matemático.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las fuentes de ruido para los escenarios de modelamiento en base a las actividades de construcción y operación del proyecto.
- Estimar los niveles de ruido generados por las fuentes en los escenarios de construcción y operación del proyecto mediante un inventario de emisiones sonoras.
- Estimar los niveles de ruido propagados sobre la superficie terrestre de las actividades de construcción y operación del proyecto mediante el desarrollo de modelos basados en la norma ISO 9613-2:1996.
- Estimar los niveles de ruido subacuático mediante el modelo de propagación de Ainslie (2010) y sus efectos sobre lobos marinos.
- Plantear controles de ruido para las actividades construcción y operación del proyecto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CONCEPTOS BÁSICOS DEL SONIDO

El sonido es un fenómeno físico producido por perturbaciones mecánicas que se propagan en un medio elástico generando variaciones de presión o vibración de partículas, las cuales pueden ser percibidas por el oído humano o detectadas por instrumentos (Moreno, 1990).

2.1.1. PROPAGACIÓN DEL SONIDO

El sonido se propaga a través de un medio material, ya sea sólido, líquido o gaseoso, en forma de ondas mecánicas de presión. Dichas ondas son longitudinales, es decir, la propagación se da en la misma dirección que la presión (Pérez, 2010). Las ondas de sonido que viajan a través de un medio cambian la densidad de las partículas de aire localizadas. Una onda de sonido hace que las partículas de aire se presionen (compresión) en algunas regiones y se extiendan (rarefacción) en otras; un instante después, la onda de sonido se ha movido ligeramente hacia la derecha (Alton Everest & Pohlmann, 2021). El proceso de propagación de las ondas se representa en la Figura 1.

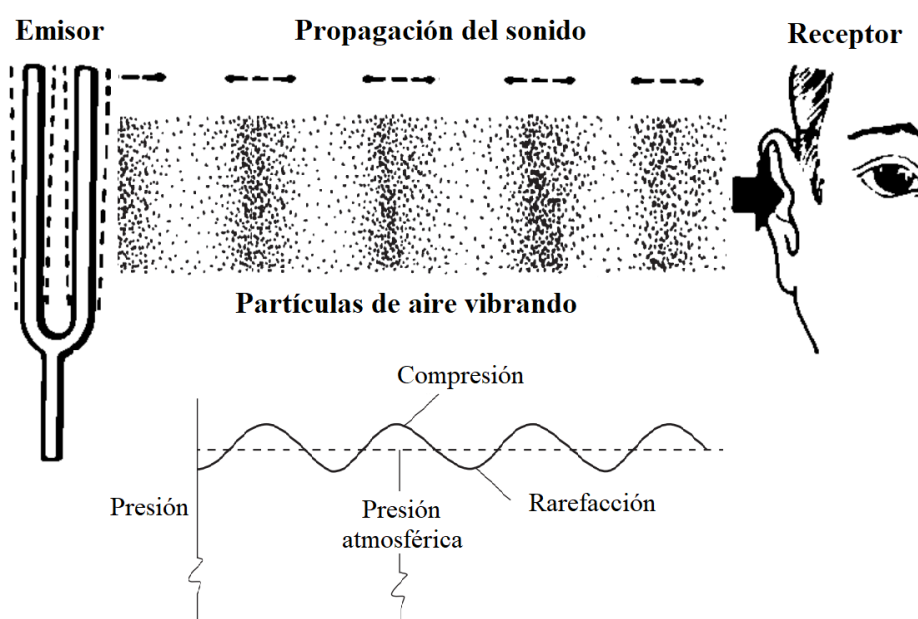


Figura 1. *Propagación de las ondas sonoras*

FUENTE: Modificado de Moreno (1990) y Alton Everest & Pohlmann (2021).

2.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO

Según Bartí (2010), las características básicas del sonido son la amplitud, la frecuencia y la longitud de onda.

a. Amplitud

Es el grado de movimiento de las moléculas en la onda, que corresponde a la intensidad de la compresión y rarefacción que la acompañan. Cuanto mayor es la amplitud de la onda, más intensamente golpean las moléculas sobre el sentido auditivo y más fuerte es el sonido percibido. La amplitud puede expresarse en unidades absolutas midiendo la distancia de desplazamiento de las moléculas del aire, la diferencia de presiones entre la compresión y rarefacción (presión sonora) expresada en Pascales, así como la energía transportada por las ondas (intensidad sonora) expresada en Watts por metro cuadrado (Pérez & Zamanillo Sainz de la Maza, 2003).

b. Frecuencia

Es el número de oscilaciones o variaciones de la presión acústica que una onda sonora efectúa en un tiempo dado y se mide en Hertz (ciclos por segundo). La frecuencia es percibida por el oído humano como tonalidades, un sonido de baja frecuencia posee una tonalidad grave y un sonido de alta frecuencia representa una tonalidad suave (Bartí, 2010).

c. Longitud de onda

La longitud de onda es la distancia en metros que una onda acústica ocupa en el medio por donde se propaga. Esta distancia depende de la velocidad del sonido en el medio de propagación y de la frecuencia. Por lo general, el medio de propagación es el aire, pero puede ser un líquido o un sólido (Bartí, 2010).

La velocidad del sonido en un medio de propagación puede ser diferente de acuerdo a las propiedades físicas de la materia en cada fase. Para el aire, a una temperatura ambiental de 22 °C, la velocidad del sonido será de 345 m/s. Si se tienen temperaturas similares en el agua dulce, la velocidad de las ondas sonoras será de 1500 m/s y de igual forma en el acero será de 6100 m/s (Bartí, 2010).

2.1.3. FENÓMENOS ACÚSTICOS

Los fenómenos acústicos se definen como una serie de eventos que se dan cuando las ondas sonoras se propagan en un medio elástico y se encuentran con una superficie de separación entre dicho medio y otro de diferentes propiedades (Calvo-Manzano, 1991). Los principales fenómenos acústicos son la absorción, reflexión, transmisión y difracción.

a. Absorción

La absorción es la capacidad que tiene un medio elástico para transformar la energía acústica en otro tipo de energía como el calor (Müller & Möser, 2013). Al incidir una onda acústica sobre un material, parte de la energía de la onda será disipada dentro del material debido a pérdidas producidas por rugosidades y porosidades (Moreno, 1990). La relación entre la energía acústica que incide sobre un medio elástico y la energía absorbida se conoce como coeficiente de absorción (Carrizo & Melian, 2011).

b. Reflexión

Al incidir una onda sobre una superficie, una parte de su energía será reflejada y el resto absorbida o transmitida. En acústica, al igual que en la óptica, sucede que toda onda que incide sobre una superficie reflectora con un ángulo de incidencia será reflejada con el mismo ángulo (Moreno, 1990).

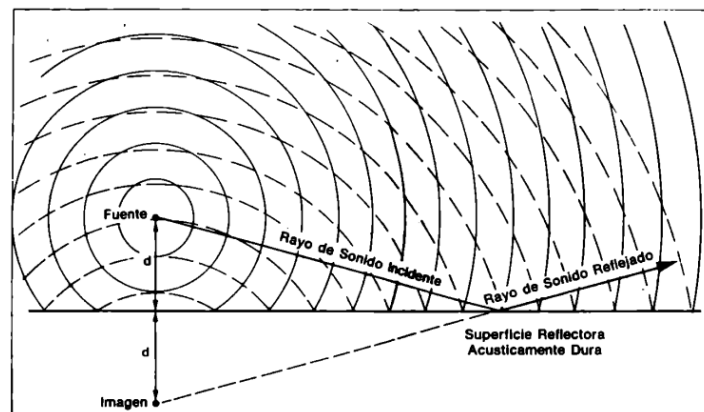


Figura 2. Reflexión de las ondas sonoras
FUENTE: Tomado de Moreno (1990).

c. Transmisión

Cuando una onda incide sobre una pared, parte de ésta es transmitida hacia el otro lado. El fenómeno transmisión, junto al de absorción y reflexión, se presentan en la Figura 3.

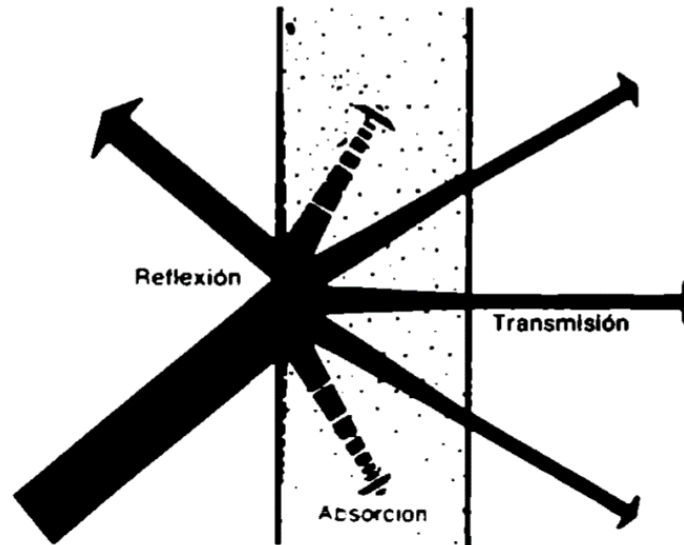


Figura 3. Absorción, reflexión y transmisión de las ondas sonoras
FUENTE: Tomado de Moreno (1990).

d. Difracción

La difracción del sonido se produce cuando las ondas sonoras, en lugar de seguir en la dirección normal, se dispersan. Cuando la onda incide sobre una abertura, superficie u obstáculo que impide su propagación, todos los puntos de su plano se convierten en fuentes secundarias, emitiendo nuevas ondas, denominadas ondas difractadas (Alzate, 2006).

2.1.4. PERCEPCIÓN DEL SONIDO

Las ondas sonoras que son percibidas por el ser humano se encuentran en un rango de frecuencias entre 20 Hz y 20 kHz (Alton Everest & Pohlmann, 2021). El oído humano es particularmente sofisticado, no en los márgenes de frecuencia ni en los umbrales de audición (donde muchos animales lo superan ampliamente) sino en su capacidad para distinguir los distintos timbres o niveles sonoros (Merino & Muñoz-Repiso, 2013).

El oído puede detectar sonidos que en su propagación por el aire producen variaciones de presión que son muy pequeñas a comparación de la presión estática del aire (10^5 Pa), en un margen que puede ir desde los 20 μ Pa (umbral auditivo) hasta 100 Pa (umbral de dolor). El umbral auditivo corresponde al umbral de audición medio de una persona y el umbral de

dolor se refiere a un nivel de presión tan alto que causa dolor (Brüel & Kjær, 2000). Las escalas de presión sonora percibidas por el oído humano se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Escalas de presión sonora percibidas por el oído humano

Presión Sonora (Pa)	Nivel de presión sonora (dB)	Percepción ^a
2×10^{-5}	0	Umbral de audición
2×10^{-4}	20	Bosque con poco viento
2×10^{-3}	40	Biblioteca
2×10^{-2}	60	Oficina
2×10^{-1}	80	Calle con tránsito
2×10^0	100	Sirena, martillo neumático
2×10^1	120	Arranque de motor a reacción
2×10^2	140	Umbral del dolor

FUENTE: ^a Barros y Möser (2009).

a. Percepción en animales

Algunos seres, como murciélagos y delfines, son capaces de captar frecuencias por encima de 20 kHz (ultrasonidos) y otros, como elefantes y ballenas, pueden percibir frecuencias por debajo de 20 Hz (infrasonidos) (Alton Everest & Pohlmann, 2021).

Diversos estudios han recopilado datos actuales (a través de mediciones electrofisiológicas y conductuales directas) y predicciones (basadas en la morfología, el modelado, el comportamiento, las vocalizaciones o la taxonomía del oído interno) que indican que no todas las especies de mamíferos marinos tienen las mismas capacidades auditivas, en términos de sensibilidad auditiva absoluta y banda de frecuencia de audición (NOAA, 2018). Los resultados fueron organizados en grupos de acuerdo a la Tabla 2.

Tabla 2: Rangos de audición de mamíferos marinos

Grupo ^a	Rango de audición generalizado ^b	Umbral mínimo de audición L_p (dB) ^c
Cetáceos, frecuencia baja (misticetos)	7 Hz to 35 kHz	54.0
Cetáceos, frecuencia media (delfines, odontocetos)	150 Hz to 160 kHz	54.0
Cetáceos, frecuencia de alta (marsopas, delfines de río, Kogia, Cephalorhynchus, Lagenorhynchus Cruciger y L. Australis)	275 Hz to 160 kHz	48.0
Pinnípedos otáridos (leones y lobos marinos)	60 Hz to 39 kHz	67.0
Pinnípedos fócidos (focas verdaderas)	50 Hz to 86 kHz	53.0

FUENTE: ^a NOAA (2018). ^b Representa el rango de audición generalizado para todo el grupo como un compuesto (es decir, todas las especies dentro del grupo), donde los rangos de audición de las especies individuales normalmente no son tan amplios. ^c Se refiere al mínimo nivel sonoro equivalente (L_p) que perciben los mamíferos marinos.

2.2. MEDICIÓN DEL SONIDO

Ningún sentido humano es analógico, es decir, no existe proporcionalidad directa entre la intensidad de un estímulo y el grado de la sensación percibida. En el caso del oído, el ser humano puede percibir desde sonidos extremadamente débiles, próximos al umbral de audición, hasta sonidos de intensidad un billón de veces superior. Sería imposible que el cerebro fuese estimulado de forma proporcional a la intensidad del estímulo, ello significaría cambios muy elevados de los niveles sonoros (Merino & Muñoz-Repiso, 2013). En consecuencia, la sensibilidad auditiva no sigue una ley lineal como la intensidad del estímulo, sino una relación logarítmica; lo que condujo a utilizar una escala logarítmica de medida del nivel sonoro (Bartí, 2010). De esa forma, en acústica se dispuso que los niveles sonoros se midan en decibelios (dB).

2.2.1. PARAMETROS DEL NIVEL SONORO

El nivel sonoro es una magnitud que se ajusta bastante a la sensación que los sonidos producen en el sistema auditivo y resulta práctico la expresión de los parámetros acústicos en unidades logarítmicas (Brüel & Kjør, 2000). Los niveles sonoros pueden cuantificarse en función de la presión, potencia e intensidad acústica.

a. Nivel de presión sonora (L_p)

La presión sonora (P) es la diferencia de presiones instantáneas, expresada en Pascales (Pa), producidas por la compresión y rarefacción de una onda sonora (Pérez & Zamanillo Sainz de la Maza, 2003). El nivel de presión sonora, expresada en decibelios, es la relación entre la presión sonora recibida y la presión sonora de referencia (umbral de audición). La expresión matemática se muestra a continuación (Bartí, 2010):

$$L_p = 20 \log(P/P_0)$$

Donde:

P : es la presión sonora medida (Pa).

P_0 : es la presión sonora de referencia o umbral (2×10^{-5} Pa).

b. Nivel de potencia sonora (L_w)

La potencia sonora (W) es la cantidad de energía acústica que emite una fuente en un tiempo determinado (Moreno, 1990). El nivel de potencia sonora, expresada en decibelios, es la relación entre la potencia sonora emitida por la fuente y la potencia sonora de referencia (umbral de audición). La expresión matemática se muestra a continuación (Bartí, 2010).

$$L_w = 20 \log(W/W_0)$$

Donde:

W : es la potencia sonora de la fuente (Watts).

W_0 : es la potencia de referencia o umbral (10^{-12} Watts).

c. Nivel de intensidad sonora (L_I)

La intensidad sonora es la energía propagada por las ondas sonoras sobre una determinada posición en el espacio (Moreno, 1990). Esta magnitud depende de la superficie afectada, es decir, a mayor superficie menor es la intensidad (Bartí, 2010). El nivel de intensidad sonora, expresada en decibelios, es la relación entre la intensidad sonora sobre una superficie y la intensidad sonora de referencia. La expresión matemática se muestra a continuación:

$$L_I = 20 \log(I/I_0)$$

Donde:

I : es la intensidad sonora en el punto de medida (W/m^2).

I_0 : es la intensidad de referencia o umbral (10^{-12} W/m^2).

2.2.2. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Un sistema básico para medir el sonido consiste en un micrófono de alta calidad que puede convertir la presión acústica en una señal eléctrica; esta señal de pequeña amplitud debe pasar a través de preamplificadores lineales y circuitos de compensación (A, B, C o D) y/o filtro de paso de bandas (por ejemplo, 1/1 o 1/3 de octava). Luego, la señal pasa a otro detector de amplificación variable y RMS¹ con varias constantes de tiempo promedio. La señal se indica en dB, dBA, dB pico, etc. Esta señal instantánea está disponible en salida analógica para registro, monitoreo o análisis (Gerges, 1992).

¹ RMS: Raíz cuadrática media, por sus siglas en inglés, es una magnitud utilizada comúnmente en el procesamiento de señales e instrumentos de medida (Gerges, 1992).

El sonómetro es uno de los instrumentos más utilizados para la medición del sonido en ambientes externos e internos (Figura 4). Los sonómetros pueden clasificarse según su rendimiento como sonómetros clase 1 y clase 2 definidos en la norma IEC 60651. En general, las especificaciones para ambas clases tienen los mismos objetivos de diseño y difieren principalmente en los límites de tolerancia y el rango de temperaturas de funcionamiento. Los límites de tolerancia para las especificaciones de clase 2 son mayores o iguales que los de las especificaciones de clase 1 (IEC, 2002).

2.2.3. PONDERACIONES

a. Bandas de octavas y tercios de octavas

Una octava se define como una relación 2:1 de dos frecuencias. Por ejemplo, el intervalo de 100 a 200 Hz es una octava, como lo es el intervalo de 200 a 400 Hz. El intervalo de 100 a 200 Hz se percibe como mayor que el intervalo de 200 a 300 Hz; lo que demuestra que el oído percibe los intervalos como proporciones más que como diferencias aritméticas. Por ello, la percepción de la frecuencia es logarítmica (Alton Everest & Pohlmann, 2021).

En muchas aplicaciones acústicas, se considera que el sonido cae en bandas de ocho octavas, con frecuencias centrales de 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, y 8000 Hz (Alton Everest & Pohlmann, 2021).



Figura 4. Sonómetro de clase 1
FUENTE: Tomado de SVANTEK (2020).

b. Redes de ponderación

Un sonómetro está diseñado para dar lecturas del nivel de presión de sonido (L_p) en bandas de octavas o tercios de octavas; sin embargo, la respuesta auditiva humana no es uniforme en todas las bandas. Por ejemplo, nuestra sensibilidad auditiva se reduce particularmente a frecuencias bajas y también a frecuencias altas. Además, esta atenuación es más pronunciada a niveles de escucha más suaves. Por esta razón, para emular el oído humano, los sonómetros suelen ofrecer una selección de redes de ponderación denominadas A, B y C, cuyas respuestas de frecuencia se muestran en la Figura 4. Las redes reducen el nivel de presión sonora medido a bajas y altas frecuencias. La selección de una red particular se realiza en función del nivel general de los sonidos que se van a medir como ruidos de fondo, motores, explosiones, etc (Alton Everest & Pohlmann, 2021).

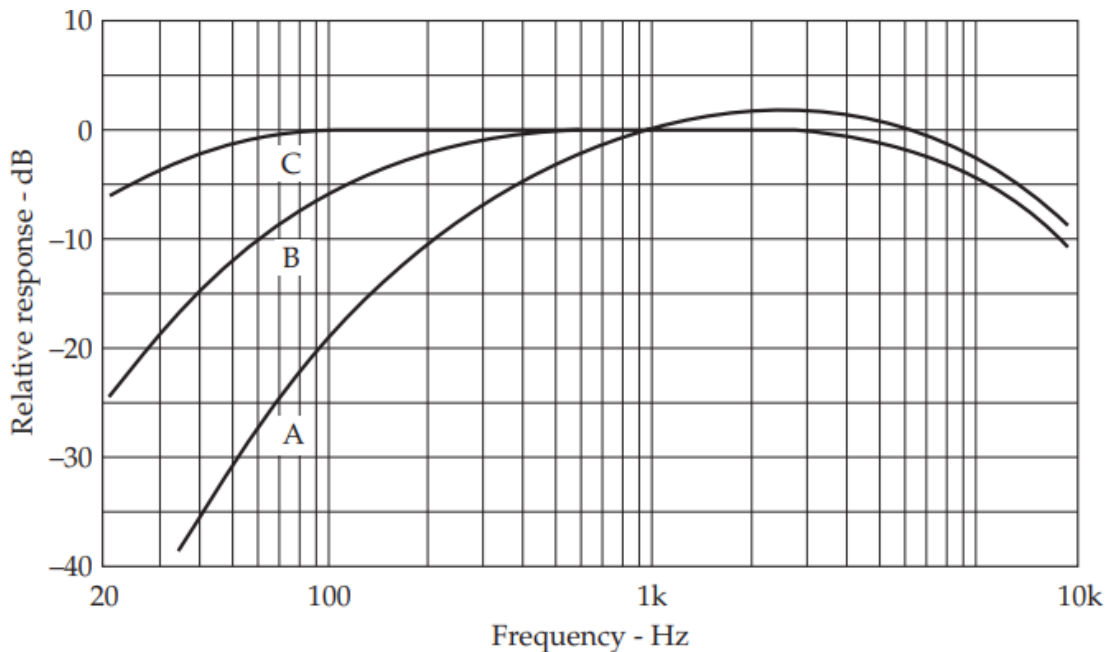


Figura 5. Curvas de ponderación más utilizadas
FUENTE: Tomado de Alton Everest & Pohlmann (2021).

2.2.4. INDICADORES O DESCRIPTORES DEL SONIDO

a. Nivel de presión sonora continuo equivalente (L_{eqT})

Es el nivel de presión sonora continuo que tendría la misma energía sonora total que el ruido real fluctuante evaluado en el mismo periodo de tiempo (Moreno, 1990). Se puede expresar como L_{eqT} y, en el caso que se utilice una curva de ponderación A, se expresa como L_{AeqT} (INACAL, 2017a). La ecuación que permite determinar el L_{AeqT} es la siguiente:

$$L_{AeqT} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt$$

Donde:

T: es el tiempo de medición (segundos).

$P_A(t)$: es la presión sonora instantánea en ponderación A (Pa).

P_0 : es la presión sonora de referencia (20 μ Pa).

b. Niveles de presión sonora mínimo y máximo (L_{\min} y L_{\max})

Representan los niveles de presión sonora mínimo y máximo durante un periodo de medición, los cuales son expresados como L_{\min} y L_{\max} respectivamente (INACAL, 2017a).

c. Nivel de presión sonora pico (L_{pico})

Representa el nivel de presión sonora instantáneo más alto registrado durante un intervalo de medición (impulso) y se expresa como L_{pico} . A diferencia del L_{\max} , el L_{pico} se detecta independientemente de los ajustes de respuesta e índices de ponderación (INACAL, 2017a).

2.3. INTERACCIÓN ENTRE EL SONIDO Y EL AMBIENTE

Para conocer el comportamiento del sonido en ambientes exteriores es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos como las características de propagación de la fuente, la influencia de las condiciones atmosféricas y del suelo, así como los obstáculos o barreras acústicas.

2.3.1. PATRONES DE PROPAGACIÓN DE LA FUENTE

Se llama fuente acústica a cualquier elemento que emite sonido. Si se percibe un sonido, es porque en algún lugar existe vibraciones; es decir, que las vibraciones son siempre el origen del sonido (Bartí, 2010).

Las fuentes sonoras pueden ser direccionales u omnidireccionales. Las primeras propagan el sonido en una dirección preferente del espacio, por ejemplo, una bocina, y las segundas propagan el sonido en todas las direcciones del espacio. Esta propiedad de las fuentes depende de sus dimensiones, la frecuencia de las ondas emitidas y su ubicación. Por lo general, las fuentes que emiten sonidos de bajas frecuencias son omnidireccionales, mientras que las fuentes que emiten sonidos de frecuencias medias y altas son más direccionales o directivas (Bartí, 2010).

Las fuentes sonoras se clasifican en función al patrón de propagación de las ondas sonoras como fuentes puntuales o lineales (Bartí, 2010).

a. Fuentes puntuales o esféricas

Las fuentes puntuales son aquellas cuyas dimensiones son pequeñas comparadas con la distancia al oyente como ventiladores o chimeneas. La energía sonora se propaga de forma esférica, por lo que el nivel de presión del sonido es el mismo en todos los puntos que se encuentran a la misma distancia de la fuente y disminuye en 6 dB al doblar la distancia. Esto se mantiene así hasta que el efecto del suelo y la atenuación del aire influyen de forma notoria en el nivel (Brüel & Kjær, 2000). Este comportamiento representa la atenuación por divergencia geométrica en un campo libre, es decir, en un espacio sin obstáculos donde los efectos ambientales no influyan de manera significativa en la propagación del sonido (Bartí, 2010).

b. Fuentes lineales o cilíndricas

Las fuentes lineales cuyas dimensiones son estrechas en una dirección y larga en la otra comparada con la distancia al oyente. Puede ser una fuente individual tal como una cañería llevando un fluido turbulento o puede estar compuesta de muchas fuentes puntuales operando simultáneamente como el tránsito de vehículos en una carretera concurrida. El nivel de sonido se propaga cilíndricamente, por lo que el nivel de presión sonora es el mismo en todos los puntos a la misma distancia de la línea y disminuye en 3 dB al doblar la distancia. Esto se mantiene así hasta que el efecto del terreno y la atenuación del aire influyen de forma notoria al nivel (Brüel & Kjær, 2000).

2.3.2. INFLUENCIA ATMOSFÉRICA

La atmósfera es el principal medio de propagación del sonido y está compuesta por distintos gases, partículas en suspensión, vapor de agua y otras sustancias. Estos elementos ofrecen diferentes respuestas ante la presencia de una onda sonora. Desde un punto de vista intuitivo podría decirse que en el aire se producen únicamente fenómenos de transmisión y absorción de la energía acústica, sin embargo en este medio se producen otros fenómenos como la reflexión (Tarrero, 2002).

Los fenómenos acústicos producidos en el aire suponen pérdidas de energía durante la propagación de un sonido, las cuales se traducen en una disminución o atenuación de los

niveles sonoros percibidos por un receptor. Entre los principales factores atmosféricos que influyen en la atenuación del sonido se encuentran la temperatura, el viento y la humedad.

a. Influencia de la temperatura

El aumento de la temperatura con la altura (inversión térmica) provoca un aumento de las velocidades del frente de onda que hace que la onda ascendente se desplace en dirección al suelo. Si la temperatura disminuye con la altura, ocurre el comportamiento contrario, es decir, los frentes de onda descendentes se separan del suelo y forman una sombra acústica como se muestra en la Figura 6 (Gerges, 1992).

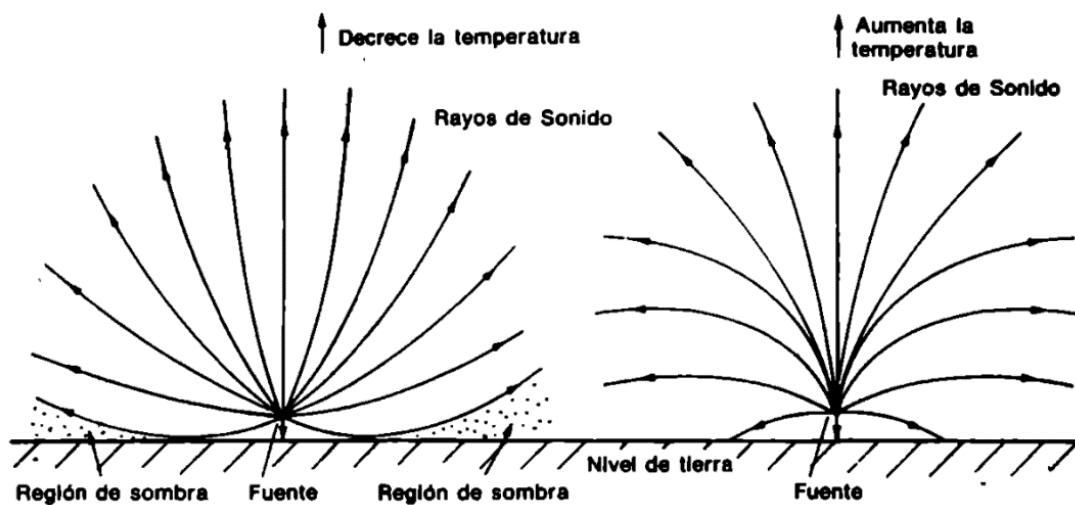


Figura 6. Influencia de la temperatura en la propagación del sonido
FUENTE: Tomado de Moreno (1990).

b. Influencia del viento

La velocidad del viento, en ausencia de turbulencias, aumenta con respecto a la altura. A medida que la altura se incrementa, el efecto del viento sobre los rayos sonoros es mayor generando curvaturas y zonas de sombra en la dirección contraria al viento. Esta condición produce que los niveles sonoros generados por una fuente sean percibidos de mejor manera por un receptor ubicado a favor de la dirección del viento tal como se muestra en la Figura 7 (Bartí, 2010).

En distancias cortas, hasta 50 m, el viento tiene una influencia pequeña en el nivel de sonido medido. Para mayores distancias, el efecto del viento aumenta considerablemente (Brüel & Kjør, 2000).

c. Influencia de la humedad

El contenido de humedad en el aire está relacionado con el fenómeno de absorción atmosférica el cual depende, a su vez, de la temperatura y la frecuencia del sonido emitido (Tarrero, 2002).

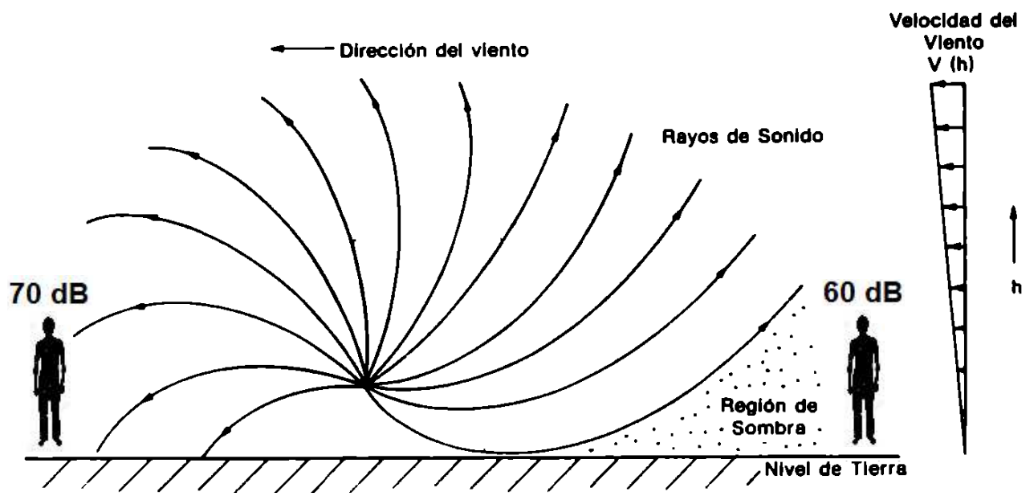


Figura 7. Influencia del viento en la propagación del sonido
FUENTE: Modificado de Moreno (1990).

2.3.3. INFLUENCIA DEL SUELO

La presencia del suelo modifica las condiciones de la propagación del sonido ya que origina principalmente reflexiones de las ondas sonoras y absorción de la energía acústica.

a. Reflexiones

El sonido reflejado por el terreno interfiere con el sonido propagado directamente. El efecto del suelo es diferente cuando se trata de superficies acústicamente duras (hormigón o agua), blandas (césped, árboles o vegetación) o mixtas. La atenuación del suelo se calcula en bandas de frecuencia, para tener en cuenta el contenido frecuencial de la fuente de ruido y el tipo de terreno entre la fuente y el receptor. La precipitación puede afectar a la atenuación del terreno. La nieve, por ejemplo, puede dar una atenuación considerable y además puede causar gradientes de temperatura positivos altos (Brüel & Kjør, 2000).

La influencia del suelo sobre la atenuación del sonido se muestra en la Figura 8, donde se realiza un análisis de la atenuación de diferentes superficies con respecto a la frecuencia. Se observa que la mayor atenuación del suelo se produce a bajas frecuencias en suelos porosos o mixtos (Brüel & Kjør, 2000).

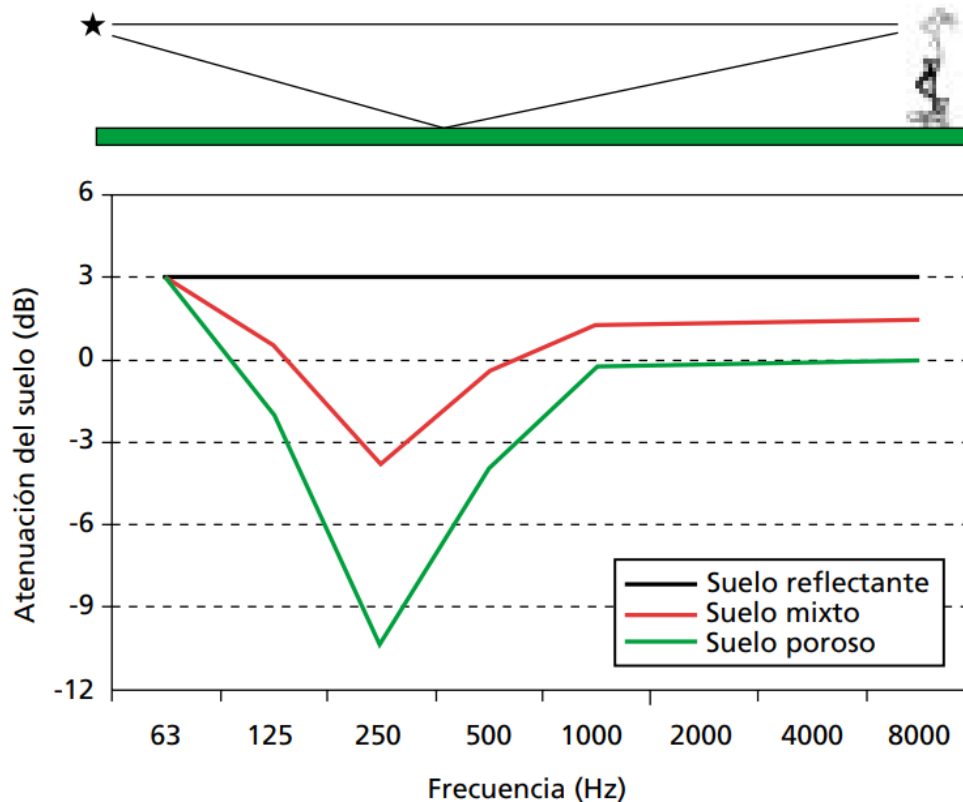


Figura 8. Influencia del suelo sobre la atenuación del sonido
FUENTE: Tomado de Brüel & Kjær (2000).

b. Absorción del suelo

Cuando la propagación del sonido se realiza cerca al suelo existen factores que afectan la absorción de la energía sonora, tales como la presencia de vegetación o el porcentaje de humedad del suelo. Debe tenerse en cuenta que se tratan de absorciones pequeñas y, en todo caso, más importantes para altas frecuencias. Estas absorciones pueden disminuir la intensidad de las reflexiones y atenuar el nivel sonoro que percibe un receptor (Bartí, 2010).

2.3.4. OBSTÁCULOS O BARRERAS ACÚSTICAS

La propagación del sonido al aire libre se ve afectada por formas del terreno como montañas, colinas, diques, etc. Estas barreras, tanto naturales como artificiales, pueden ser efectivas para reducir el sonido recibido, siempre que las barreras no tengan orificios y bloqueen el camino directo del sonido desde la fuente hasta el receptor (Wang et al., 2005).

Los principales factores que determinan la eficacia de una barrera para reducir el sonido son la distancia de la fuente, la distancia al receptor, la altura y la longitud de la barrera (Wang et al., 2005). En la siguiente figura se muestra la atenuación por el efecto de barrera para una

pantalla típica en función de la altura de la barrera. Una barrera es mucho más efectiva si se coloca cerca de la fuente de ruido o del receptor (Brüel & Kjær, 2000).

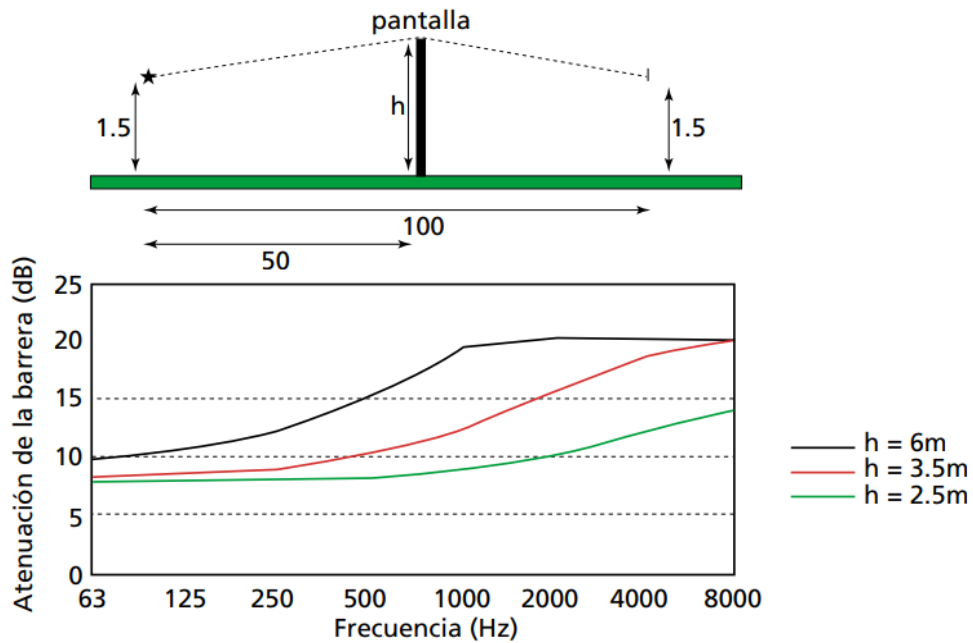


Figura 9. Atenuación de un obstáculo en función de la altura
FUENTE: Tomado de Brüel & Kjær (2000).

Otro factor que afecta la atenuación de las barreras es el contenido frecuencial del ruido. El efecto combinado de la geometría y la frecuencia se presenta en la siguiente figura, donde se observa que las bajas frecuencias son difíciles de reducir usando barreras.

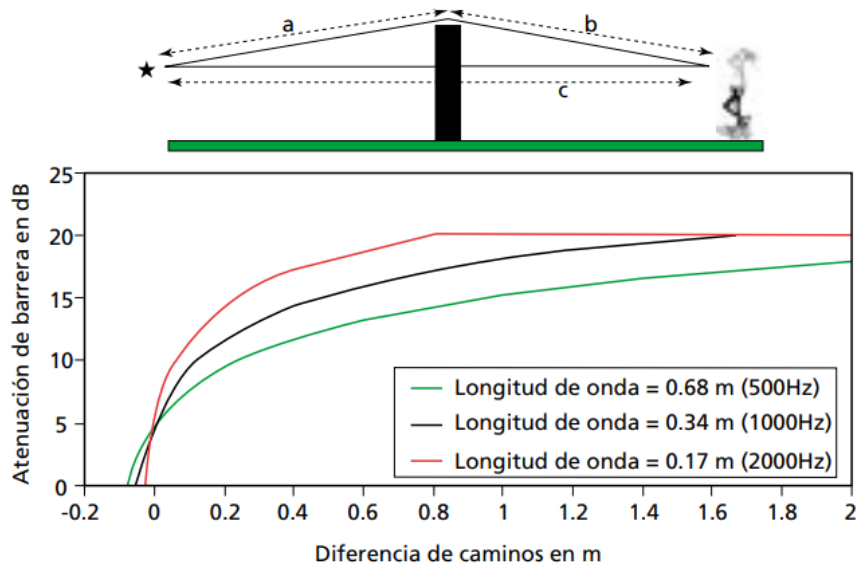


Figura 10. Atenuación de un obstáculo en función de las propiedades del sonido
FUENTE: Tomado de Brüel & Kjær (2000).

2.4. RUIDO Y LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

La contaminación acústica se define como la presencia de ruido que implica molestia, riesgo o daño para la salud y bienestar de las personas, el desarrollo de sus actividades o los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente (Martínez & Peters, 2015; OEFA, 2016).

2.4.1. RUIDO AMBIENTAL

El ruido se puede definir como un sonido o conjunto de sonidos no coordinados que originan sensaciones desagradables e interfieren con la actividad humana, siendo el ruido una apreciación subjetiva y molesta del sonido (Cortés et al., 2009). También se define como el sonido no deseado que moleste, perjudique o afecte a la salud de las personas (MINAM, 2013).

2.4.2. TIPOS DE RUIDO

Por lo general, el ruido se clasifica en función de la intensidad y la duración como ruido continuo, intermitente e impulsivo (Brüel & Kjær, 2000). También se puede clasificar de acuerdo a la frecuencia como ruido tonal.

a. Ruido continuo

Es aquel ruido emitido por cualquier tipo de fuente de manera que no presente fluctuaciones considerables durante un tiempo dado (MINAM, 2013). Este tipo de ruido es característico de la maquinaria que opera sin interrupciones tales como ventiladores, bombas, equipos de proceso, entre otros (Brüel & Kjær, 2000).

b. Ruido intermitente

Es el ruido que está presente en la ubicación del observador sólo durante ciertos periodos de tiempo que ocurren a intervalos de tiempos regulares o irregulares, y que son tales que la duración de cada una de estas ocurrencias es más de 6 segundos. Se producen en condiciones de bajo volumen del tránsito vehicular, ferroviario y aéreo, y compresores de aire (INACAL, 2017c).

c. Ruido impulsivo

Es el ruido caracterizado por pulsos individuales de corta duración de presión sonora (INACAL, 2017c). La duración del ruido impulsivo suele ser menor a 1 segundo, aunque

pueden ser más prolongados. Por ejemplo, el ruido producido por un disparo, una explosión en minería, vuelos de aeronaves, campanas de iglesia, entre otras (MINAM, 2013).

d. Ruido tonal

Es el ruido caracterizado por una sola componente de frecuencia o componentes de banda estrecha que surgen audiblemente del ruido global, cuya percepción conlleva a un aumento de la molestia (INACAL, 2017c). Los tonos molestos pueden producirse por máquinas con partes rotativas tales como motores, cajas de cambios, ventiladores y bombas. También pueden generar tonos los flujos pulsantes de líquidos o gases que se producen por causa de procesos de combustión o restricciones de flujo (Brüel & Kjær, 2000).

2.5. RUIDO EN LOS PARQUES EÓLICOS

Un parque eólico se puede definir como un conjunto de aerogeneradores conectados entre sí, cuyas turbinas se mueven mediante la acción del viento y transforman la energía cinética en energía eléctrica de baja tensión, la cual se transforma en energía de alta tensión y es transportada a una red eléctrica tal como se observa en la Figura 11. Este tipo de instalaciones produce electricidad que se distribuye mediante las compañías eléctricas hasta los consumidores. La realización de parques eólicos exige emplazamientos, donde las características del viento cumplan una serie de condiciones respecto a la velocidad, la continuidad y la estabilidad. Normalmente, son necesarias velocidades medias anuales del viento superiores a los 6,5 m/s (Jimeno et al., 2002).

La distribución y situación de los aerogeneradores en un parque eólico depende de la orografía del terreno y de las direcciones predominantes del viento en la zona. Normalmente, los aerogeneradores se sitúan linealmente, siguiendo el perfil de la cima, y se orientan según las condiciones del viento. La distancia entre aerogeneradores, aunque depende de la dirección del viento, se mantiene entre 2 y 3 veces el diámetro de las palas (Jimeno et al., 2002).

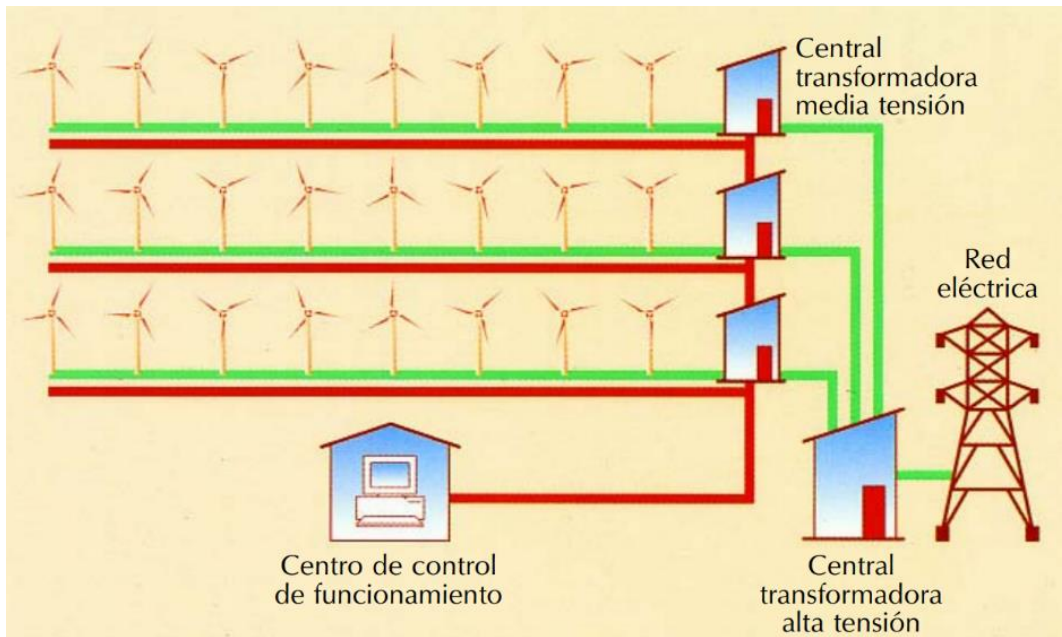


Figura 11. Esquema de distribución de un parque eólico
FUENTE: Tomado de Jimeno et al. (2002).

La principal fuente de ruido en un parque eólico son los aerogeneradores debido al sonido mecánico y aerodinámico que producen sus componentes y a la cantidad de unidades que se requiere instalar para su funcionamiento. En la Figura 12 se presenta un esquema de un aerogenerador de eje vertical el cual es uno de los más comerciales.

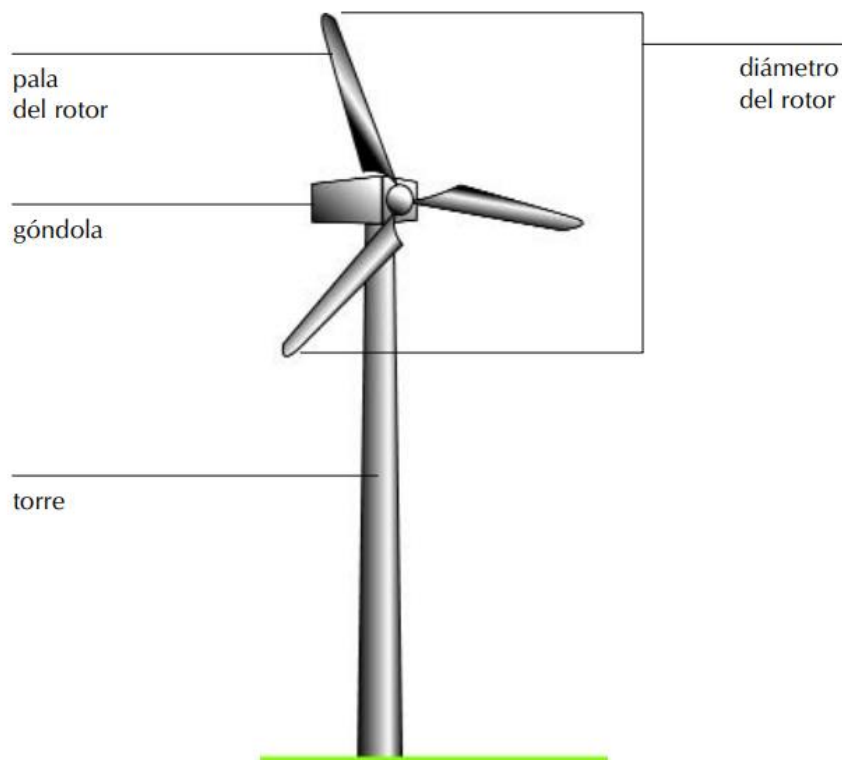


Figura 12. Aerogenerador de eje vertical
FUENTE: Tomado de Jimeno et al. (2002).

Un aerogenerador es una máquina que transforma la energía del viento en energía eléctrica aprovechable mediante unas aspas oblicuas unidas a un eje común. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinaria como molinos de granos, bombas de agua o generadores eléctricos. Cuando se genera electricidad, la energía en el viento da vuelta a dos o tres palas de la hélice, como alrededor de un rotor. El rotor está conectado al eje principal que gira un generador para producir electricidad (OSINERGMIN, 2017). La Figura 13 presenta los componentes y la funcionalidad de un aerogenerador.

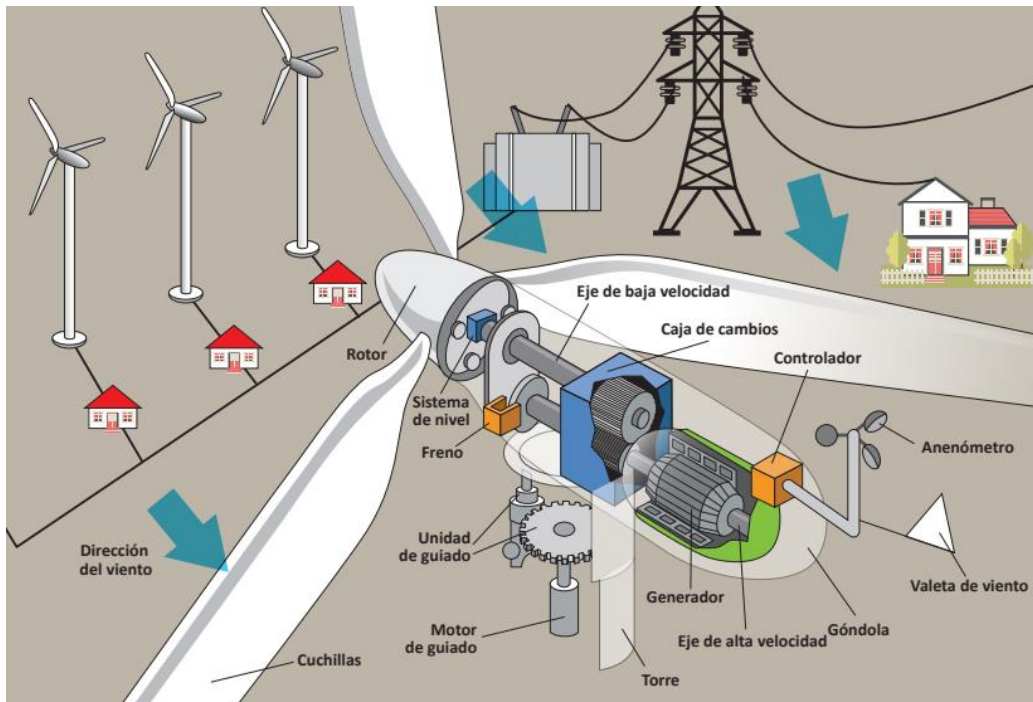


Figura 13. Componentes y funcionalidad de un aerogenerador
FUENTE: Tomado de OSINERGMIN (2017).

2.5.1. RUIDO EN AEROGENERADORES

El ruido producido por los aerogeneradores es principalmente de dos tipos: mecánico y aerodinámico. El ruido mecánico se genera a partir de varios componentes de maquinaria en la turbina eólica y es de carácter tonal. El ruido aerodinámico se genera debido al flujo de aire por encima de las palas que interactúa de diferentes maneras con la superficie de las palas, lo que da lugar a diferentes fuentes de ruido aerodinámico (Deshmukh et al., 2019).

a. Ruido mecánico

El ruido mecánico en un aerogenerador lo generan varios componentes móviles presentes en la góndola, como la caja de cambios, el generador, los ventiladores de refrigeración y otros dispositivos auxiliares como los enfriadores de aceite y paquetes de energía hidráulica para

el paso de las palas (Wagner et al., 1996). El ruido mecánico es predominantemente de carácter tonal, lo que significa que el ruido generado por fuentes mecánicas alcanza su punto máximo alrededor de ciertas frecuencias y es más duro para los oídos humanos que el ruido de banda ancha. Sin embargo, el ruido mecánico se puede reducir en gran medida protegiendo adecuadamente la góndola, utilizando materiales absorbentes de sonido y supresión de vibraciones. Esta reducción ha resultado en que el ruido aerodinámico se convierta en una fuente de ruido dominante en las turbinas eólicas (Deshmukh et al., 2019).

La vía de transmisión del ruido mecánico puede ser por vía aérea o estructural. El primero se emite directamente desde el componente mecánico al ambiente y el segundo se transmite en primer lugar a lo largo de la estructura de la turbina y se irradia al ambiente desde diferentes superficies, por ejemplo, la carcasa, la cubierta de la góndola, la torre y las palas del rotor (Romero-Sanz & Matesanz, 2008).

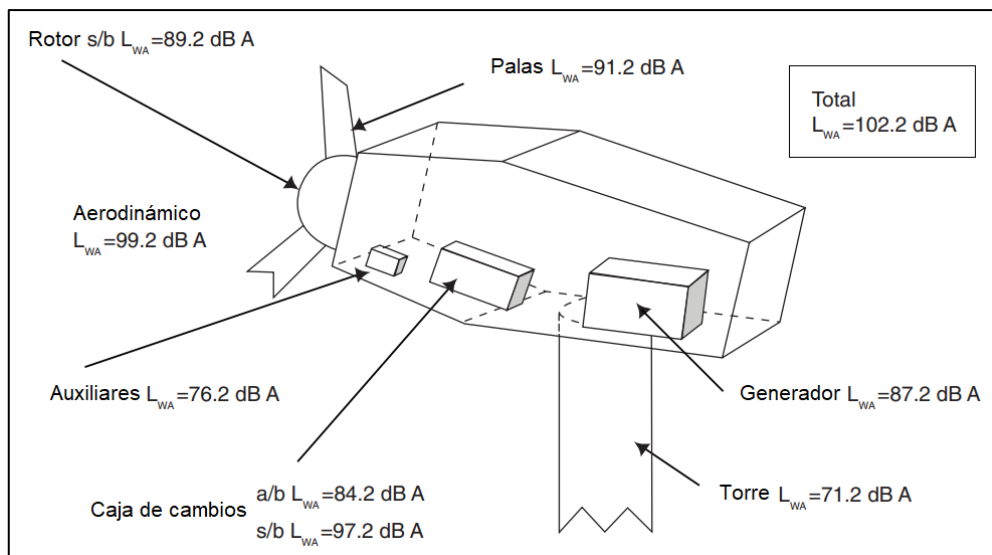


Figura 14. Componentes y nivel de potencia sonora total de un aerogenerador
FUENTE: Editado de Romero-Sanz & Matesanz (2008).

En la Figura 14 se presenta las diferentes vías de transmisión (a/b para aertransportado y s/b para estructural) y los niveles de potencia acústica determinados para los componentes individuales mediante mediciones de la presión acústica en una posición a favor del viento a 115 m de distancia de una turbina eólica de 2 MW, despreciando la absorción atmosférica. La principal fuente de ruido de la maquinaria es la caja de cambios, que se irradia desde las superficies de la góndola y la balsa de la máquina. El ruido de la caja de cambios está directamente relacionado con los errores de transmisión del par de engranajes, su vibración y carga (Wagner et al., 1996).

b. Ruido aerodinámico

El ruido aerodinámico es un sonido inducido por el flujo causado por la interacción de las estructuras de flujo con la pared de las palas (Deshmukh et al., 2019). El ruido aerodinámico es más complejo y es la fuente dominante de ruido de los aerogeneradores, tal como se observa en la Figura 14 con un nivel de potencia sonora de 99.2 dBA.

En general, hay seis regiones principales a lo largo de la pala del aerogenerador como se observa en la Figura 15. Se considera que estas regiones crean independientemente sus propios ruidos específicos, porque los ruidos producidos son fundamentalmente diferentes y, dado que ocurren en diferentes regiones a lo largo de la pala, no interfieren entre sí (Adaramola, 2014). La descripción de los ruidos producidos en las seis regiones indicadas se presenta en la Tabla 3.

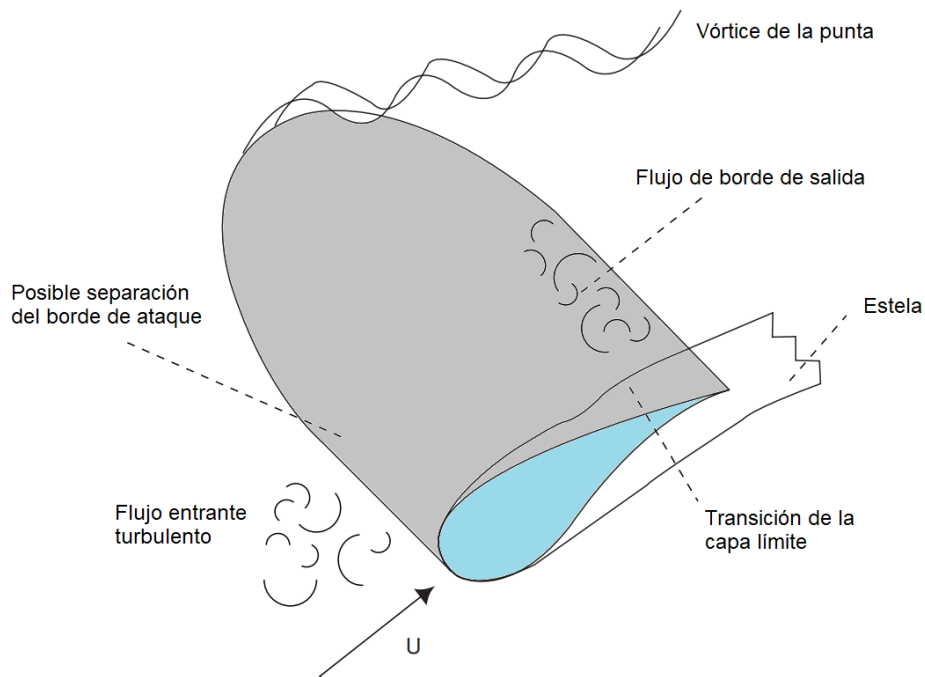


Figura 15. Regiones principales de un aerogenerador
FUENTE: Modificado de Romero-Sanz & Matesanz (2008).

Tabla 3: Tipos de ruido aerodinámico por regiones

Tipo	Origen ^{a, b, c, d}
Ruido de turbulencia de entrada	Se produce debido a la interacción de la superficie de la pala, especialmente el borde de ataque, con la turbulencia atmosférica que se aproxima.
Ruido de borde de salida de la capa límite turbulenta	Se produce por la interacción de la capa límite turbulenta con el borde posterior afilado de la superficie aerodinámica. Es LA fuente de ruido dominante en las turbinas eólicas.
Ruido de flujo separado/atascado	Se produce cuando el ángulo de ataque aumenta. A medida que esto sucede, aumenta la capa límite en el lado de succión y comienzan a formarse estructuras inestables a gran escala.
Ruido de capa límite laminar	Este tipo de ruido propio ocurre cuando una capa límite laminar está presente sobre la mayor parte o un lado de la superficie aerodinámica. En este caso, es probable que ocurran inestabilidades en la capa límite que pueden acoplarse con el ruido del borde posterior y resonar en un bucle de retroalimentación. Tal condición resultará en altos niveles de ruido tonal de la pala de la turbina.
Ruido de borde de salida desafilado	Un borde de salida desafilado provoca vórtices tales que dan como resultado una emisión de ruido tonal y puede verse como un pico pronunciado en el espectro típico de ruido de una turbina eólica.
Ruido de vórtice en la punta	El vórtice de la punta se forma debido a un flujo cruzado generado por la diferencia de presión entre el lado de presión y el lado de succión. Este vórtice al interactuar con el lado de la punta y el borde de salida conduce a la generación de ruido.

FUENTE: ^a Adaramola (2014). ^b Deshmukh et al. (2019). ^c Romero-Sanz & Matesanz (2008). ^d Wagner et al., 1996).

c. Reducción del ruido en aerogeneradores

Los aerogeneradores de principios de los ochenta o antes emitían ruido de tipo mecánico que lograba ser oído en los alrededores del aerogenerador. Gracias a los avances tecnológicos de las últimas décadas, se han obtenido logros cuantificables en cuanto a la reducción del ruido mecánico en los aerogeneradores de gran tamaño (> 1 MW). Entre ellos se destaca el aislamiento acústico de la góndola y los sistemas de amortiguación de vibraciones y cargas (Echeverri-Londoño, 2017).

En la actualidad, el tamaño de los aerogeneradores ha aumentado y el ruido mecánico no aumenta tan significativamente con las dimensiones del aerogenerador como lo hace el ruido aerodinámico. (Echeverri-Londoño, 2017). Los recientes avances tecnológicos para evitar el ruido en aerogeneradores son muy diversos. Para reducir o prevenir con éxito la generación de ruido, se deben identificar las fuentes de ruido mecánicas y aerodinámica. En las fuentes mecánicas se utilizan diferentes estrategias de prevención como la supresión - aislamiento de vibraciones y las técnicas de detección de fallas. En las fuentes aerodinámicas, que son las principales fuentes de ruido de los aerogeneradores, las estrategias para reducir el ruido

aerodinámico incluyen enfoques adaptativos y métodos de modificación de palas de aerogeneradores (Adaramola, 2014).

d. Ruido en la construcción de aerogeneradores

Existen diferentes actividades que generan ruido durante la construcción de un aerogenerador, tales como las excavaciones, el uso de maquinaria o la construcción manual (pilotes, soldaduras, golpes o martillazos) y el transporte de materiales. Los diferentes niveles de ruido en el sitio de construcción dentro de cierto período dependen del tipo o etapa del trabajo que se lleva a cabo en el sitio (Yi Feng et al., 2020). Las actividades que generan mayor ruido son las voladuras que se realizan cuando las condiciones de excavación lo requieren. A pesar de que las voladuras tienen una duración corta, la magnitud de ruido generado puede generar preocupación cuando se realizan evaluaciones acústicas antes de la ejecución de un proyecto eólico.

2.5.2. MEDICIÓN DEL RUIDO EN AEROGENERADORES

El procedimiento de medida más utilizado para determinar la potencia sonora emitida por los aerogeneradores es el estándar IEC 61400-11: 2012. El procedimiento descrito es específico para las mediciones en las cercanías de una turbina eólica, donde la instrumentación se coloca lo suficientemente cerca para minimizar las incertidumbres en las pérdidas de propagación y lo suficientemente lejos para asumir la propagación de ondas planas. De acuerdo con este procedimiento, se coloca un micrófono en un tablero de medición a una distancia específica de una turbina eólica y el nivel de presión de sonido medido se usa para estimar el nivel de potencia de sonido. El valor calculado representa el nivel de potencia de sonido "aparente" de una fuente puntual ubicada en el centro del rotor que daría como resultado el nivel de presión de sonido medido. Los datos de potencia sonora se estiman en un rango de velocidades del viento para permitir una caracterización detallada de la fuente en diversas condiciones de funcionamiento (IEC, 2012).

El propósito de la norma IEC 61400-11: 2012 es proporcionar un enfoque coherente y preciso para la medición y el análisis de las emisiones acústicas de las turbinas eólicas para su aplicación en diversos contextos (Hansen et al., 2017).

2.5.3. FACTORES QUE CONTRIBUYEN AL RUIDO EN AEROGENERADORES

Los factores significativos relevantes que contribuyen al potencial del ruido de los aerogeneradores se presentan en la Figura 16. Estos factores se agrupan en tres elementos

principales: fuentes de ruido, vías de propagación y receptores (Spera, 2009). La interacción entre el ruido y el ambiente, los patrones de propagación y la influencia de los distintos factores ambientales se describen en la sección 2.3 de la presente monografía.

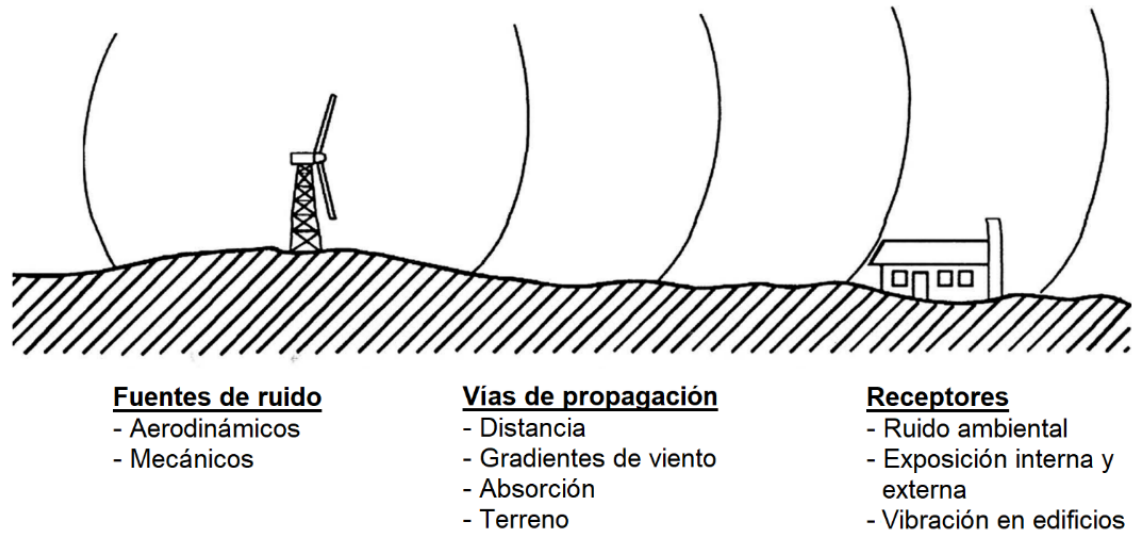


Figura 16. Factores que contribuyen al ruido en aerogeneradores
FUENTE: Modificado de Spera (2009).

2.6. MODELAMIENTO DE RUIDO EN PARQUES EÓLICOS

Uno de los objetivos del modelamiento de ruido en parques eólicos es predecir los niveles de ruido que se producen en los aerogeneradores como principales fuentes de ruido, y la propagación del ruido en el ambiente hasta llegar a los receptores. Por esta razón, las metodologías de cálculo y modelos aplicados se dividen en modelos de predicción de ruido en aerogeneradores y fuentes relacionadas, y modelos de predicción de la propagación.

2.6.1. PREDICCIÓN DEL RUIDO EN AEROGENERADORES

En la actualidad, existen una gran cantidad de metodologías de predicción debido a los diversos tipos de mecanismos causantes del ruido generado por un aerogenerador en funcionamiento (Wagner et al., 1996). La mayoría de los métodos utilizados en la industria se basan en correlaciones semiempíricas que han sido obtenidas por diferentes investigadores durante los últimos treinta años (Romero-Sanz & Matesanz, 2008).

Existe una clasificación realizada por Lawson (1992) citado por Wagner et al. (1996) que se basa en la dificultad relativa de los diferentes métodos y en las variables físicas que se utilizan para calcular la emisión de ruido. Esta clasificación es la siguiente:

- Clase I: Modelos simples
- Clase II: Modelos semiempíricos
- Clase III: Modelos computacionales

Cabe señalar que, en el presente TSP, no se aplicaron modelos de predicción de ruido en aerogeneradores debido a que los datos de potencia sonora de los aerogeneradores se obtuvieron de mediciones realizadas en aerogeneradores durante sus pruebas de fabricación. Estas mediciones se realizaron siguiendo el estándar IEC 61400-11: 2012 tal como se indica en la Sección 2.5.2 del y los resultados se presentan más adelante en la Sección 4.2.2 presente TSP.

2.6.2. PREDICCIÓN DEL RUIDO EN FUENTES RELACIONADAS

a. Predicción del ruido en voladuras

Un indicador del nivel de ruido que genera una voladura se puede obtener a partir de las ondas de presión en el aire generadas por voladuras, producidas en un rango de frecuencias, incluidas las audibles y las que están por debajo del extremo inferior del espectro audible (BSI, 2008).

Según Siskind et al. (1980), para determinar la señal acústica emitida por el impulso de una explosión se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$L_{pico} = 10 \times \log \frac{AB}{P_{ref}}$$

Donde:

L_{pico} : Nivel de ruido pico en decibeles C (dBC).

AB : Presión pico por golpe de aire en lb/pulg² (psi)

P_{ref} : Presión de referencia 2.9×10^{-9} lb/pulg² (psi)

La presión generada por el impulso de la detonación se calcula según la siguiente ecuación (Siskind et al., 1980):

$$AB (C - slow) = 41.6 \times (D/W^{1/3})^{-1.785}$$

Donde:

D : Distancia entre la voladura y el punto de referencia (pies)

W : Carga explosiva de la voladura (kg)

Los niveles pico calculados pueden ser utilizados como inputs de un modelo de propagación acústica para determinar el alcance del ruido impulsivo de una voladura.

b. Predicción del ruido en carreteras

El modelo RLS-90 fue publicado por el Ministerio Federal de Transporte de Alemania, a través de la “Guía para la protección contra el ruido en las calles” (RLS, por sus siglas en alemán). Este modelo es capaz de determinar el nivel de ruido del tráfico rodado y, en la actualidad, es el método de cálculo más relevante utilizado en Alemania (Quartieri et al., 2009).

El modelo considera variables relacionadas con el flujo horario promedio de los vehículos en tres grupos (vehículos pesados, ligeros y estacionamientos), la velocidad promedio de cada grupo, así como la dimensión, geometría y tipo de la carretera. Este modelo también tiene en cuenta las principales características que influyen en la propagación del ruido, como los obstáculos naturales o artificiales, la vegetación, la absorción de aire, las reflexiones y la difracción. En particular, permite verificar la reducción de ruido producida por barreras acústicas y tiene en cuenta también las reflexiones producidas por pantallas opuestas (Quartieri et al., 2009; Vargas, 2014).

La ecuación general del modelo RLS-90 es la siguiente:

$$L_{m,E} = 37.3 + 10 \log [Q \times (1 + 0.082P)] + R_{SL} + R_{RS} + R_{RF} + R_E + R_{DA} + R_{GA} + R_{TB}$$

Donde:

- $L_{m,E}$: Niveles de presión sonora a 25 metros de distancia.
- Q : Flujo vehicular (vehículos/hora).
- P : Porcentaje de vehículos pesados (%).
- R_{SL} : Corrección para límite de velocidad.
- R_{RS} : Corrección para superficie de la vía.
- R_{RF} : Corrección para pendiente de la vía.
- R_E : Corrección para características de absorción de la superficie de edificios.
- R_{DA} : Coeficiente de atenuación debido a la distancia y absorción del aire.
- R_{GA} : Coeficiente de atenuación debido a las condiciones del suelo y atmósfera.
- R_{TB} : Coeficiente de atenuación debido a la topografía y dimensiones de edificios.

2.6.3. PREDICCIÓN DE LA PROPAGACIÓN

El ruido que emiten los aerogeneradores se irradia por encima del suelo normalmente a una altitud de entre 50 m y 150 m. A medida que se propaga, el ruido tiende a disminuirse si el aerogenerador está lejos del receptor. El tipo de terreno y las condiciones meteorológicas influyen en la atenuación del sonido a lo largo de la distancia. Las metodologías más utilizadas para la predicción de los niveles de presión sonora asociados a fuentes fijas se basan en los criterios y cálculos establecidos en la norma ISO 9613-2:1996 (Echeverri-Londoño & González-Fernández, 2019).

La norma ISO 9613-2:1996 especifica un método de ingeniería para calcular la atenuación del sonido durante la propagación al aire libre, con el fin de predecir los niveles de ruido ambiental a una distancia específica de la fuente. El método predice el nivel de presión sonora continuo equivalente (L_{eqT}) en condiciones meteorológicas favorables a la propagación, considerando algoritmos en bandas de octava (con frecuencias entre 63 Hz a 8 kHz) (ISO, 1996).

El nivel de presión sonora continuo equivalente (L_{eqT}) a favor del viento en la ubicación del receptor se calculará, para cada fuente de ruido y para las bandas de octavas con frecuencias entre 63 Hz. a 8 kHz, según la siguiente ecuación (ISO, 1996):

$$L_P = L_W + D - A$$

Donde:

- L_P : Nivel de presión sonora en bandas de octava en un receptor específico (dB)
- L_W : Nivel de potencia sonora en bandas de octava producido por una fuente sonora (dB)
- D : Factor de directividad (dB)
- A : Atenuación en bandas de octava que se produce durante la propagación desde la fuente sonora hasta el receptor (dB)

El factor de directividad (D) se define como la diferencia entre el nivel de presión sonora en una dirección determinada en campo libre alejado de la fuente y el nivel medio de presión sonora en el sitio. La mayoría de las fuentes de sonido exhiben características direccionales definidas; es decir, irradian más sonido en algunas direcciones que en otras (Echeverri-Londoño, 2017). Normalmente, para los aerogeneradores, el nivel de potencia acústica se mide en la dirección del viento; por lo que el factor de directividad (D) se incluye

inherentemente en la medición de la potencia acústica para los cálculos del nivel de ruido en la dirección del viento (Hansen et al., 2017).

La atenuación (A) se puede definir como la disminución del nivel de ruido durante su propagación, debido a efectos ambientales o fenómenos físicos tales como la divergencia geométrica, absorción atmosférica, efectos de suelo, reflexión de las superficies y detección por obstáculos (ISO, 1996).

La ecuación que integra todos los términos de atenuación es la siguiente (ISO, 1996):

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$$

Donde:

A_{div} : Atenuación por divergencia geométrica

A_{atm} : Atenuación por absorción atmosférica

A_{gr} : Atenuación por efectos del suelo

A_{bar} : Atenuación por barreras u obstáculos

A_{bar} : Atenuación por otros efectos misceláneos.

A continuación, se describirán los detalles relacionados con cada término de atenuación del ruido según la norma ISO 9613-2:1996.

a. Atenuación por divergencia geométrica

La divergencia geométrica explica la dispersión esférica en el campo libre desde una fuente de sonido puntual. Se refiere a la propagación de la energía del sonido como resultado de la expansión de los frentes de onda, lo que produce que el nivel sonoro producido por una fuente decaiga con la distancia (Echeverri-Londoño, 2017). La ecuación que permite calcular la divergencia geométrica es:

$$A_{div} = 20 \times \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + 11$$

Donde:

d: Distancia de la fuente al receptor (m)

d_0 : Distancia de referencia (1 m)

b. Atenuación por absorción atmosférica

La atenuación debida a la absorción atmosférica (A_{atm}) en decibelios, durante la propagación a través de una distancia d, en metros, se calcula con la ecuación (ISO, 1996):

$$A_{atm} = \frac{\alpha_d}{1000}$$

Donde:

α_d : Coeficiente de atenuación atmosférica, en decibelios por kilómetro, para cada banda de octava en la frecuencia de banda media.

Los valores de α_d para diferentes condiciones atmosféricas de temperatura y humedad relativa se definen en la norma ISO 9613-2:1996.

c. Atenuación por efectos del suelo

La atenuación del suelo (A_{gr}) es principalmente el resultado del sonido reflejado por la superficie del suelo que interfiere con el sonido que se propaga directamente desde la fuente al receptor (ISO, 1996).

La trayectoria de propagación curvada hacia abajo (a favor del viento) asegura que esta atenuación esté determinada principalmente por las superficies de tierra cerca de la fuente y cerca del receptor. Este método de cálculo del efecto suelo es aplicable únicamente a terrenos que son aproximadamente planos, ya sea horizontalmente o con una pendiente constante. Se especifican tres regiones distintas para la atenuación del suelo que se grafican en la Figura 17 (ISO, 1996).

- La región de la fuente se extiende sobre una distancia desde la fuente hacia el receptor de $30h_s$, con una distancia máxima de d_p (h_s es la altura de la fuente y d_p la distancia de la fuente al receptor).
- La región del receptor se extiende sobre una distancia desde el receptor hacia la fuente de $30h_r$, con una distancia máxima de d_p (h_r es la altura del receptor);
- La región intermedia se extiende sobre la distancia entre las regiones fuente y receptora. Si $d_p < (30h_s + 30h_r)$, las regiones de origen y receptor se superpondrán y no habrá una región intermedia.

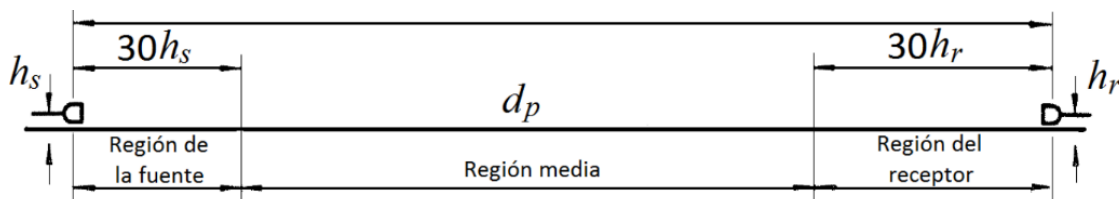


Figura 17. Regiones para la determinación de la atenuación del suelo
FUENTE: Modificado de la Norma ISO 9613-2:1996.

Las condiciones del terreno se describen en base al factor G del suelo que varía entre 0 para suelo duro y 1 para suelo blando o poroso. Para calcular la atenuación del suelo para una banda de octava específica, primero se calcula el componente de atenuación A_s para la región cercana a la fuente especificada por el factor G_s , A_r para la región cercana al receptor especificada por el factor G_r , y A_m para la región media la fuente y el receptor entre especificada por el factor G_m . La atenuación total de suelo para una banda de octava específica se obtiene con la siguiente ecuación (ISO, 1996):

$$A_{\text{suelo}} = A_s + A_r + A_m$$

Para determinar las contribuciones de atenuación A_s , A_r , y A_m en bandas de octava se utilizan las expresiones y tablas de la norma ISO 9613-2:1996.

d. Atenuación por barreras u obstáculos

El efecto de una barrera ubicada entre la fuente de ruido y el receptor es la reducción del ruido de acuerdo con las alturas relativas de la fuente, el receptor, la barrera y el espectro de frecuencia del ruido. La norma ISO 9613-2:1996 contiene el procedimiento para determinar la atenuación por barreras como muros, edificios, pantallas acústicas u otras estructuras. Sin embargo, en el proyecto no se identificaron estructuras que se puedan considerar como barreras. Asimismo, la presencia de las estructuras de los aerogeneradores de gran tamaño (Echeverri-Londoño, 2017) no se consideraron como barreras debido a que éstas mismas fueron consideradas como fuentes generadoras de ruido.

e. Atenuación por otros efectos misceláneos

El término A_{misc} cubre las contribuciones a la atenuación de efectos misceláneos no accesibles por los métodos generales de cálculo de la atenuación. Estas contribuciones incluyen la atenuación del sonido durante la propagación a través del follaje (A_{fol}), la atenuación durante la propagación a través de un sitio industrial (A_{site}), y la atenuación durante la propagación a través de una región edificada de casas (A_{hous}) (ISO, 1996).

2.6.4. SOFTWARE DE MODELAMIENTO CADNAA

CadnaA (*Computer Aided Noise Abatement*) es un *software* para el cálculo, presentación, evaluación y predicción del ruido ambiental. Su diseño permite modelar escenarios relacionados a plantas industriales o comerciales, tráfico vehicular, tráfico aéreo, entre otros; permitiendo generar mapas de ruido en diferentes escalas (Datakustik-GmbH, 2020).



Figura 18. Portada del software CadnaA
FUENTE: Tomado de Datakustik-GmbH (2020).

El *software* CadnaA permite integrar una gran variedad de fuentes de emisión de ruido cuyas emisiones pueden ser calculadas o ingresadas como datos de entrada. De esta forma, se pueden ingresar niveles de potencia sonora calculadas para fuentes específicas como aerogeneradores. Con respecto a la predicción de la propagación y atenuación, el *software* CadnaA utiliza todos los cálculos y criterios de la norma ISO 9613-2:1996.

El *software* CadnaA se encuentra dentro de la lista de programas aceptables para el trazado de mapas de ruido según la norma NTP 854.001-1: 2012 (INACAL, 2017b).

2.7. MODELAMIENTO DE RUIDO SUBACUÁTICO

Cuando la propagación del ruido se da por un medio acuático, como un lago u océano, cambia su comportamiento debido a que la atenuación ya no se debe a los efectos del suelo u obstáculos. En estos casos, la propagación se condiciona al efecto de la distancia, la absorción del agua y la reflexión del fondo marino (Dekeling et al., 2014).

Para calcular la propagación de ruido por debajo de la superficie del océano se aplicarán las ecuaciones de propagación submarina de Ainslie (2010), las cuales determina la atenuación a la pérdida por transmisión (TL_R) en base a la reflexión, la profundidad del fondo marino y la ubicación del receptor:

$$L_p = L_0 - TL_R$$

Donde:

L_{pico} : Nivel de ruido subacuático

L_0 : L_{pico} modelado en la superficie del océano

TL_R : Pérdida de L_{pico} por transmisión en el océano

$$TL_R = 15 * \log(R) + 5 * \log\left(\frac{n \times H}{\pi \times R_{ref}}\right)$$

Donde:

η : Gradiente de pérdida por reflexión

H : Profundidad del fondo marino

R_{ref} : Profundidad de referencia (1 metro)

R : Distancia de la fuente al receptor (punto de evaluación en metros).

2.8. EFECTOS DEL RUIDO EN PARQUES EÓLICOS

Los efectos causados por la exposición al ruido han sido ampliamente investigados por diversas instituciones gubernamentales en todo el mundo, concluyendo que los principales efectos se relacionan con la salud y el bienestar de las personas.

La exposición al ruido ambiental puede generar dos tipos de respuestas en el ser humano: respuestas cognitivas y respuestas biológicas no cognitivas. Las primeras están relacionadas con el bienestar y se presentan cuando el ruido produce la interferencia de las actividades comunes de las personas, como el habla y el sueño, lo que puede causar molestias, quejas y posibles efectos en la salud. Todas las respuestas cognitivas dependen de las actitudes individuales de las personas, las cuales son influenciadas por diversos factores psicológicos, sociales y ambientales. Por otro lado, las respuestas no cognitivas están relacionadas con aspectos fisiológicos del cuerpo humano. Cuando las personas se encuentran expuestas a ciertos niveles de ruido ambiental, pueden sufrir daños fisiológicos no sólo en la audición sino también en diferentes partes del cuerpo. La Figura 19 muestra algunos de los principales efectos del ruido en las personas (DEFRA, 2014).

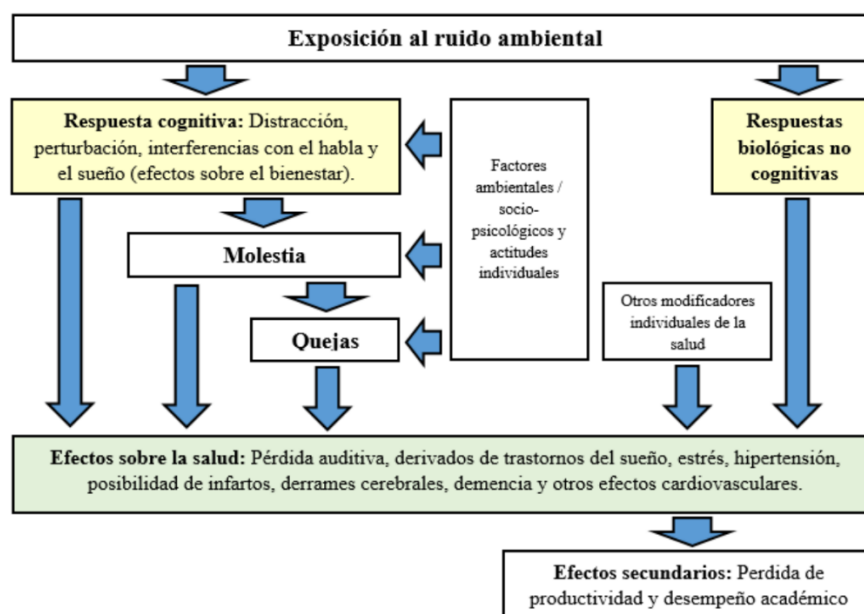


Figura 19. Factores que contribuyen al ruido en aerogeneradores
FUENTE: Modificado de DEFRA (2014).

2.8.1. EFECTOS SOBRE LAS PERSONAS

En el Perú, la evaluación de los niveles de ruido ambiental se realiza en base al Decreto Supremo N° 085-2003-PCM: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido, el cual establece los estándares nacionales de calidad ambiental para ruido (ECA-Ruido) y los lineamientos para no excederlos, con el objetivo de proteger la salud, mejorar la calidad de vida de la población y promover el desarrollo sostenible.

Los ECA-Ruido son niveles de presión sonora continua equivalente con ponderación A (L_{AeqT}) establecidos de acuerdo al ámbito o zonificación en evaluación (residencial, comercial, industrial y zonas de protección especial) y en función al horario del día (diurno y nocturno). En la Tabla 4 se presentan los ECA-Ruido establecidos en la norma en mención.

Tabla 4: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido

Zonas de aplicación	Valores expresados en L_{AeqT} (dBA) ^a	
	Horario diurno ^b	Horario nocturno ^c
Zona de protección especial	50	40
Zona residencial	60	50
Zona comercial	70	60
Zona industrial	80	70

FUENTE: ^a Decreto Supremo N° 085-2003-PCM (PCM, 2003). ^b Período comprendido entre las 07:01 hasta las 22:00 horas. ^c Período comprendido entre las 22:01 hasta las 07:00 horas del día siguiente.

2.8.2. EFECTOS SOBRE LAS VIVIENDAS

Para evaluar el potencial efecto sobre las viviendas, se pueden utilizar los límites de golpes de aire por voladura establecidos en la norma 30 CFR Part 817 de la Oficina de Recuperación y Ejecución de Minería Superficial de los Estados Unidos (OSMRE, por sus siglas en inglés), los cuales se presentan en la Tabla 5.

El efecto en las viviendas se manifiesta por el agrietamiento de las paredes o estructuras de concreto o yeso. Adicionalmente, la respuesta humana y la molestia causada por el traqueteo de las paredes, los ruidos secundarios, y la presencia de corrientes de aire causan problemas de respuesta psicológica y, por lo tanto, los factores sociales y económicos que se vuelven un tema de preocupación en lugares cercanos a proyectos que realizan detonaciones o voladuras (OSMRE, 1986).

Tabla 5: Límites máximos de golpes de aire por voladura

Frecuencia de medición en Hz (+/-3 dB)	Límite de niveles sonoros pico (L_{pico})^a
0.1 Hz (Respuesta plana)	134 dB-pico
2 Hz (Respuesta plana)	133 dB-pico
6 Hz (Respuesta plana)	129 dB-pico
Ponderación C (Respuesta lenta) - C-Slow	105 dBC-pico

FUENTE: ^a OSMRE (1986).

Para analizar la propagación de ruido por las explosiones instantáneas de las voladuras controladas, se tomó como referencia la isófona de 105 dBC pico, siendo este límite el más conservador en la evaluación de viviendas ante este tipo de actividades.

2.8.3. EFECTOS SOBRE LA FAUNA

El ruido puede interferir con las funciones clave de la vida de los mamíferos marinos como en la búsqueda de alimento, apareamiento, amamanto, descanso y la migración. Al afectar la sensibilidad auditiva, enmascarar las señales acústicas, provocar respuestas conductuales o causar estrés fisiológico (Erbe et al., 2018). El peor efecto que se puede causar es el de la pérdida temporal o permanente de la audición generado por explosiones de alta intensidad como disparos y voladuras.

El potencial efecto sobre la fauna marina se estima en base a los umbrales sonoros de afectación por pérdida temporal y permanente de la audición a causa de la utilización de explosivos durante la construcción del proyecto. Los umbrales se detallan por grupos en la

Guía Técnica de Evaluación de los Efectos del Sonido Antropogénico en la Audición de Mamíferos Marinos (NOAA, 2018) y se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: Umbrales de audición y pérdida de audición en mamíferos marinos

Grupo ^a	Umbral mínimo de audición L_P (dB) ^b	Umbral de pérdida de audición L_{pico} (dB) ^c	
		TTS ^d	PTS ^e
Cetáceos, baja frecuencia (misticetos)	54.0	213.0	219.0
Cetáceos, frecuencia media (delfines, odontocetos)	54.0	224.0	230.0
Cetáceos, alta frecuencia (marsopas, delfines de río, Kogia, Cephalorhynchus, Lagenorhynchus Cruciger y L. Australis)	48.0	196.0	202.0
Sirenios (manatíes y dugongo)	61.0	220.0	226.0
Pinnípedos otáridos (leones y lobos marinos)	67.0	226.0	232.0
Pinnípedos fócidos (focas verdaderas)	53.0	212.0	218.0

FUENTE: ^a NOAA (2018). ^b Se refiere al mínimo nivel sonoro equivalente (L_p) que percibe la fauna marina. ^c Se refiere al nivel sonoro pico (L_{pico}) que percibe la fauna marina. ^d TTS: Pérdida temporal de la audición en mamíferos marinos. ^e PTS: Pérdida permanente de la audición en mamíferos marinos.

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1. GENERALIDADES

El trabajo de suficiencia profesional (TSP) tuvo como alcance la configuración del modelo predictivo de ruido realizado por la empresa SNC-Lavalin, el cual fue presentado como un anexo del Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-sd) del proyecto “Parque Eólico Punta Lomitas y su Interconexión al SEIN”. La finalidad del modelo predictivo fue estimar los niveles de ruido que se generarán durante las futuras actividades de construcción y operación asociadas al proyecto (SNC-Lavalin, 2019). Los resultados obtenidos permitieron la caracterización de los impactos ambientales sobre la población y la fauna local (lobos marinos), así como el planteamiento de las medidas para prevenir, corregir y/o mitigar los mismos.

El modelo predictivo de ruido y el EIA-sd en general se realizaron durante el primer semestre del 2019. El periodo de evaluación, levantamiento de observaciones e información complementaria por parte de la Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE) del Ministerio de Energía y Minas (MEM), se dio entre el segundo semestre del 2019 y el primer semestre del 2020. La aprobación del EIA-sd se dio el 17 de julio del 2020 mediante la Resolución Directoral N° 0101-2020-MINEM/DGAAE.

3.2. PROYECTO DE ESTUDIO

El proyecto “Parque eólico Punta Lomitas y su interconexión al SEIN” se ubicará en los distritos de Ocucaje y Santiago, provincia y región Ica, entre los 10 msnm y 500 msnm, a 400 km al sur de la ciudad de Lima y 95.4 km al sur de la ciudad de Ica. En la Figura 20 se presenta la ubicación del proyecto (SNC-Lavalin, 2019).

El Proyecto consistirá en la instalación de 62 aerogeneradores con potencias unitarias entre 3.0 MW y 4.8 MW, torres entre 80 m y 110 m distribuidos en aproximadamente 77.3 ha y una Línea de transmisión eléctrica de aproximadamente 60 km y 220 kV que conectará al parque eólico con el SEIN. La potencia total del Proyecto será de hasta 260 MW, el mismo

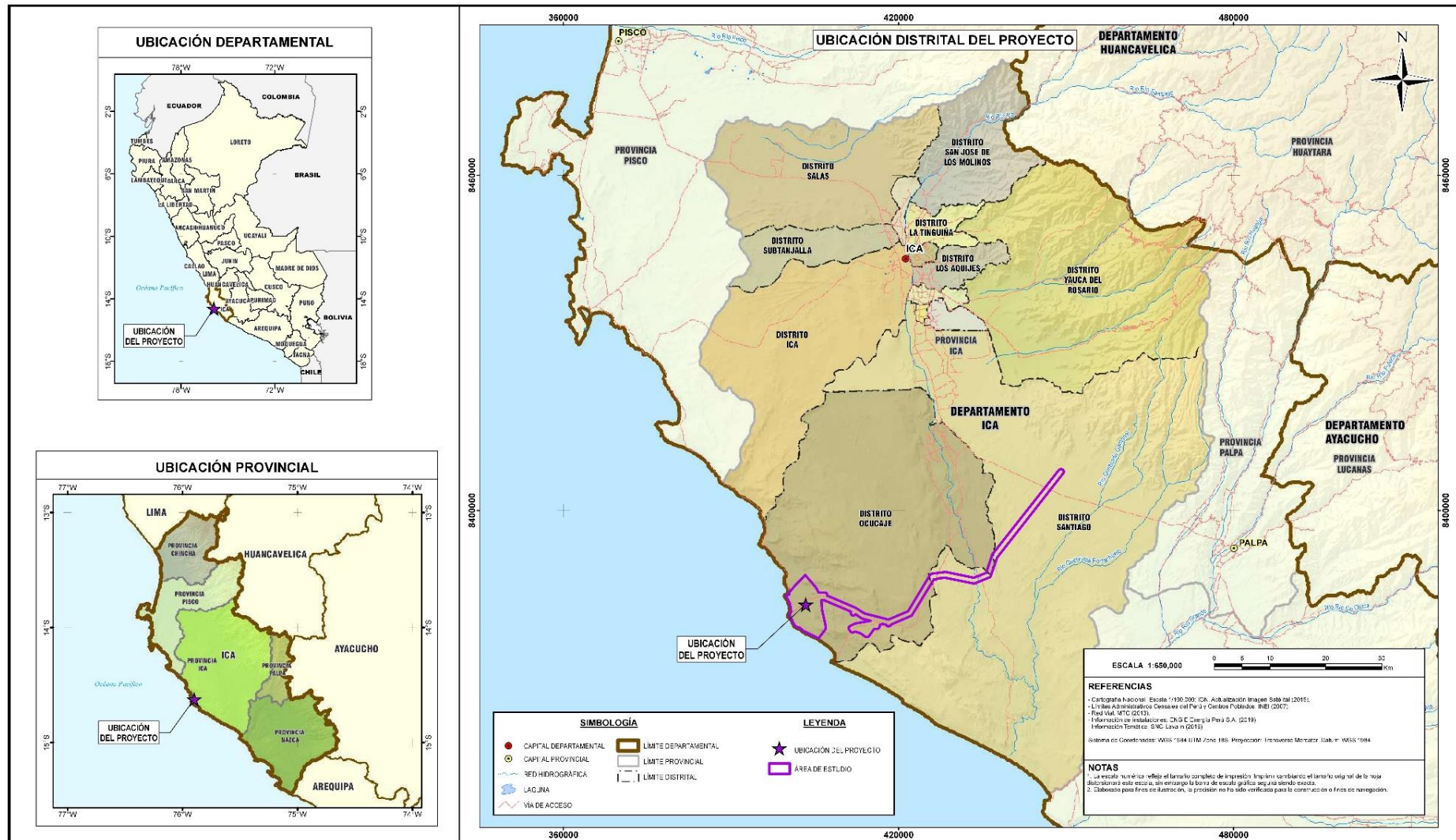


Figura 20. Ubicación general del proyecto
FUENTE: Modificado de SNC-Lavalin (2019).

que también incluirá la canalización eléctrica subterránea de medio voltaje, caminos de accesos internos, una estación meteorológica, un edificio de control y dos subestaciones (SNC-Lavalin, 2019).

El parque eólico se enlazará al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), desde la subestación Punta Lomitas, a través de una línea de transmisión eléctrica hasta una subestación de derivación que se conectará a la línea de transmisión existente de 220 kV Ica - Marcona (L-2211), de propiedad de Red de Energía del Perú S.A. (SNC-Lavalin, 2019).

El titular del proyecto Engie Energía Perú S.A. (Engie) es una de las mayores compañías de generación eléctrica del país e infraestructura energética con operación en diversas zonas del país (SNC-Lavalin, 2019).

3.2.1. COMPONENTES DEL PROYECTO

El proyecto contempla la implementación de componentes que permanecerán durante la operación del parque eólico Punta Lomitas y su Interconexión al SEIN, así también se ha previsto la habilitación de componentes auxiliares para el desarrollo de las actividades de construcción, los cuales son temporales (SNC-Lavalin, 2019).

En la Tabla 7 se listan los componentes principales y auxiliares del Proyecto. En la Figura 21 se presenta su ubicación geográfica.

Tabla 7: Componentes del Proyecto

Lugar	Componentes principales ^a	Componentes auxiliares (temporales)
Parque eólico	<ul style="list-style-type: none"> • Plataformas de montaje (incluyendo la cimentación de los aerogeneradores) • Aerogeneradores • Caminos de acceso internos • Canalizaciones internas de medio voltaje • Estación meteorológica 	<ul style="list-style-type: none"> • Planta de concreto y chancado • Depósito de material excedente • Polvorines • Administración, talleres y almacenes • Campamento
Línea de transmisión	<ul style="list-style-type: none"> • Subestación Punta Lomitas • Edificio de control • Caminos de acceso a vértices de la LT • Subestación de derivación ^b 	<ul style="list-style-type: none"> • Cantera de agregados

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019). ^b La subestación de derivación se ubica fuera del área de modelamiento realizado.

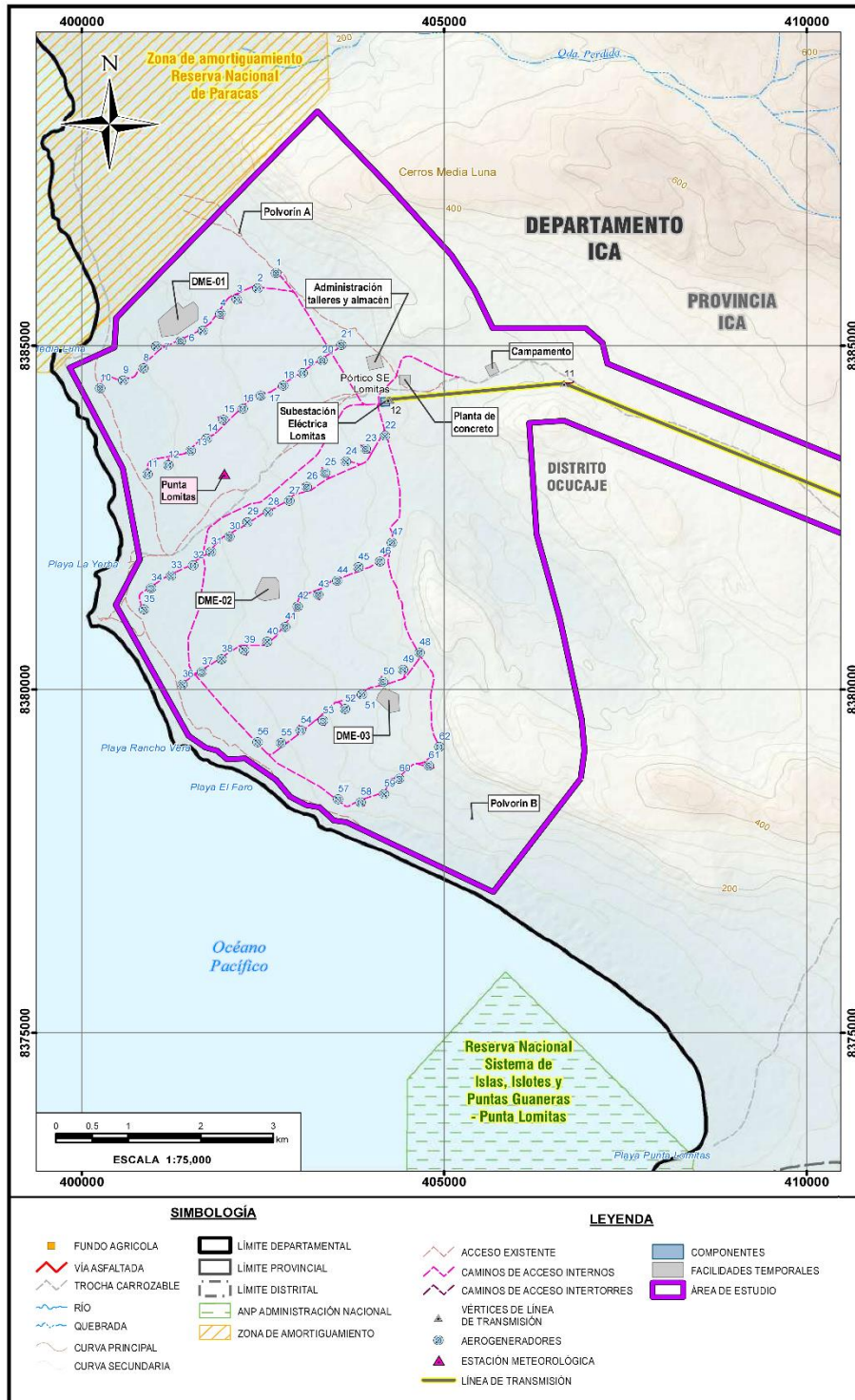


Figura 21. Componentes del proyecto
FUENTE: Modificado de SNC-Lavalin (2019)

3.2.2. ETAPAS DEL PROYECTO

El desarrollo del proyecto contempla las etapas de construcción, operación y abandono.

a. Etapa de construcción

La etapa de construcción del proyecto tendrá una duración aproximada de 22 meses e implicará la ejecución de un conjunto de obras preliminares, excavaciones y movimiento de tierras, trabajos en concreto, instalación de tuberías, entre otras actividades. La secuencia de construcción de los componentes se lista a continuación (SNC-Lavalin, 2019):

- Transporte de materiales equipos e insumos, a través de la red vial y portuaria nacional,
- Habilitación de los componentes temporales,
- Cimentación de los aerogeneradores, donde se realizarán voladuras controladas individuales durante las excavaciones en zonas rocosas,
- Montaje de los aerogeneradores,
- Construcción de la subestación Punta Lomitas,
- Tendido de la línea de transmisión (LT),
- Construcción de la subestación de Derivación (220 kV) y conexión al SEIN, para transmitir la electricidad generada en el parque eólico,
- Conexión y pruebas de energización, a fin de comprobar el correcto funcionamiento de los componentes del Proyecto, y
- Desmovilización.

b. Etapa de operación

El tiempo estimado de vida del proyecto será de 30 años y se espera tener una generación de 1,139 GWh/año. Durante esta etapa se realizarán actividades de operación y mantenimiento de aerogeneradores, línea de transmisión y subestaciones Punta Lomitas y Derivación (SNC-Lavalin, 2019).

c. Etapa de abandono

Debido a que las centrales eólicas están diseñadas para aproximadamente 30 años de vida útil, luego del cual pueden ser repotenciadas o cerradas definitivamente. La decisión de repotenciar estará en función de la evaluación de costos y su retorno económico. Las

actividades de cierre y desmantelamiento consistirán en la demolición y desmontaje de los aerogeneradores, subestaciones, edificio de control y otras estructuras; así como la remoción y acondicionamiento final del terreno (SNC-Lavalin, 2019).

3.2.3. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL SEMIDETALLADO (EIA-sd)

En 2017, la empresa titular solicitó a la Dirección General de Electricidad la concesión temporal para desarrollar los estudios de factibilidad relacionados a la actividad de generación de energía eléctrica del futuro parque eólico Punta Lomitas, la cual fue otorgada mediante la Resolución Ministerial N° 176-2017-MEM/DM (SNC-Lavalin, 2019).

Posteriormente, mediante Resolución Directoral N° 035-2018-SENACE-PE/DEAR, el Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE), resolvió ratificar la propuesta de clasificación del proyecto en la Categoría II – Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-sd), así como aprobar de los términos de referencia específicos (SNC-Lavalin, 2019).

El EIA-sd comprende la descripción del proyecto, la identificación de las áreas de influencia, los estudios de línea base ambiental, la caracterización del impacto ambiental, la estrategia de manejo ambiental y otras secciones de acuerdo a los términos de referencia. La caracterización del impacto ambiental tiene como alcance el dimensionamiento y evaluación cualitativa/cuantitativa de los posibles impactos que genere el proyecto de tal manera que se establezca el grado de afectación y vulnerabilidad de los ecosistemas y contextos sociales (SNC-Lavalin, 2019).

La metodología utilizada para la identificación y evaluación de los impactos, basada en Conesa (2010), define componentes socioambientales interactuantes con el proyecto, donde el ruido en el medio físico es uno de los más importantes debido al potencial de generación sonora que tienen las diferentes actividades de construcción y operación del proyecto.

En la caracterización de los impactos se deben utilizar herramientas cualitativas y, en la medida de lo posible, estimaciones cuantitativas de los impactos, entre las que se incluyen el uso de criterios técnicos, modelamiento, casos empíricos y juicio profesional (MINAM, 2022). En el caso del proyecto, se aplicó el modelo predictivo de ruido debido a la magnitud de las emisiones sonoras generadas durante la construcción y operación de los aerogeneradores.

3.3. APORTE DEL PROFESIONAL EN EL ESTUDIO

El Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-sd) del proyecto fue elaborado por un equipo multidisciplinario de SNC-Lavalin, con experiencia en consultoría; apoyándose con equipos para la recolección de información *in situ* durante los trabajos de campo, y en el análisis de muestras por medio de un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) (SNC-Lavalin, 2019).

El modelamiento de ruido fue elaborado por una parte del Equipo de Ciencias del Aire y de la Tierra de SNC-Lavalin, el cual se encarga de realizar modelos ambientales. El especialista Jean Carlos Paucar Baldeón ha aportado en la identificación de las fuentes de ruido, el inventario de emisiones sonoras, modelamiento de la propagación superficial y el modelamiento de la propagación subacuática. En la Tabla 8 se presentan los integrantes del equipo encargado de la elaboración del modelamiento de ruido del proyecto.

Tabla 8: Integrantes del equipo de Ciencias del Aire y de la Tierra de SNC-Lavalin

Integrante	Puesto	Aporte ^a
Jean Carlos Paucar Baldeón	Especialista ambiental intermedio	Modelamiento de ruido Redacción de informes
Julio Quijano Vargas	Especialista ambiental intermedio	Supervisión y revisión
Fabiana Posadas	Gerente del Equipo de Ciencias del Aire y de la Tierra	Revisión final

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019).

3.4. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO REALIZADO

Los resultados obtenidos en el modelo predictivo de ruido del Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-sd) se utilizaron para la caracterización del impacto ambiental por ruido ambiental, donde se aplicaron metodologías de evaluación de impactos basado en Conesa (2010). Posteriormente, la evaluación determinó que el impacto por el incremento de los niveles sonoros en la etapa de construcción y operación será de importancia “no significativo”. Ello sumado a la evaluación de otros impactos físicos y sociales identificados en el proyecto, permitió que el EIA-sd se aprobara mediante la resolución N° 0101-2020-MINEM/DGAAE y que el proyecto obtenga la certificación ambiental para su ejecución.

El modelamiento de ruido es una herramienta importante aplicada para la evaluación de los impactos por ruido ambiental, debido a la cantidad de variables consideradas en su

configuración tales como la aplicación de modelos de predicción de las emisiones y mediciones directas, así como la aplicación de la norma ISO 9613:1996 para la predicción de la propagación, la cual considera la atenuación del ruido por efectos de divergencia geométrica, topografía, absorción del suelo y condiciones atmosféricas.

Gracias al modelo predictivo realizado se pudo determinar que los niveles de ruido impulsivo y continuo que generará el proyecto no tendrán una afectación significativa sobre las personas, viviendas y fauna marina. Esto otorga una garantía para ejecutar el proyecto eólico siempre en cuanto se apliquen correctamente las medidas de prevención, corrección y/o mitigaciones planteadas en el EIASd tales como realizar el mantenimiento preventivo y/o correctivo en las unidades móviles, equipos (como aerogeneradores) y/o maquinarias a fin de controlar los niveles sonoros durante su funcionamiento, este mantenimiento se realizará según las especificaciones del fabricante.

El proyecto “Parque Eólico Punta Lomitas y su Interconexión al SEIN” fue uno de los primeros proyectos eólicos que lograron obtener una certificación ambiental y concesión definitiva por parte del Estado y próximamente serán ejecutados. La implementación del proyecto aportará mucho al desarrollo energético y económico de las localidades cercanas y del país.

3.5. TIPO DE TRABAJO

Basado en la metodología aplicada para la configuración del modelo predictivo de ruido, se podría considerar que el trabajo realizado corresponde a una investigación no experimental de tipo descriptiva transversal, ya que se enfoca en el análisis de diferentes variables de emisión y propagación del ruido generado durante la construcción y operación de los aerogeneradores del parque eólico. Estas variables, a su vez, permitieron analizar los efectos que podría generar el ruido sobre las personas, viviendas y la fauna local.

3.6. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA

La metodología del trabajo de suficiencia profesional (TSP) se basó en cuatro partes que abarcan la identificación de escenarios y fuentes de emisión de ruido, el inventario de emisiones sonoras, el modelamiento de ruido superficial, el modelamiento de ruido subacuático y la propuesta de medidas de control. En la Figura 22 se presenta el esquema general de la metodología.



Figura 22. Diseño de la metodología

3.6.1. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE RUIDO Y ESCENARIOS

Las principales fuentes de emisión del proyecto serán las voladuras a realizar durante la construcción de los aerogeneradores, así como el funcionamiento de los aerogeneradores, la subestación Punta Lomitas y los accesos internos durante la operación del proyecto. Por ese motivo, la definición de los escenarios de modelamiento se realizó considerando dos escenarios de modelamiento, uno de construcción y otro de operación.

a. Escenario de construcción

Este escenario comprende principalmente las voladuras controladas que se realizarán para la cimentación de los aerogeneradores, considerando que las detonaciones se ejecutarán de forma unitaria y que las emisiones presentarán niveles de potencia sonoros altos (mayores a 140 dBC) que opacarán a otras fuentes de emisión tales como la maquinaria y el acarreo de materiales (SNC-Lavalin, 2019).

b. Escenario de operación

Este escenario comprende la operación de los aerogeneradores y la subestación Punta Lomitas, así como el tránsito de vehículos ligeros por los caminos de acceso interno para el mantenimiento del Proyecto (SNC-Lavalin, 2019). En la Tabla 9 se resumen las principales características técnicas de los componentes.

Tabla 9: Datos técnicos de los componentes operativos

Componente	Característica	Potencia ^a
Aerogenerador	Altura de rotor: 84 – 120 metros	3.0 - 4.8 MW
Subestación Punta Lomitas	Dos transformadores de tensión	220 kV
Accesos internos	Camionetas, Camión grúa	166 - 256 HP

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019).

3.6.2. INVENTARIO DE EMISIONES DE RUIDO

El inventario de emisiones de ruido utilizará la información recopilada en la identificación de las fuentes y la descripción de sus características técnicas específicas.

Los niveles de ruido en las fuentes de emisión sonora se pueden determinar por tres formas:

- Mediciones de ruido directas en campo o condiciones controladas.
- Base de datos de mediciones realizadas en condiciones similares y recopiladas en libros, guías y artículos científicos.
- Predicción de ruido mediante modelos en fuentes de emisión.

En el modelamiento de ruido del proyecto, se utilizaron mediciones realizadas por la empresa que fabrica y comercializa los aerogeneradores, se recopilaron datos de guías específicas para la subestación Punta Lomitas y se realizaron cálculos para la predicción de ruido en voladuras y los accesos internos. Las herramientas utilizadas se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10: Herramientas a utilizar para la determinación de las emisiones sonoras

Escenario	Fuente ^a	Determinación de las emisiones
Etapa de operación	Voladuras	Cálculos basados en la guía <i>Structure Response and Damage Produced by Airblast From Surface Mining</i> ^b , descrito en la sección 2.6.2 del presente TSP
	Aerogenerador	Especificaciones técnicas obtenidas mediante mediciones en aerogeneradores
Etapa de construcción	Subestación Punta Lomitas	Datos técnicos de la guía <i>Electric Power Plant Environmental Noise Guide</i> ^c
	Otras fuentes	Cálculo de emisiones mediante modelo RLS-90 en el <i>software CadnaA</i>
	Accesos internos	

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019). ^b Siskind et al. (1980). ^c Teplitzky et al. (1979).

A continuación, se describe algunas precisiones sobre la predicción del ruido en las fuentes de emisión consideradas en el modelamiento.

a. Predicción de ruido en voladuras

La predicción de ruido en voladuras se realizó en base a los cálculos de la guía *Structure Response and Damage Produced by Airblast From Surface Mining* (Siskind et al., 1980) descritos en la sección 2.6.2 del presente TSP.

Uno de los principales parámetros a utilizar en el cálculo es la carga explosiva de las voladuras. En la Tabla 11 se lista los datos utilizados en la cimentación de cada aerogenerador, considerando dos fases de explosión. Este parámetro será utilizado para estimar los niveles de ruido que se emitirían durante las voladuras controladas en la etapa de

construcción del proyecto. El método de cálculo utilizado fue el presentado en la sección 2.6.2.

Tabla 11: Carga explosiva a utilizar en la cimentación de los aerogeneradores

Nro. Aerogenerador	Plazo de ejecución (meses)	Profundidad máxima (m)	% Roca	Carga Explosiva (kg/voladura) ^a	
				Fase 1	Fase 2
1	6	3.5	40	114.0	158.0
2	6	3.5	30	114.0	118.5
3	6	3.5	60	114.0	237.0
4	6	3.5	80	114.0	316.0
5	6	3.5	50	114.0	197.5
6	6	3.5	30	114.0	118.5
7	6	3.5	50	114.0	197.5
10 al 12	6	3.5	70	114.0	276.5
13	6	3.5	60	114.0	237.0
14 al 15	6	3.5	50	114.00	197.5
16	6	3.5	60	114.0	237.0
17 al 18	6	3.5	50	114.0	197.5
19 al 20	6	3.5	30	114.0	118.5
21	6	3.5	40	114.0	158.0
22	6	3.5	60	114.0	237.0
23 al 24	6	3.5	50	114.0	197.5
25 al 28	6	3.5	60	114.0	237.0
29 al 36	6	3.5	70	114.0	276.5
37 al 41	6	3.5	90	114.0	355.5
42 al 54	6	3.5	100	114.0	395.0
55 al 56	6	3.5	90	114.0	355.5
57 al 58	6	3.5	80	114.0	316.0
59 al 62	6	3.5	100	114.0	395.0

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019).

Cabe señalar que las predicciones realizadas se aplican para la estimación de ondas de presión en el aire generadas por voladuras producidas en un rango de frecuencias, incluidas las audibles y las que están por debajo del extremo inferior del espectro audible. Sin embargo, estas se pueden utilizar como un indicador estimado de los niveles de potencia en decibeles con ponderación C (SNC-Lavalin, 2019).

b. Predicción de ruido en aerogeneradores

La predicción de ruido en aerogeneradores durante la etapa de operación del proyecto se realizó en base a mediciones realizadas por la empresa Siemens Gamesa que fabrica y comercializa los aerogeneradores que se instalarán en el proyecto. Dichas mediciones se realizaron siguiendo los lineamientos del estándar IEC 61400-11: 2012. Los resultados de

las mediciones se obtuvieron de las especificaciones técnicas y se presentan en la sección 4.0 del presente TSP.

Cabe señalar que, dado que se cuentan con mediciones realizadas en los aerogeneradores de la misma marca y potencia a las que se instalarán en el proyecto, no fue necesario aplicar los modelos de predicción de ruido descritos en la sección 2.6.1.

c. Predicción de ruido en otras fuentes

La predicción de ruido en la subestación Punta Lomitas durante la etapa de operación del proyecto, utilizó los datos técnicos de la guía *Electric Power Plant Environmental Noise Guide* que presentan niveles de ruido generado por transformadores a una potencia similar a las planteadas en el proyecto (Teplitzky et al., 1979).

La predicción de ruido en los accesos internos se realizó utilizando la herramienta de modelado de fuentes de emisión del *software* CadnaA. El modelo utilizado es el RLS-90 el cual se describe en la sección 2.6.2. Los datos de entrada fueron los listados en la Tabla 12.

Tabla 12: Datos técnicos del ruido en accesos internos

Parámetro	Valor	Unidad ^a
Flujo vehicular	1	vehículo/hora
Porcentaje de vehículos pesados	25	%
Límite de velocidad	30	km/hora
Superficie de la vía	Afirmado	-
Pendiente de la vía	± 5	%

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019).

3.6.3. MODELAMIENTO DE LA PROPAGACIÓN SUPERFICIAL

a. Software de modelamiento

Se utilizará el *software* CadnaA (*Computer Aided Noise Abatement*) desarrollado por la compañía DataKustik GmbH. Este *software* es ampliamente aceptado para evaluar los niveles de ruido, por lo que fue identificado como el más apropiado para evaluar los cambios en los niveles de ruido asociados a los componentes del proyecto (SNC-Lavalin, 2019).

Como se indica en la sección 2.6.4, los cálculos utilizados por CadnaA se basan en las ecuaciones y criterios de la norma ISO 9613-2:1996. Asimismo, se encuentra dentro de la lista de programas aceptables para el trazado de mapas de ruido según la norma NTP 854.001-1: 2012 (INACAL, 2017b).

b. Configuraciones generales

Para el desarrollo del modelamiento en el *software* CadnaA, inicialmente se creó un nuevo proyecto y se realizaron las configuraciones generales relacionadas a los cálculos que se realizarán en los modelos de los escenarios de construcción y operación. Las normas de cálculo seleccionadas fueron la ISO 9613-2:1996 para la propagación en zona industrial y la norma RLS-90 para carreteras.

c. Configuración de la topografía

La información topográfica fue descargada a partir del mapa topográfico Modelo de Elevación Digital Global Aster (ASTER GDEM, por sus siglas en inglés) proporcionado gratuitamente por el Geoservidor del Ministerio del Ambiente. Dicha información provee un modelo digital de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) de todo el territorio peruano en formato GeoTIFF y una resolución espacial de 30 metros.

Dicha información topográfica fue procesada mediante el uso del software ArcGIS por especialistas de SNC-Lavalin, con la finalidad de ingresarla al *software* CadnaA. En la Figura 23 se presenta la configuración del terreno y su comparación con la imagen satelital de Google Earth.

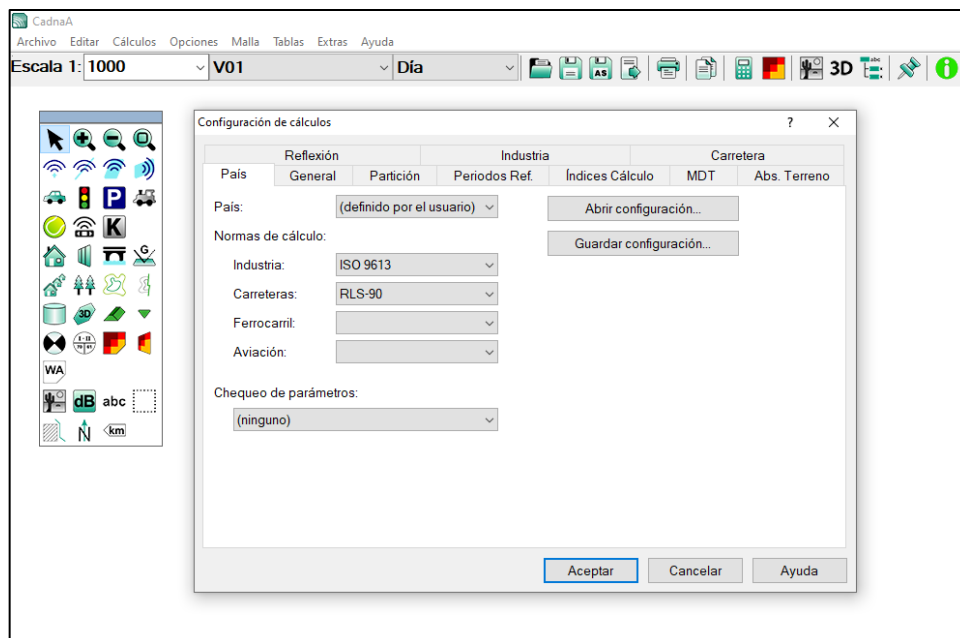


Figura 23. Configuraciones generales

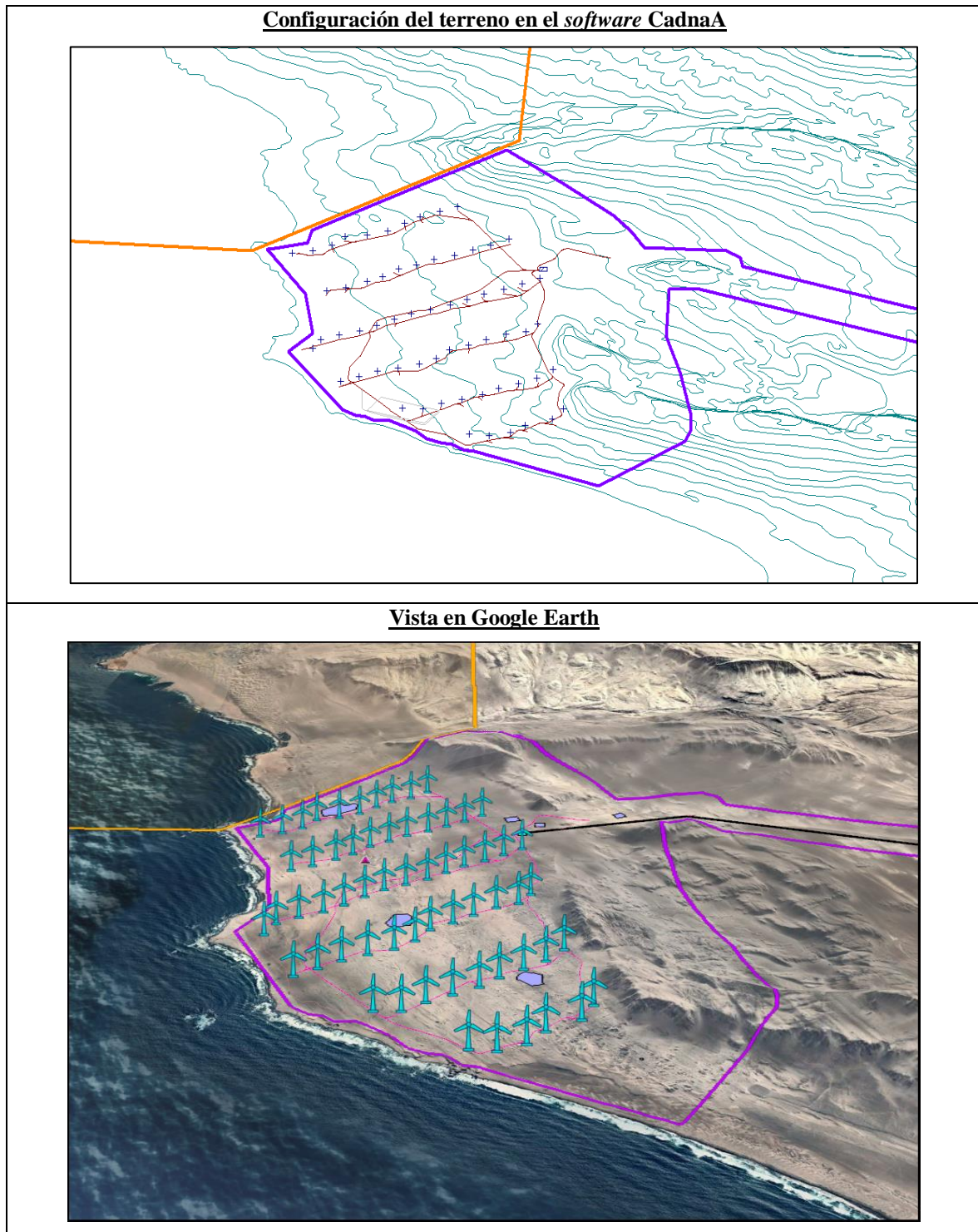


Figura 24. Configuración de la topografía del área de estudio

d. Configuración de la absorción del suelo

El área de estudio está definida por dos tipos de superficies con propiedades de absorción muy diferentes: zona costera desértica y zona marítima. Por ello, se realizó la configuración de los modelos considerando estas dos zonas y se utilizaron como datos de entrada los coeficientes de absorción del suelo definidos por el factor G descrito en la sección 2.6.3.

En la Tabla 13 se presentan los valores del factor G utilizados a diferentes tipos de suelos de acuerdo con la norma ISO 9613-2:1996.

Tabla 13: Factores G de absorción del suelo

Tipo de suelo ^a	Valor	Descripción
Duro	0	Superficies de suelo que tienen una porosidad baja. Por ejemplo: pavimento, agua, hielo, hormigón, etc.
Blando o poroso	1.0	Superficies de suelo que tienen una porosidad alta. Por ejemplo: suelo cubierto por hierba, árboles u otra vegetación y tierras de cultivo.
Mixto o intermedio	0.5	Si la superficie consiste en suelo duro y poroso. Entonces G toma valores que van de 0 a 1, siendo el valor la fracción de la región que es porosa.

FUENTE: ^a Norma ISO 9613-2:1996

Considerando la información disponible, se consideró que la zona marítima y la zona desértica tendrán factores G de 0 (suelo duro) y 0.5 (suelo mixto o intermedio) respectivamente.

e. Configuración meteorológica

Con el objetivo de caracterizar las condiciones meteorológicas del área de estudio, se utilizó la información meteorológica procesada con el modelo regional WRF para el año 2016 y otorgada por la empresa *Lakes Environmental Software*, la cual fue validada previamente con información meteorológica de la estación Ocucaje operada por el SENAMHI (SNC-Lavalin, 2019). La data utilizada en el modelamiento corresponde a los parámetros de temperatura y humedad relativa, con valores promedio de 21°C y 84% respectivamente. Asimismo, se configuraron las estadísticas de viento de día y noche de acuerdo con las rosas de vientos, tal como se muestra en la Figura 25.

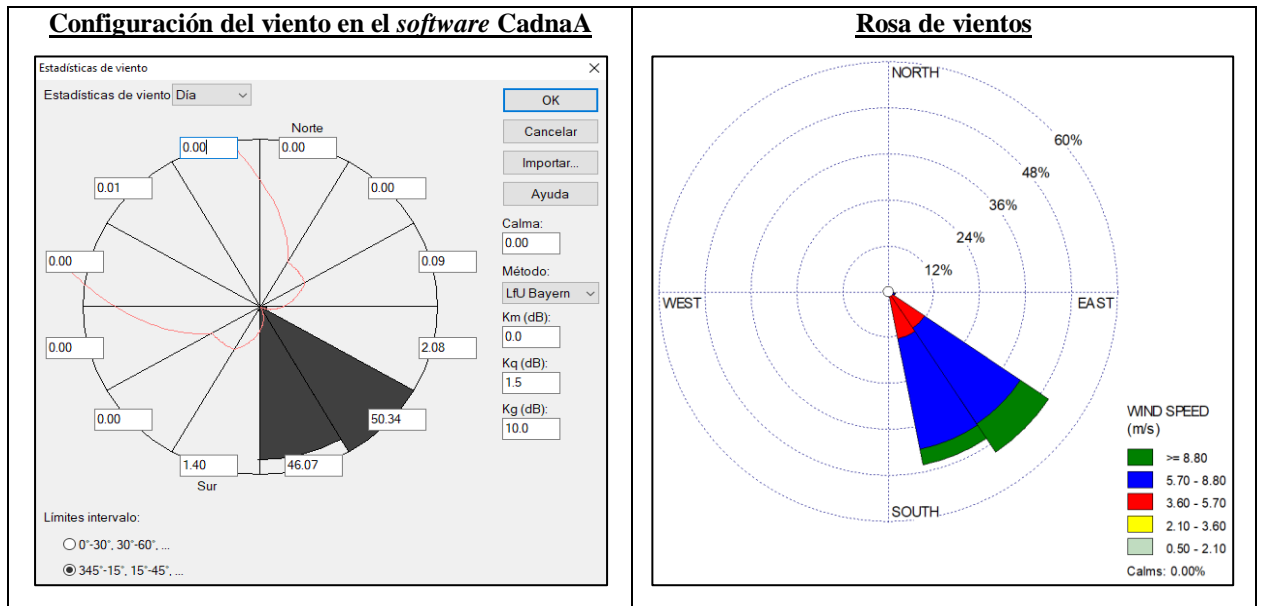


Figura 25. Configuración de la dirección del viento

f. Configuración del área de cálculo

El área de cálculo sobre el cual se realizó la corrida de los modelos de propagación tuvo un área aproximada de 400 km². Las coordenadas fueron las siguientes:

- Vértice noroeste: 394 000 E, 8 392 000 N
- Vértice suroeste: 394 000 E, 8 372 000 N
- Vértice sureste: 414 000 E, 8 372 000 N
- Vértice noreste: 414 000 E, 8 392 000 N

g. Configuración de las fuentes de emisión

Las fuentes de ruido fueron incorporadas a los modelos como fuentes puntuales, lineales y de área.

- Fuentes puntuales: constituidos principalmente por los 62 aerogeneradores.
- Fuentes lineales tipo carretera: constituidas por aquellas fuentes que presentan una emisión de ruido constante a lo largo de una vía de transporte.
- Fuentes de área: constituidas por superficies en las cuales funcionan un conjunto de equipos, maquinarias o actividades específicas que generan ruido. Por ejemplo, la construcción de las cimentaciones de los aerogeneradores (voladuras) y la operación de la subestación Punta Lomitas.

En la Figura 26 se muestra la configuración de las fuentes de emisión en el modelamiento.

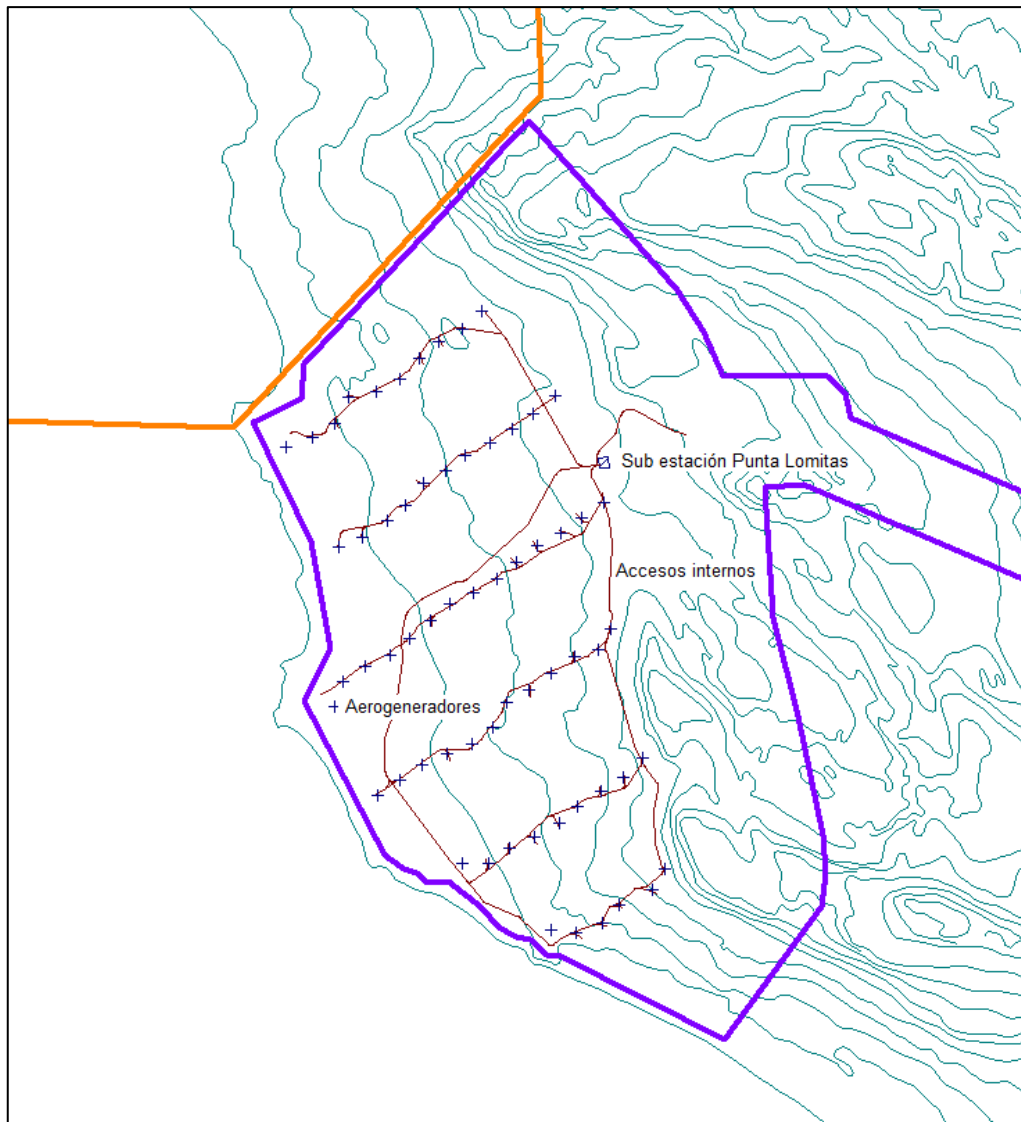


Figura 26. Configuración de las fuentes en el software CadnaA

La información de entrada al modelo corresponde principalmente a los niveles de potencia acústica en bandas de octavas de cada fuente, incluyendo datos técnicos específicos (SNC-Lavalin, 2019). En la Tabla 14, se presentan los datos de ingreso de las fuentes de emisión configurados en los modelos de cada escenario de modelamiento.

Tabla 14: Fuentes de emisión y datos de ingreso al modelo

Escenario	Fuente	Tipo	Datos de ingreso ^a	
Etapa de construcción	Voladuras	Área	- Nivel de ruido pico en decibeles C (dBC)	
Etapa de operación	Aerogeneradores	Puntual	- Nivel de potencia sonora en ponderación A (L_{WA}) - Altura de rotor, en metros	
	Otras fuentes	Subestación Punta Lomitas	Área	- Nivel de potencia sonora en ponderación A (L_{WA})
	Accesos internos	Lineal-Carretera	- Datos técnicos listados en la Tabla 12	

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019).

h. Configuración de los receptores

En el área de estudio no se identifican localidades con población de residencia permanente. Las localidades más próximas se ubican a distancias lineales aproximadas de 6.4 km, Fundo Samaca, ubicada en el distrito de Santiago; y 6.5 km, Fundo San Carlos y 8.6 km, Callango, ubicadas en el distrito de Ocucaje (SNC-Lavalin, 2019).

Adicionalmente al área de cálculo descrito anteriormente, se consideraron puntos referenciales de evaluación en los cuales se realizaron los cálculos de niveles de ruido para su descripción. Estos puntos fueron de dos tipos:

- Puntos referenciales de evaluación relacionados con los efectos en las viviendas (golpes de aire) y en las personas (ruido ambiental), presentados en la Tabla 15. Se consideran puntos en el límite del área de influencia del proyecto y viviendas aisladas cercanas a las playas Media Luna y Punta Lomitas; así como la estación de monitoreo de ruido RUI-01 utilizado para las mediciones de ruido de fondo antes del proyecto (línea base).
- Puntos referenciales de evaluación relacionados con los efectos sobre la fauna marina (ruido acuático y subacuático), presentados en la Tabla 16. De todas las especies identificadas en el área de estudio, el lobo marino fino (*Arctocephalus australis*) se encuentra categorizada como una especie en peligro, debido a la reducción crítica que sufrieron sus poblaciones por la explotación comercial indiscriminada que se dio en los años 1940 y la reducción crítica después del evento El Niño 1997/1998, equivalente al 71 % de la población nacional aproximadamente (SNC-Lavalin, 2019).

Tabla 15: Puntos referenciales de evaluación de ruido sobre personas

N°	Código ^a	Ubicación	Coordenadas UTM Datum WGS 84		Descripción
			Este	Norte	
1	ZA-1	Fuera del área de influencia del Proyecto	399 611	8 384 618	A 680 m del aerogenerador N° 10
2	ZA-2		399 916	8 384 948	A 800 m del aerogenerador N° 9
3	ZA-3		400 147	8 385 200	A 850 m del aerogenerador N° 8
4	ZA-4		400 486	8 385 568	A 780 m del aerogenerador N° 7
5	ZA-5		401 204	8 386 347	A 1 100 m del aerogenerador N° 4
6	ZA-6		401 925	8 387 132	A 1 300 m del aerogenerador N° 1
7	Playa Media Luna	Viviendas cercanas a la playa	400 388	8 384 980	Viviendas cercanas a la playa Media Luna
8	Playa Punta Lomitas		408 716	8 373 536	Viviendas cercanas a la playa Punta Lomitas
9	RUI-01	Estación de monitoreo de ruido	402 754	8 381 933	En el área donde se emplazarán los aerogeneradores

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019).

Tabla 16: Puntos referenciales de evaluación del ruido sobre la fauna marina

N°	Código ^a	Ubicación	Coordenadas UTM Datum WGS 84		Descripción
			Este	Norte	
1	PMB_BIO_LOB_01	Islotes costeros donde se avistan lobos marinos	401 505	8 379 201	Orilla en desierto costero (Islote pequeño)
2	PMB_BIO_LOB_02		401 283	8 379 215	Orilla en desierto costero (Islote grande)
3	LC-1	Orillas fuera del área de influencia del Proyecto	399 586	8 384 746	Orilla a 730 m del aerogenerador N° 10
4	LC-2		399 647	8 384 930	Orilla a 800 m del aerogenerador N° 10
5	LC-3		399 903	8 384 980	Orilla a 630 m del aerogenerador N° 10
6	LC-4		400 156	8 385 229	Orilla a 980 m del aerogenerador N° 9
7	P-Co	Puntos críticos en el océano	399 984	8 385 044	Punto de máximo nivel de ruido sobre el océano, en la etapa de construcción
8	P-Op		399 995	8 385 119	Punto de máximo nivel de ruido sobre el océano, en la etapa de operación

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019).

En la Figura 27 se presentan los puntos referenciales de evaluación de ruido.

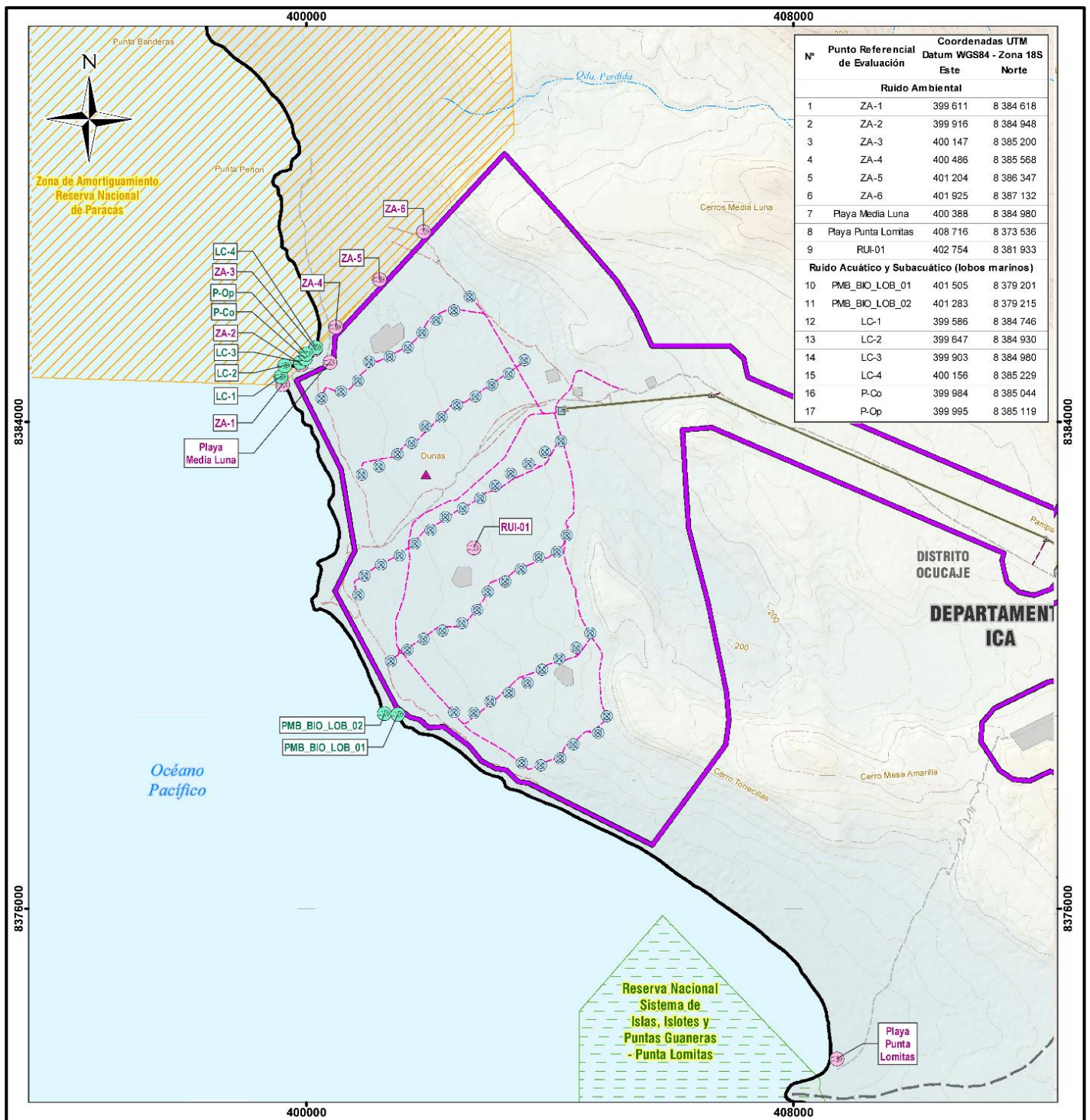


Figura 27. Ubicación de puntos referenciales de evaluación
FUENTE: Modificado de SNC-Lavalin (2019).

3.6.4. MODELAMIENTO DE LA PROPAGACIÓN SUBACUÁTICA

Para el modelamiento de ruido por debajo de la superficie del océano se aplicará la ecuación de propagación subacuática de Ainslie (2010), descrita en la sección 2.7. A partir de la aplicación de este modelo, se determinaron los niveles L_{pico} en el agua proveniente de las voladuras controladas para la cimentación de los aerogeneradores, considerando los puntos referenciales de evaluación del ruido sobre la fauna marina.

En la Tabla 17 se presentan los datos de entrada utilizados en los cálculos de la atenuación dentro del océano.

Tabla 17: Datos de entrada al modelo de ruido subacuático

Escenario ^a	Valor	Referencia
Gradiente de pérdida por reflexión (η)	0.25 (Arena)	Ainslie (2010)
Profundidad de referencia	1 metro	
Profundidad del fondo marino (H)	200 m	SNC-Lavalin (2019)
Distancia de la fuente al receptor	10, 50, 150 y 200 metros	

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019).

Finalmente, con la finalidad de estimar los efectos específicos en lobos marinos (grupo Pinnípedos otáridos), se utilizarán los umbrales de pérdida de audición (L_{pico}) de 226 dB para TTS y 232 dB para PTS presentados en la sección 2.8.2.

3.6.5. PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE CONTROL

Los modelos configurados para los escenarios de construcción y operación presentan controles en las principales fuentes de emisión de ruido identificados. En el escenario de construcción, se planteó que las voladuras se programen de forma progresiva y en tiempos diferentes, con la finalidad de no ejecutar dos detonaciones en un mismo momento. En el escenario de operación, se planteó la regulación de la capacidad a una potencia de 3 000 kW en cinco aerogeneradores ubicados cerca de la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional de Paracas. La verificación de los controles planteados se realizó comparando los resultados de los escenarios modelados con los controles planteados y los escenarios sin controles configurados de forma preliminar.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del modelamiento de ruido se presentan de acuerdo al diseño de la metodología, considerando la identificación de fuentes de emisión en los escenarios de construcción y operación, las emisiones de ruido obtenidas en el inventario de emisiones, el modelamiento de la propagación superficial en la zona costera y el modelamiento de la propagación subacuática en el océano.

4.1. FUENTES DE RUIDO Y ESCENARIOS

De acuerdo a lo planteado anteriormente, las principales fuentes de emisión son las voladuras durante la construcción de los aerogeneradores, así como el funcionamiento de los aerogeneradores, la subestación Punta Lomitas y los accesos internos durante la operación del proyecto. En la Tabla 18 se presentan las fuentes de emisión identificadas, para las cuales se realizó el inventario de emisiones considerado en el modelamiento de ruido.

Tabla 18: Principales fuentes de emisión identificadas por escenario

Escenario	Fuente ^a	Tipo de fuente
Etapa de construcción	Voladuras	Área
	62 aerogeneradores	Puntual
Etapa de operación	Subestación Punta Lomitas	Área
	Otras fuentes Accesos internos	Lineal - Carretera

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019).

4.2. EMISIONES DE RUIDO

En el Anexo 1 se presentan los detalles y resultados del inventario de emisiones realizado. A continuación, se presenta un resumen de los niveles de ruido emitidos por las fuentes identificadas en cada escenario.

4.2.1. ESCENARIO DE CONSTRUCCIÓN

En el escenario de construcción se realizaron los cálculos planteados por Siskind et al. (1980) para la predicción de los niveles de ruido emitidos por voladuras. Los resultados se expresaron como niveles de presión sonora pico (L_{pico}) a una distancia de 10 metros en decibeles con ponderación C (dBC) y decibeles con ponderación A (dBA) con la finalidad de modelar la propagación del ruido impulsivo. También se expresaron como niveles de presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) en un periodo de 15 horas del horario diurno (entre las 07:01 hasta las 22:00 horas), considerando los niveles de fondo.

En la Tabla 19 se presentan los niveles de ruido emitidos por voladuras estimados para la construcción de los 62 aerogeneradores del proyecto. Los niveles de presión sonora pico (L_{pico}) varían entre 135.7 dBC y 141.9 dBC y los niveles de presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) en 15 horas varían 86.5 dBA y 92.8 dBA.

Tabla 19: Estimación de los niveles de ruido emitidos por voladuras

Nro. Aerogenerador	Nivel de presión sonora pico (L_{pico}) a 10 metros		Nivel de presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) de fondo en 15 min (dBA) ^a	Nivel de presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) a 10 metros (dBA)		
	dBC	dBA		15 min.	1 hora	15 horas
1	140.7	138.9	56.7	109.4	103.4	91.6
2	135.7	133.9	56.7	104.3	98.3	86.5
3	139.2	137.4	56.7	107.9	101.9	90.1
4	140.7	138.9	56.7	109.4	103.4	91.6
5	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
6	135.7	133.9	56.7	104.3	98.3	86.5
7 al 9	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
10 al 12	140.0	138.2	56.7	108.7	102.7	90.9
13	139.2	137.4	56.7	107.9	101.9	90.1
14 al 15	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
16	139.2	137.4	56.7	107.9	101.9	90.1
17 al 18	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
19 al 20	135.7	133.9	56.7	104.3	98.3	86.5
21	137.2	135.4	56.7	105.8	99.8	88.0
22	139.2	137.4	56.7	107.9	101.9	90.1
23 al 24	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
25 al 28	139.2	137.4	56.7	107.9	101.9	90.1
29 al 36	140.0	138.2	56.7	108.7	102.7	90.9
37 al 41	141.3	139.5	56.7	110.0	104.0	92.2
42 al 54	141.9	140.1	56.7	110.5	104.5	92.8
55 al 56	141.3	139.5	56.7	110.0	104.0	92.2
57 al 58	140.7	138.9	56.7	109.4	103.4	91.6
59 al 62	141.9	140.1	56.7	110.5	104.5	92.8

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019).

Los cálculos se realizaron durante el periodo diurno porque las voladuras se realizarán durante el mediodía (12:00 horas) como referencia.

4.2.2. ESCENARIO DE OPERACIÓN

En el escenario de operación se utilizaron mediciones realizadas por la empresa Siemens Gamesa, se recopilaron datos de la guía de Teplitzky et al. (1979) para la subestación Punta Lomitas y se aplicó el modelo RLS-90 de tráfico vial en los accesos internos.

a. Aerogeneradores

En la Tabla 20 se presentan los niveles de ruido emitidos por aerogeneradores, expresados como niveles de potencia sonora (L_w) en decibeles con ponderación A (dBA). Los niveles fueron de 107.8 dBA en todos los aerogeneradores durante el horario diurno y variaron entre 99.9 dBA y 107.8 dBA en aerogeneradores específicos durante el horario nocturno.

Tabla 20: Niveles de ruido emitidos por aerogeneradores

Nro. Aerogenerador	Altura sobre el suelo (m)	Horario diurno ^a		Horario nocturno ^a	
		Potencia (kW)	Nivel de potencia sonora (L_w) (dBA) ^b	Potencia (kW)	Nivel de potencia sonora (L_w) (dBA) ^b
1 al 5	84 - 120	4 500	107.8	4 500	107.8
6 al 10 ^c	84 - 120	4 500	107.8	3 000	99.9
11 al 62	84 - 120	4 500	107.8	4 500	107.8

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019). ^b Nivel de potencia sonora máximo correspondiente al aerogenerador Siemens - Modelo SG 4.5-145, obtenido a partir de mediciones realizadas en base a la norma IEC 61400-11. Los aerogeneradores 6 al 10 presentan controles que regulan la capacidad del aerogenerador a una potencia de 3 000 kW durante el horario nocturno (SIEMENS, 2018).

b. Subestación Punta Lomitas

En la Tabla 21 se presentan las características y niveles de ruido emitidos por la subestación Punta Lomitas, expresados como niveles de potencia sonora (L_w) en decibeles con ponderación A (dBA). Los niveles de ruido fueron de 113.4 dBA durante los horarios diurno y nocturno.

Tabla 21: Niveles de ruido emitidos por la subestación Punta Lomitas

Fuente	Altura sobre el suelo (m)	Horario diurno ^a		Horario nocturno ^a	
		Potencia (kV)	Nivel de potencia sonora (L_w) (dBA) ^b	Potencia (kV)	Nivel de potencia sonora (L_w) (dBA) ^b
Subestación Punta Lomitas	2	220 kV	113.4	220 kV	113.4

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019). ^b Guía *Electric Power Plant Environmental Noise Guide* (Teplitzky et al., 1979).

c. Accesos internos

En la Tabla 22 se presentan los niveles de ruido emitidos por el tránsito vehicular en accesos internos, expresados como niveles de presión sonora a 25 metros de distancia ($L_{m,E}$) en decibeles con ponderación A (dBA). Los niveles de ruido fueron de 38.2 dBA durante los horarios diurno y nocturno.

Tabla 22: Niveles de ruido emitidos en accesos internos

Fuente	Ruta	Longitud (km)	Tipo de vehículo	Flujo vehicular ^a		Nivel de presión sonora ($L_{m,E}$) (dBA) ^b
				Veh/día	Veh/año	
Accesos internos	Edificio de control - Plataformas	41.83	Camioneta Toyota Hilux	4	1460	38.2
			Camión grúa HINO GH 1826	2	730	

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019). ^b Estimado con el modelo RLS-90 en el *software* CadnaA.

4.3. NIVELES DE RUIDO SUPERFICIAL

Los niveles de ruido superficial se obtuvieron luego de la configuración y corrida de los modelos de propagación en el *software* CadnaA. Los resultados se presentan de acuerdo al diseño de la metodología para los escenarios de construcción y operación, en los puntos referenciales de evaluación de los efectos en las viviendas (golpes de aire), en las personas (ruido ambiental) y sobre la fauna marina (ruido acuático y subacuático). Asimismo, se presentaron mapas de isófonas que grafican el alcance de la propagación del ruido en cada escenario.

En el Anexo 1 se presentan los resultados de los modelamientos realizados tal cual como se presentaron en el EIASd.

4.3.1. ESCENARIO DE CONSTRUCCIÓN

Los niveles de ruido estimados para el escenario de construcción están relacionados con el ruido impulsivo generado por las voladuras durante la excavación para la cimentación de los aerogeneradores. Una de las características del modelo es que las voladuras se ejecutarán de forma individual, es decir, que no se realizarán voladuras en más de un aerogenerador durante un tiempo dado. Esto implica que cada detonación generará un ruido pico en cada uno de los 62 aerogeneradores de forma aislada. Los resultados que se presentaron en el EIASd, corresponden a las detonaciones más cercanas al límite del área de influencia del proyecto y las viviendas cercanas a las playas.

Los resultados se presentan como niveles de presión sonora pico (L_{pico}) en viviendas y fauna marina, y niveles de ruido continuo equivalente (L_{AeqT}) en personas.

a. Niveles de presión sonora pico (L_{pico}) sobre viviendas

En la Tabla 23 se presentan los niveles de presión sonora pico (L_{pico}) en viviendas. Los valores varían entre 73.8 dBC en el límite del área de influencia y 93.4 dBC en la playa Media Luna.

Los niveles de presión sonora pico (L_{pico}) determinados en los puntos referenciales de evaluación se encuentran debajo del límite máximo de 105 dBC establecido referencialmente por la Oficina de Recuperación y Ejecución de Minería Superficial de los Estados Unidos (OSMRE, 1986).

Tabla 23: Niveles presión sonora pico (L_{pico}) sobre viviendas - Escenario de construcción

Punto referencial de evaluación	Ubicación	Niveles presión sonora pico (L_{pico}) (dBC) ^{a, b}
		Horario diurno
ZA-1	Fuera del área de influencia del proyecto	91.3
ZA-2		92.2
ZA-3		85.9
ZA-4		80.2
ZA-5		73.8
ZA-6		81.8
Playa Media Luna	Viviendas cercanas a la playa	93.4
Playa Punta Lomitas		0.0
Límite máximo de L_{pico} por golpes de aire de voladura ^c		105.0

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019). ^b L_{pico} modelado a una altura de 2 metros del suelo en base a la norma ISO 9613-2:1996 en el *software* CadnaA. ^c Limite utilizado de forma referencial para analizar el efecto de las voladuras sobre viviendas cercanas según OSMRE (1986).

b. Niveles de presión sonora pico (L_{pico}) sobre la fauna marina

En la Tabla 24 se presentan los mayores niveles sonoros pico (L_{pico}) estimados sobre sobre la fauna marina, los cuales varían entre 75.9 dB (islotos de avistamiento) y 92.5 dB (punto ruido más crítico). Estos valores no exceden los umbrales de pérdida auditiva temporal (TTS) y permanente en lobos marinos (PTS) establecidos en la Guía Técnica de Evaluación de los Efectos del Sonido Antropogénico en la Audición de Mamíferos Marinos (NOAA, 2018).

Tabla 24: Niveles presión sonora pico (L_{pico}) sobre la fauna marina - Escenario de construcción

Punto referencial de evaluación	Ubicación	Niveles presión sonora pico (L_{pico}) ^{a, b}		
		Horario diurno		
		dBA	dBC	dB
PMB_BIO_LOB_01	Islotes costeros donde se avistan lobos marinos	73.4	75.2	75.9
PMB_BIO_LOB_02		77.5	79.3	80.0
LC-1	Orillas fuera del área de influencia del Proyecto	88.3	90.1	90.8
LC-2		87.8	89.6	90.3
LC-3		89.7	91.5	92.2
LC-4		83.6	85.4	86.1
P-Co	Punto crítico en el océano	90.0	91.8	92.5
Umbrales para pinnípedos otáridos (lobos marinos)^c	TTS^d	-	-	226.0
	PTS^e	-	-	232.0

FUENTE: ^a SNC-Lavalin, 2019. ^b L_{pico} modelado durante un segundo de duración y a una altura del punto de evaluación de 2 metros del suelo. ^c Guía Técnica de Evaluación de los Efectos del Sonido Antropogénico en la Audición de Mamíferos Marinos (NOAA, 2018). ^d TTS: Pérdida temporal de la audición en mamíferos marinos. ^e PTS: Pérdida permanente de la audición en mamíferos marinos.

En la Figura 28 se presentan las isófonas de propagación de ruido en niveles de presión sonora pico (L_{pico}) correspondiente a las voladuras durante la etapa de construcción.

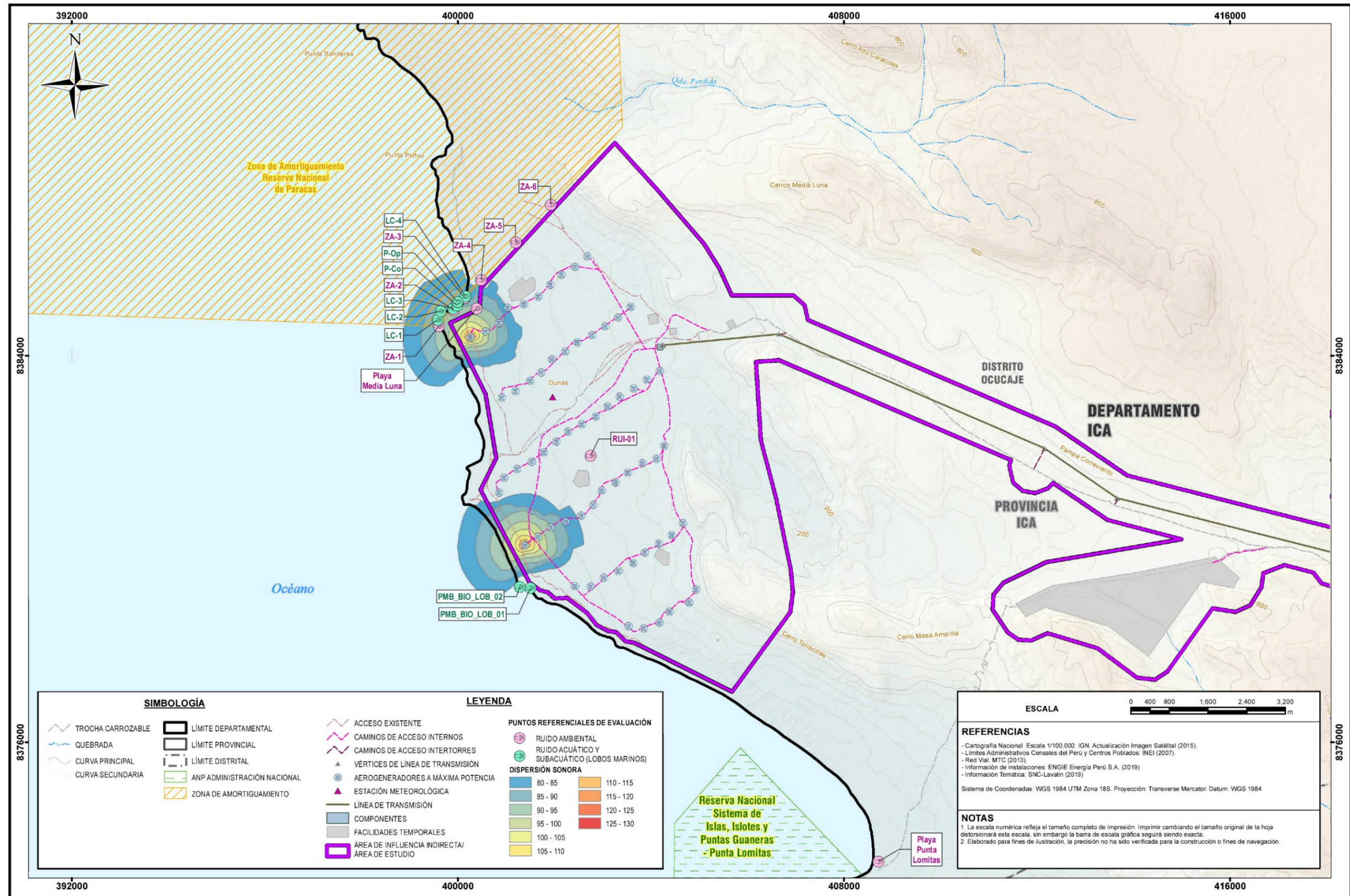


Figura 28. Isófonas de niveles de presión sonora pico (Lpico) en horario diurno – Escenario de construcción
FUENTE: Modificado de SNC-Lavalin (2019).

c. Niveles de presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) sobre las personas

La Tabla 25 presentan los aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) estimados sobre los puntos referenciales de evaluación. Asimismo, se estimaron los niveles de ruido acumulado considerando el nivel de ruido de fondo. Estos resultados permiten analizar si los aportes y niveles de ruido acumulado sobre las personas cumplen con los ECA-Ruido para la zona de protección y residencial, durante las voladuras controladas a realizar en el horario diurno.

Tabla 25: Niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) sobre personas - Escenario de construcción

Punto referencial de evaluación	Ubicación	Nivel de ruido L_{AeqT} (dBA) - Horario diurno			
		Nivel de ruido de fondo (dBA)	Aportes de ruido por voladura (dBA)		Nivel de ruido acumulado (dBA)
		L_{AeqT}^a	L_{pico}^b	L_{AeqT}^c	L_{AeqT}^d
ZA-1	Fuera del área de influencia del Proyecto	56.7	89.5	42.2	56.9
ZA-2		56.7	90.4	43.1	57.0
ZA-3		56.7	84.1	36.8	56.8
ZA-4		56.7	78.4	31.1	56.7
ZA-5		56.7	72.0	24.7	56.7
ZA-6		56.7	80.0	32.7	56.7
ECA - Ruido diurno^e Zona de protección especial		50	-	50	50
Playa Media Luna	Viviendas cercanas a la playa	56.7	91.6	44.3	57.1
Playa Punta Lomitas		56.7	0.0	0.0	56.7
RUI-01	Estación de monitoreo de ruido	56.7	66.7	19.4	56.7
ECA - Ruido diurno^e Zona residencial		60	-	60	60

FUENTE: ^a Ruido de fondo (L_{AeqT}) de la estación RUI-01, medida en intervalos de 15 minutos durante las 15 horas del horario diurno. ^b Aportes de ruido por voladura (L_{pico}) modelados durante un segundo de duración y a una altura del punto de evaluación de 2 metros del suelo. ^c Aportes de ruido por voladura (L_{AeqT}) calculado a partir de la suma logarítmica entre el ruido L_{pico} ocurrido durante 1 segundo y el ruido de fondo constante durante 15 horas del horario diurno. ^d Ruido acumulado (L_{AeqT}) obtenido de la suma logarítmica entre el ruido de fondo (línea base) y los aportes del modelo. ^e D.S. N° 085-2003-PCM.

Los aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) estimados varían entre 24.7 dBA y 43.1 dBA en la zona de protección especial, y entre 19.4 dBA y 44.3 dBA en la zona residencial. Asimismo, los niveles de ruido acumulado varían entre 56.7 dBA y 57.0 dBA en la zona de protección especial, y entre 56.7 dBA y 57.1 dBA en la zona residencial.

Los resultados indican que los aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) estimados para el horario diurno no superan los ECA-Ruido para las

zonas de protección especial ni residencial en ninguna de los puntos referenciales de evaluación. Sin embargo, los niveles de ruido acumulado en horario diurno, para la zona de protección especial, si superan el ECA-Ruido. Esto sucede debido a que los niveles de ruido de fondo ya superaban los ECA-Ruido antes de la ejecución del proyecto. En cuanto a los niveles de ruido acumulado en horario diurno para la zona residencial, estos no superan el ECA-Ruido.

En la Figura 29 se presentan las isófonas de propagación de ruido en niveles de presión sonora equivalente (L_{AeqT}) correspondiente a las voladuras durante la etapa de construcción.

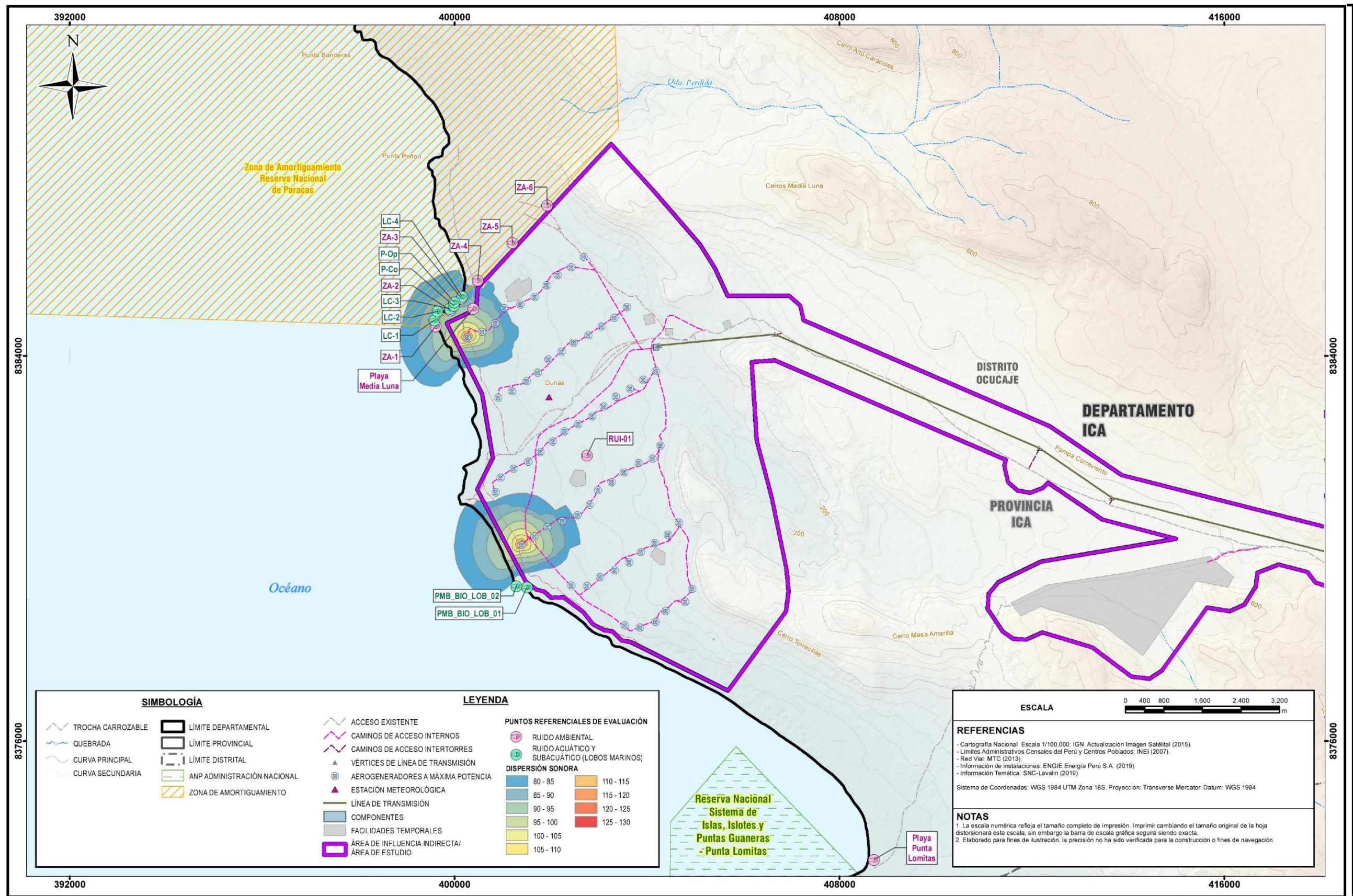


Figura 29. Isófonas de niveles de presión sonora equivalente (LAeqT) en horario diurno - Escenario de construcción
 FUENTE: Modificado de SNC-Lavalin (2019)

4.3.2. ESCENARIO DE OPERACIÓN

Los niveles de ruido estimados para el escenario de operación están relacionados con el ruido continuo generado por la operación de los aerogeneradores y otros componentes como la subestación Punta Lomitas y los accesos internos. A diferencia del escenario de construcción, el escenario de operación considera que todas las fuentes de emisión, incluyendo los 62 aerogeneradores, funcionarán y emitirán ruido de forma continua y en conjunto.

Los resultados se presentan como niveles de presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) sobre las personas.

a. Niveles de presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) sobre las personas

La Tabla 26 presenta los aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) estimados sobre los puntos referenciales de evaluación. Asimismo, se estimaron los niveles de ruido acumulado considerando el nivel de ruido de fondo y los aportes estimados. Estos resultados permiten analizar si los aportes y niveles de ruido acumulado sobre las personas cumplen con los ECA-Ruido para la zona de protección y residencial, durante la operación de los aerogeneradores y otros componentes, tanto en el horario diurno como nocturno.

Los aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) estimados en el horario diurno varían entre 36.6 dBA y 41.9 dBA en la zona de protección especial, y entre 45.8 dBA y 46.2 dBA en la zona residencial. Asimismo, los aportes de ruido estimados en el horario nocturno varían entre 36.1 dBA y 38.3 dBA en la zona de protección especial, y entre 40.0 dBA y 46.2 dBA en la zona residencial.

Los niveles de ruido acumulado en el horario diurno varían entre 56.7 dBA y 56.8 dBA en la zona de protección especial, y entre 56.7 dBA y 57.1 dBA en la zona residencial. Los niveles de ruido acumulado en el horario nocturno fueron de 54.3 dBA en la zona de protección especial, y variaron entre 54.2 dBA y 54.8 dBA en la zona residencial.

Los resultados indican que los aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) estimados para el horario diurno no superan los ECA-Ruido para las zonas de protección especial ni residencial en ninguna de los puntos referenciales de evaluación. Sin embargo, los niveles de ruido acumulado, en horario diurno y nocturno para la zona de protección especial y en horario nocturno para la zona residencial, si superan el

ECA-Ruido. Al igual que en el escenario de construcción, esto sucede debido a que los niveles de ruido de fondo ya superaban los ECA-Ruido antes de la ejecución del proyecto. En cuanto a los niveles de ruido acumulado en horario diurno para la zona residencial, estos no superan el ECA ruido.

Tabla 26: Niveles presión sonora equivalente (L_{AeqT}) sobre personas - Escenario de operación

Punto referencial de evaluación	Ubicación	Nivel de ruido L_{AeqT} (dBA)					
		Horario diurno			Horario nocturno		
		Fondo ^a	Aporte modelado	Acumulado ^b	Fondo ^a	Aporte modelado	Acumulado ^b
ZA-1	Fuera del área de influencia del Proyecto	56.7	40.7	56.8	54.2	36.7	54.3
ZA-2		56.7	41.9	56.8	54.2	37.0	54.3
ZA-3		56.7	41.7	56.8	54.2	36.8	54.3
ZA-4		56.7	41.4	56.8	54.2	37.7	54.3
ZA-5		56.7	39.5	56.8	54.2	38.3	54.3
ZA-6		56.7	36.6	56.7	54.2	36.1	54.3
ECA - Ruido ^c Zona de protección especial		50	50	50	40	40	40
Playa Media Luna	Viviendas cercanas a la playa	56.7	45.8	57.0	54.2	40.0	54.4
Playa Punta Lomitas		56.7	0.0	56.7	54.2	0.0	54.2
RUI-01	Estación de monitoreo de ruido	56.7	46.2	57.1	54.2	46.2	54.8
ECA - Ruido ^c Zona residencial		60	60	60	50	50	50

FUENTE: ^a Ruido de fondo (L_{AeqT}) de la estación RUI-01, medido en intervalos de 15 minutos durante las 15 horas del horario diurno. ^b Ruido acumulado (L_{AeqT}) calculado a partir de la suma logarítmica entre el ruido de fondo (línea base) y los aportes del modelo. ^c D.S. N° 085-2003-PCM.

En las Figuras 30 y 31 se presentan las isófonas de propagación de ruido en niveles de presión sonora equivalente (L_{AeqT}) para los horarios diurno y nocturno, respectivamente, durante la etapa de operación del proyecto.

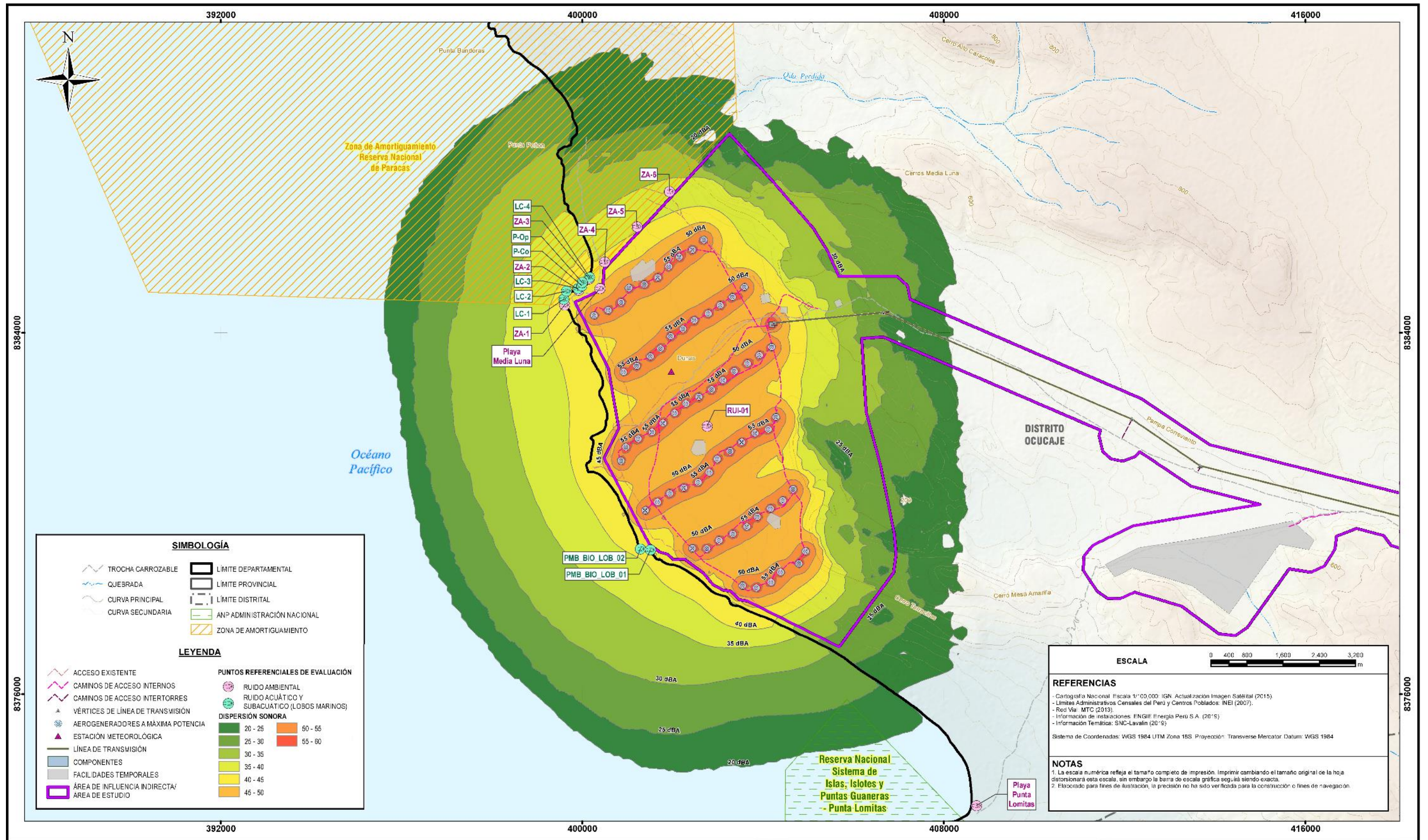


Figura 30. Isófonas de niveles de presión sonora equivalente (LAeqT) en horario diurno - Escenario de operación
FUENTE: Modificado de SNC-Lavalin (2019).

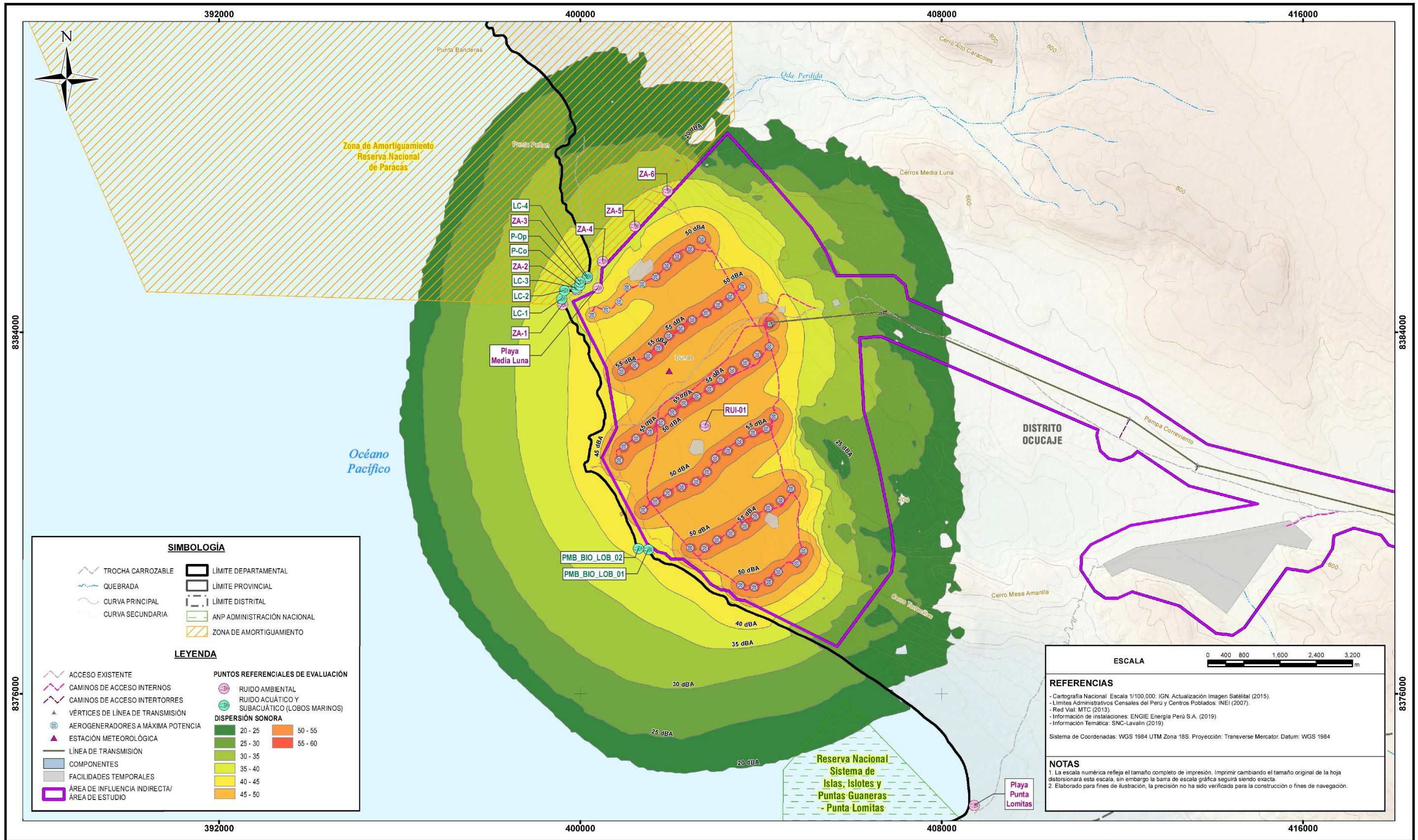


Figura 31. Isófonas de niveles de presión sonora equivalente (LAeqT) en horario nocturno - Escenario de operación
FUENTE: Modificado de SNC-Lavalin (2019).

4.4. NIVELES DE RUIDO SUBACUÁTICO

Los niveles de ruido subacuático fueron estimados a partir del ruido impulsivo (L_{pico}) por voladuras calculadas con el modelo de ruido superficial en los límites con el océano (sobre el nivel del mar), presentados en la sección 4.3.1. A partir de estos puntos, se aplicaron las ecuaciones de Ainslie (2010) para calcular las pérdidas o atenuación por transmisión (TL) debido a la propagación del ruido dentro del océano. Con estas pérdidas, se calcularon los niveles de presión sonora pico (L_{pico}) a distancias bajo el agua de 10, 50, 150 y 200 metros desde los puntos referenciales de evaluación, considerando la posible presencia de lobos marinos dentro del océano.

Para analizar los posibles efectos específicos en lobos marinos (grupo Pinnípedos otáridos), se utilizarán los umbrales de pérdida de audición (L_{pico}) de 226 dB para TTS y 232 dB para PTS presentados en la sección 2.8.2.

4.4.1. ESCENARIO DE CONSTRUCCIÓN

En la Tabla 27 se presentan los niveles de ruido subacuático en niveles de presión sonora pico (L_{pico}) estimados a 10, 20, 50 y 200 metros bajo el agua desde los puntos referenciales de evaluación. Se observa que en el punto crítico con mayores niveles de ruido (P-Co) los valores de L_{pico} son de 90.3 dB a 0 metros, 69.3 dB a 10 metros, 58.8 dB a 50 metros, 51.6 dB a 150 metros y 49.8 dB a 200 metros debajo del océano.

Los resultados indican que los niveles de presión sonora pico (L_{pico}) por debajo del océano no exceden los umbrales de pérdida auditiva temporal (226 dB) y permanente (232 dB) en lobos marinos establecidos en la Guía Técnica de Evaluación de los Efectos del Sonido Antropogénico en la Audición de Mamíferos Marinos (NOAA, 2018).

Finalmente, en la Figura 32 se presenta una ilustración de la propagación de los niveles de presión sonora pico (L_{pico}) debido a las voladuras durante la etapa de construcción. Se observa la propagación del ruido en la superficie hasta el límite con el océano; asimismo, se observa la propagación del ruido bajo el agua, considerando la atenuación debido a la transmisión dentro del agua de acuerdo con las propiedades del océano (gradiente de pérdida por reflexión y profundidad del fondo marino).

Tabla 27: Niveles presión sonora pico (L_{pico}) subacuático - Escenario de construcción

Punto referencial de evaluación	Ubicación	Niveles presión sonora pico (L_{pico}) ^a		Distancia del punto de evaluación bajo el agua en metros (R)		Modelo subacuático ^b	
		dBA	dB			Pérdida por transmisión TL (dB)	Niveles presión sonora pico (L_{pico}) (dB)
PMB_BIO_LOB_01	Islotes costeros donde se avistan lobos marinos	70.8	73.3	R ₁	10	21.0	52.3
				R ₂	50	31.5	41.8
				R ₃	150	38.7	34.6
				R ₄	200	40.5	32.8
PMB_BIO_LOB_02		71.1	73.6	R ₁	10	21.0	52.6
				R ₂	50	31.5	42.1
				R ₃	150	38.7	34.9
				R ₄	200	40.5	33.1
LC-1		86.7	89.2	R ₁	10	21.0	68.2
				R ₂	50	31.5	57.7
				R ₃	150	38.7	50.5
				R ₄	200	40.5	48.7
LC-2	Orillas fuera del área de influencia del Proyecto	85.2	87.7	R ₁	10	21.0	66.7
				R ₂	50	31.5	56.2
				R ₃	150	38.7	49.0
				R ₄	200	40.5	47.2
LC-3		88.1	90.6	R ₁	10	21.0	69.6
				R ₂	50	31.5	59.1
				R ₃	150	38.7	51.9
				R ₄	200	40.5	50.1
LC-4		81.2	83.7	R ₁	10	21.0	62.7
				R ₂	50	31.5	52.2
				R ₃	150	38.7	45.0
				R ₄	200	40.5	43.2
P-Co	Punto crítico en el océano	87.8	90.3	R ₁	10	21.0	69.3
				R ₂	50	31.5	58.8
				R ₃	150	38.7	51.6
				R ₄	200	40.5	49.8
Umbral TTS para lobos marinos (pérdida temporal de la audición)^c							226.0
Umbral PTS para lobos marinos (pérdida permanente de la audición)^c							232.0

^a Nivel de presión sonora pico (L_{pico}) obtenidos en la superficie del océano (0 metros sobre el nivel del mar).

^b Cálculos en base a las ecuaciones de Ainslie (2010), descrito en la sección 2.7 de la monografía. ^c Guía Técnica de Evaluación de los Efectos del Sonido Antropogénico en la Audición de Mamíferos Marinos (NOAA, 2018).

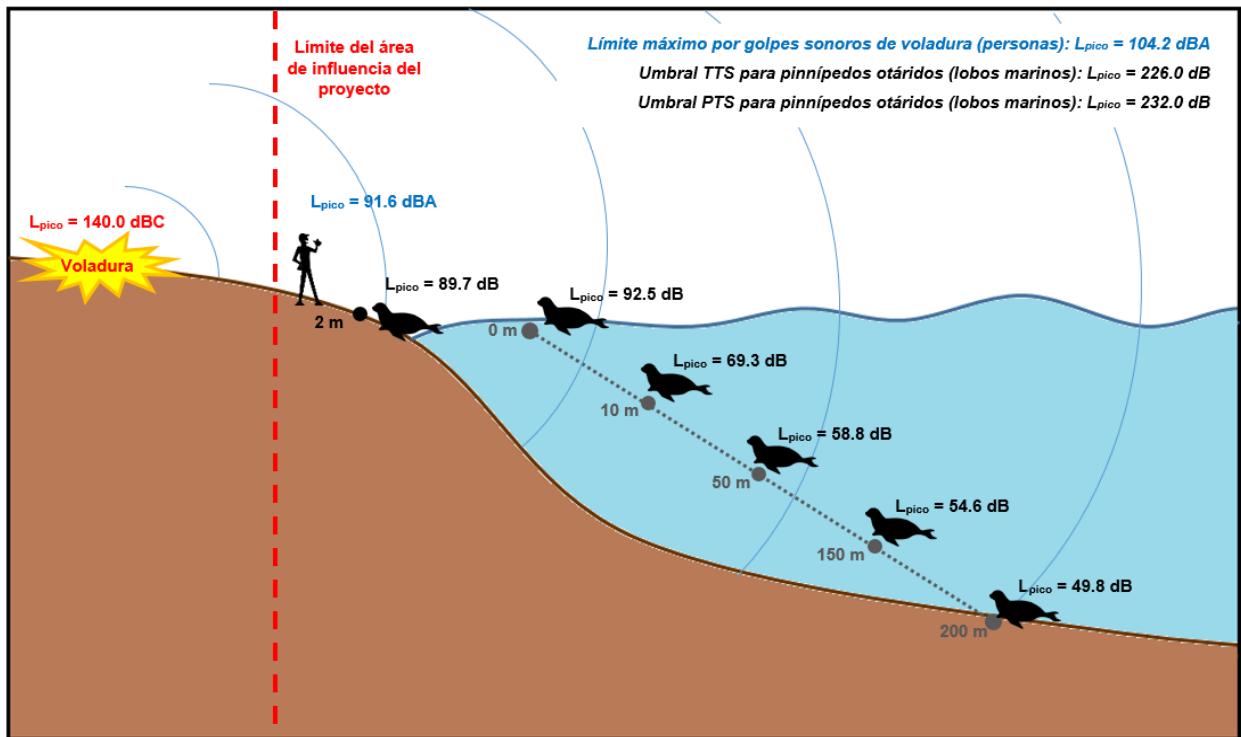


Figura 32. Propagación del ruido pico (L_{pico}) según el modelo subacuático
FUENTE: Tomado de SNC-Lavalin (2019).

4.5. PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE CONTROL

El planteamiento de medidas de control se realizó en los escenarios de construcción y operación modelados. Para ello, se configuraron modelos preliminares a los presentados en las secciones anteriores, considerando escenarios con controles y sin controles de forma que se pueda verificar la correcta reducción del ruido y el cumplimiento de la normativa internacional y nacional, relacionados con los ECA-Ruido establecidos en el D.S. N° 085-2003-PCM.

4.5.1. ESCENARIO DE CONSTRUCCIÓN

En el escenario de construcción se planteó que las voladuras se programen de forma progresiva y en tiempos diferentes, con la finalidad de no ejecutar dos detonaciones en un mismo momento durante el horario diurno. Este planteamiento se realizó con la finalidad de reducir los niveles de presión sonora pico (L_{pico}) en viviendas y niveles de ruido continuo equivalente (L_{AeqT}) en personas.

El escenario sin controles, configurado de forma preliminar, considera la ejecución de voladuras en todos los aerogeneradores en un mismo momento con la finalidad de comparar este escenario extremo con un escenario de voladuras controladas.

a. Niveles de presión sonora pico (L_{pico}) sobre viviendas

La Tabla 28 presenta los aportes de ruido en niveles presión sonora pico (L_{pico}) estimados sobre los puntos referenciales de evaluación sobre viviendas en los escenarios sin controles y con controles.

En el escenario sin controles, los aportes de ruido en niveles presión sonora pico (L_{pico}) estimados varían entre 73.8 dBC en el límite del área de influencia y 93.4 dBC en la playa Media Luna. Los niveles de presión sonora pico (L_{pico}) determinados en los puntos referenciales de evaluación se encuentran debajo del límite máximo de 105 dBC establecido referencialmente por la Oficina de Recuperación y Ejecución de Minería Superficial de los Estados Unidos (OSMRE, 1986).

Los resultados preliminares garantizaban el cumplimiento de la normativa internacional de referencia. Sin embargo, el control planteado se mantuvo por temas relacionados a la seguridad y, de forma preventiva, para generar los menores niveles de ruido durante la construcción de los aerogeneradores.

Los resultados del escenario con controles fueron los presentados en la Tabla 23.

Tabla 28: Niveles presión sonora pico (L_{pico}) sobre viviendas – Aplicación de controles en el escenario de construcción

Punto referencial de evaluación	Ubicación	Niveles presión sonora pico (L_{pico}) (dBC) ^{a, b}	
		Horario diurno	
		Modelo sin controles	Modelo con controles
ZA-1	Fuera del área de influencia del proyecto	93.2	91.3
ZA-2		93.9	92.2
ZA-3		91.6	85.9
ZA-4		91.1	80.2
ZA-5		89.3	73.8
ZA-6		86.3	81.8
Playa Media Luna	Viviendas cercanas a la playa	97.8	93.4
Playa Punta Lomitas		53.4	0.0
Límite máximo de L_{pico} por golpes de aire de voladura ^c		105.0	

FUENTE: ^a SNC-Lavalin (2019). ^b L_{pico} modelado a una altura de 2 metros del suelo en base a la norma ISO 9613-2:1996 en el *software* CadnaA. ^c Limite utilizado de forma referencial para analizar el efecto de las voladuras sobre viviendas cercanas según OSMRE (1986).

b. Niveles de presión sonora pico (L_{pico}) sobre las personas

La Tabla 29 presenta los aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) estimados sobre los puntos referenciales de evaluación en los escenarios sin controles y con controles.

En el escenario sin controles, los aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) estimados varían entre 40.2 dBA y 44.8 dBA en la zona de protección especial, y entre 6.3 dBA y 47.9 dBA en la zona residencial. Estos niveles no superan los valores de 50 dBA del ECA-Ruido en zona de protección especial y zona residencial respectivamente.

Tabla 29: Niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) sobre personas - Aplicación de controles en el escenario de construcción

Punto referencial de evaluación	Ubicación	Aportes de ruido por voladura (dBA)			
		Horario diurno			
		Modelo sin controles		Modelo con controles	
		L_{pico} ^a	L_{AeqT} ^b	L_{pico} ^a	L_{AeqT} ^b
ZA-1	Fuera del área de influencia del Proyecto	91.4	44.1	89.5	42.2
ZA-2		92.1	44.8	90.4	43.1
ZA-3		89.8	42.5	84.1	36.8
ZA-4		89.3	42.0	78.4	31.1
ZA-5		87.5	40.2	72.0	24.7
ZA-6		84.5	37.2	80.0	32.7
ECA - Ruido diurno ^c		-	50	-	50
Zona de protección especial					
Playa Media Luna	Viviendas cercanas a la playa	96.0	46.8	91.6	44.3
Playa Punta Lomitas		51.6	6.3	0.0	0.0
RUI-01	Estación de monitoreo de ruido	95.2	47.9	66.7	19.4
ECA - Ruido diurno ^c		-	60	-	60
Zona residencial					

Nota: ^a Aportes de ruido por voladura (L_{pico}) modelados durante un segundo de duración y a una altura del punto de evaluación de 2 metros del suelo. ^b Aportes de ruido por voladura (L_{AeqT}) calculado a partir de la suma logarítmica entre el ruido L_{pico} ocurrido durante 1 segundo y el ruido de fondo constante durante 15 horas del horario diurno.

^c D.S. N° 085-2003-PCM.

Los resultados preliminares garantizaban el cumplimiento de la normativa nacional de los ECA-Ruido en el D.S. N° 085-2003-PCM. Sin embargo, tal como se indicó anteriormente, el control planteado se mantuvo por temas relacionados a la seguridad y, de forma preventiva, para generar los menores niveles de ruido durante la construcción de los aerogeneradores.

Los resultados del escenario con controles fueron los presentados en la Tabla 25 y se utilizaron en la evaluación de impactos ambientales del EIA-sd del proyecto.

4.5.2. ESCENARIO DE OPERACIÓN

En el escenario de operación se planteó la aplicación de controles tipo NLS Mode que regula la capacidad del aerogenerador a una potencia de 3 000 kW durante el horario nocturno (SIEMENS, 2018). Este planteamiento se realizó debido a los resultados del escenario preliminar configurado sin los controles dando como resultado niveles de presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) sobre las personas que superan los ECA-Ruido.

a. Niveles de presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) sobre las personas

La Tabla 30 presenta los aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) estimados sobre los puntos referenciales de evaluación en los escenarios sin controles y con controles.

En el escenario sin controles, los aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) estimados en el horario diurno varían entre 36.6 dBA y 41.9 dBA en la zona de protección especial, y entre 45.8 dBA y 46.2 dBA en la zona residencial. Estos niveles no superan los valores de 50 dBA y 60 dBA del ECA-Ruido en zona de protección especial y zona residencial respectivamente. Por este motivo, el planteamiento de controles en la operación de los aerogeneradores no se realizó en el horario diurno, de forma que no se disminuya la producción de energía eólica.

Los aportes de ruido estimados en el horario nocturno varían entre 36.1 dBA y 41.9 dBA en la zona de protección especial, y entre 45.8 dBA y 46.2 dBA en la zona residencial. Se observó que los niveles de ruido en los puntos ZA-1, ZA-2, ZA-3 y ZA-4 superan el valor de 40 dBA del ECA-Ruido en zona de protección especial. Estos puntos se ubican en el límite de la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional de Paracas considerado como una zona de protección especial. Por este motivo, se planteó la aplicación de controles de ruido durante el horario nocturno, que consisten en regular la capacidad del aerogenerador a una potencia de 3 000 kW en los cinco aerogeneradores más cercanos a la zona de proyección especial, con la finalidad de reducir los niveles de ruido y se cumplan con los ECA-Ruido de acuerdo con el D.S. N° 085-2003-PCM.

Finalmente, los resultados del escenario con controles fueron los presentados en la Tabla 26 y se utilizaron en la evaluación de impactos ambientales del EIA-sd del proyecto.

Tabla 30: Niveles presión sonora equivalente (LAeqT) sobre personas - Aplicación de controles en el escenario de operación

Punto referencial de evaluación	Ubicación	Aportes de ruido LAeqT (dBA)			
		Modelo sin controles		Modelo con controles	
		Horario diurno	Horario nocturno	Horario diurno	Horario nocturno
ZA-1	Fuera del área de influencia del Proyecto	40.7	40.7 ^c	40.7	36.7 ^d
ZA-2		41.9	41.9 ^c	41.9	37.0 ^d
ZA-3		41.7	41.7 ^c	41.7	36.8 ^d
ZA-4		41.4	41.4 ^c	41.4	37.7 ^d
ZA-5		39.5	39.5	39.5	38.3
ZA-6		36.6	36.6	36.6	36.1
ECA - Ruido^e Zona de protección especial		50	40	50	40
Playa Media Luna	Viviendas cercanas a la playa	45.8	45.8	45.8	40.0
Playa Punta Lomitas		0.0	0.0	0.0	0.0
RUI-01	Estación de monitoreo de ruido	46.2	46.2	46.2	46.2
ECA - Ruido^e Zona residencial		60	50	60	50

Nota. ^a Ruido de fondo (LAeqT) de la estación RUI-01, medido en intervalos de 15 minutos durante las 15 horas del horario diurno. ^b Ruido acumulado (LAeqT) calculado a partir de la suma logarítmica entre el ruido de fondo (línea base) y los aportes del modelo. ^c Niveles de ruido que superan el nivel de 40 dBA correspondiente al ECA de ruido en zona de protección especial. ^d Niveles de ruido que cumplen el ECA de ruido en zona de protección especial, a raíz de la aplicación de controles. ^e D.S. N° 085-2003-PCM.

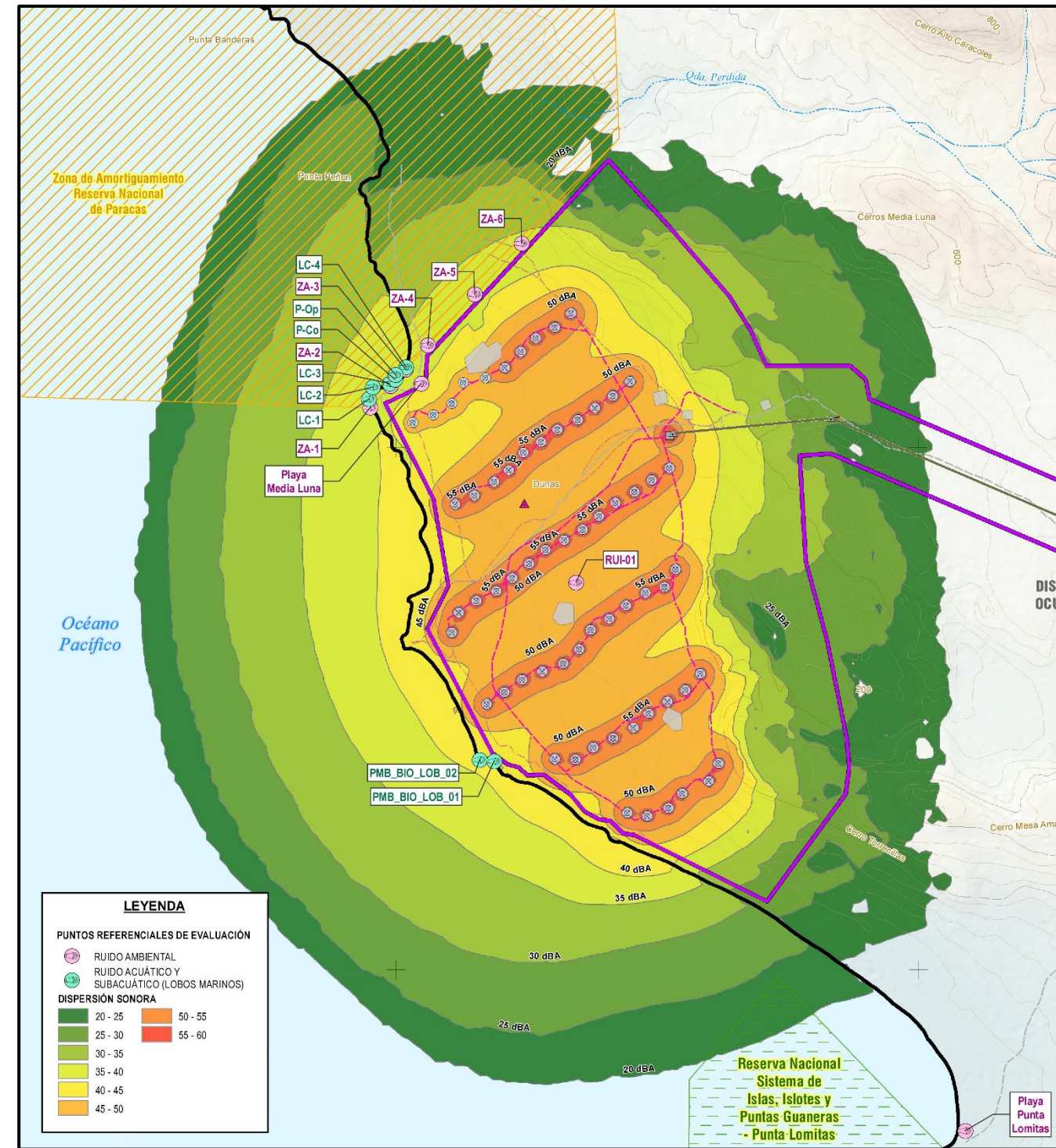
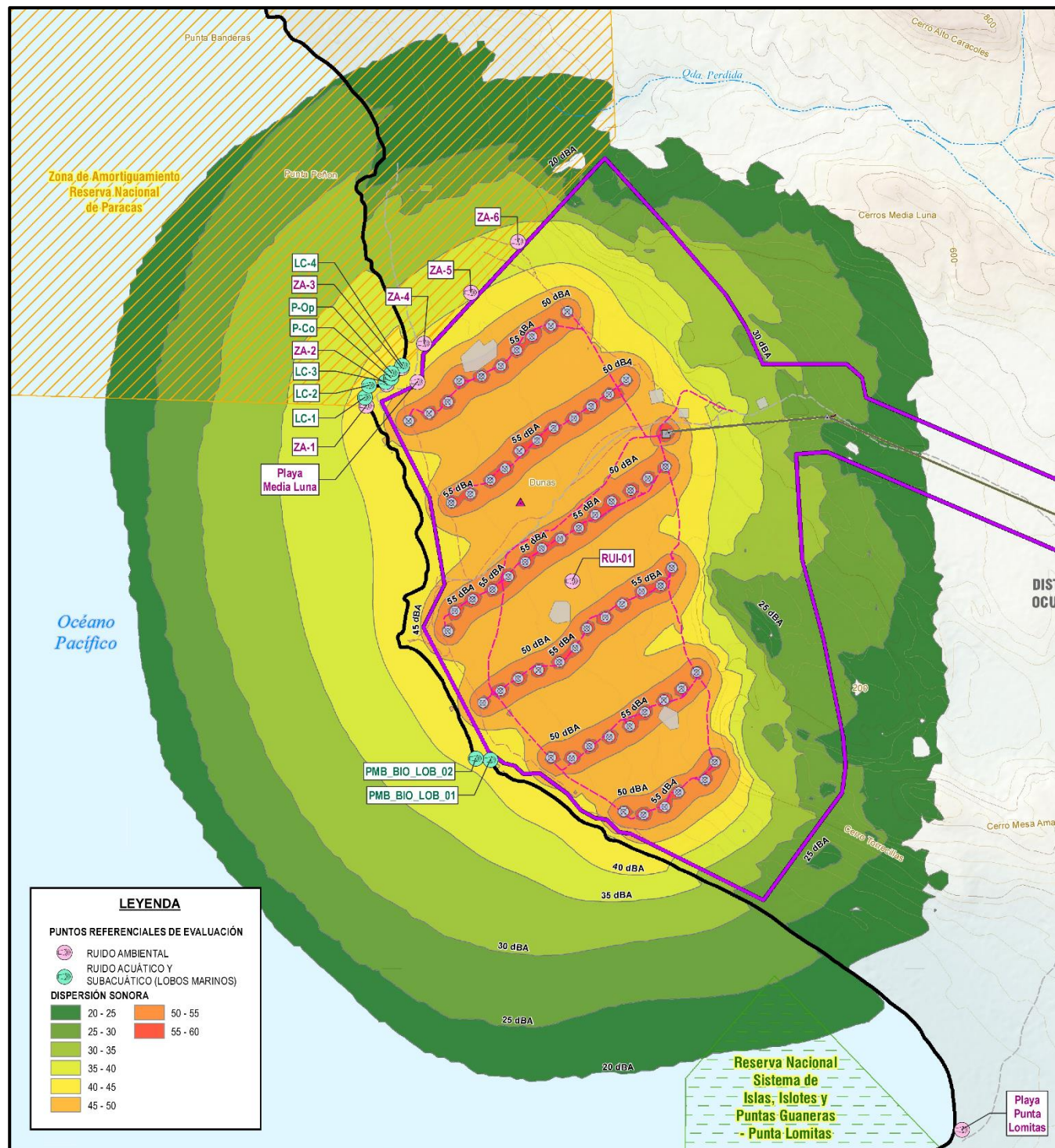


Figura 33. Isófonas de niveles de presión sonora equivalente (L_{AeqT}) sin controles ^a y con controles ^b en horario nocturno - Escenario de operación
 Nota. ^a Imagen izquierda: Isófonas de niveles de presión sonora equivalente (L_{AeqT}) sin controles. ^b Imagen derecha: Isófonas de niveles de presión sonora equivalente (L_{AeqT}) con controles.

V. CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente TSP se distribuyen en cinco partes principales de acuerdo a los objetivos planteados:

Parte 1

- La etapa de construcción del proyecto “Parque Eólico Punta Lomitas y su Interconexión al SEIN” tendrá como principales fuentes de emisión de ruido a las voladuras que se realizarán durante las excavaciones para la cimentación de los aerogeneradores. Las voladuras se ejecutarán de forma individual, es decir, no habrá voladuras en más de un aerogenerador durante un tiempo dado. Esto implica que cada detonación generará un ruido impulsivo en cada uno de los 62 aerogeneradores de forma aislada.
- La etapa de operación del proyecto tendrá como principales fuentes de emisión de ruido a los aerogeneradores en funcionamiento, la subestación Punta Lomitas y los accesos internos. La operación de estas fuentes de emisión se dará de forma continua y en conjunto, motivo por el cual el ruido generado es de tipo continuo.

Parte 2

- El inventario de emisiones sonoras en el escenario de construcción se realizó mediante los cálculos de Siskind et al. (1980) para la predicción de los niveles de ruido emitidos por voladuras. El máximo nivel de presión sonora pico (L_{pico}) generado por voladuras en la etapa de construcción, será de 141.9 dBC en los aerogeneradores N.º 42 al 54 y N.º 59 al 62 debido a la detonación de 395.0 kg/voladura de explosivos con una profundidad de 3.5 metros.
- El inventario de emisiones sonoras en el escenario de operación se realizó a partir de mediciones de la empresa Siemens Gamesa que produce los aerogeneradores, datos de la guía de Teplitzky et al. (1979) para la subestación Punta Lomitas y la aplicación del modelo RLS-90 de tráfico vial en los accesos internos. Los niveles de potencia sonora (L_w) en los aerogeneradores fueron de 107.8 dBA en todas las unidades durante el horario diurno y variaron entre 99.9 dBA (en las unidades N.º 6 al 10) y 107.8 dBA (en

- las unidades N.º 1 al 5 y N.º 11 al 62) durante el horario nocturno. Los niveles de potencia sonora (L_w) en la subestación Punta Lomitas fueron de 113.4 dBA durante los horarios diurno y nocturno. Los niveles de presión sonora a 25 metros de distancia ($L_{m,E}$) fueron de 38.2 dBA durante los horarios diurno y nocturno.

Parte 3

- En el modelamiento de ruido superficial para el escenario de construcción, los niveles de presión sonora pico (L_{pico}) estimados en viviendas producto de las voladuras, presentan un valor máximo de 93.4 dBC en la playa Media Luna. Estos niveles se encuentran debajo del límite máximo de 105 dBC establecido referencialmente por la Oficina de Recuperación y Ejecución de Minería Superficial de los Estados Unidos (OSMRE), lo que podría indicar que no existe una afectación significativa por golpes de aire producto de las detonaciones sobre las viviendas.
- Los niveles de presión sonora pico (L_{pico}) estimados sobre la fauna marina varían entre 75.9 dB (islotos de avistamiento) y 92.5 dB (punto ruido más crítico). Estos niveles no exceden los umbrales de pérdida auditiva temporal (TTS) y permanente (PTS) en lobos marinos establecidos en la Guía Técnica de Evaluación de los Efectos del Sonido Antropogénico en la Audición de Mamíferos Marinos (NOAA, 2018), lo que podría indicar que no existe afectación significativa del ruido impulsivo sobre la fauna marina producto de las voladuras durante la construcción de los aerogeneradores.
- Los máximos aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) estimados sobre las personas fueron de 43.1 dBA en la zona de protección especial y 44.3 dBA en la zona residencial. Asimismo, los máximos niveles de ruido acumulado fueron de 57.0 dBA en la zona de protección especial y 57.1 dBA en la zona residencial. Estos resultados indican que los aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) estimados para el horario diurno no superan los ECA-Ruido para las zonas de protección especial ni residencial en ninguna de los puntos referenciales de evaluación. Sin embargo, los niveles de ruido acumulado en horario diurno, para la zona de protección especial, si superan el ECA-Ruido. Esto sucede debido a que los niveles de ruido de fondo ya superaban los ECA-Ruido antes de la ejecución del proyecto. En cuanto a los niveles de ruido acumulado en horario diurno para la zona residencial, estos no superan el ECA ruido.

- Los niveles de ruido aportados por las voladuras en el escenario de construcción no contribuyen a la superación de los ECA-Ruido en los puntos referenciales de evaluación. Ello podría indicar que no existe afectación significativa del ruido impulsivo sobre las personas, en el supuesto caso crítico que exista la presencia de personas transitando en los alrededores del proyecto, producto de las voladuras durante la construcción de los aerogeneradores.
- En el modelamiento de ruido superficial en el escenario de operación, los máximos aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (LAeqT) estimados en el horario diurno fueron de 41.9 dBA en la zona de protección especial y 46.2 dBA en la zona residencial, y en el horario nocturno fueron de 38.3 dBA en la zona de protección especial y 46.2 dBA en la zona residencial. Asimismo, los máximos niveles de ruido acumulado en el horario diurno fueron de 56.8 dBA en la zona de protección especial y de 57.1 dBA en la zona residencial, y en el horario nocturno fueron de 54.3 dBA en la zona de protección especial y 54.8 dBA en la zona residencial.
- Los resultados indican que los aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (LAeqT) estimados para el horario diurno no superan los ECA-Ruido para las zonas de protección especial ni residencial en ninguna de los puntos referenciales de evaluación. Sin embargo, los niveles de ruido acumulado, en horario diurno y nocturno para la zona de protección especial y en horario nocturno para la zona residencial, si superan el ECA-Ruido. Al igual que en el escenario de construcción, esto sucede debido a que los niveles de ruido de fondo ya superaban los ECA-Ruido antes de la ejecución del proyecto. En cuanto a los niveles de ruido acumulado en horario diurno para la zona residencial, estos no superan el ECA ruido.
- Los niveles de ruido aportados por los aerogeneradores en el escenario de operación no contribuyen a la superación de los ECA-Ruido en los puntos referenciales de evaluación. Ello podría indicar que no existe afectación significativa del ruido continuo sobre las personas, que podrían transitar en los alrededores del proyecto.

Parte 4

- El modelamiento del ruido subacuático determinó niveles de presión sonora pico (Lpico) estimados a 10, 20, 50 y 200 metros bajo el agua desde los puntos referenciales de evaluación en la etapa de construcción del proyecto. Los máximos niveles Lpico se determinaron en el punto crítico (P-Co) con valores de 90.3 dB a 0 metros, 69.3 dB a 10

metros, 58.8 dB a 50 metros, 51.6 dB a 150 metros y 49.8 dB a 200 metros debajo del océano. Estos niveles no exceden los umbrales de pérdida auditiva temporal (226 dB) y permanente (232 dB) en lobos marinos establecidos en la Guía Técnica de Evaluación de los Efectos del Sonido Antropogénico en la Audición de Mamíferos Marinos (NOAA, 2018). Ello podría indicar que no existe afectación significativa del ruido impulsivo sobre los lobos marinos ubicados dentro del océano, producto de las voladuras durante la construcción de los aerogeneradores.

Parte 5

- En el escenario de construcción, la medida de control de ruido planteada fue la programación de las voladuras de forma progresiva y en tiempos diferentes, con la finalidad de no ejecutar dos detonaciones en un mismo momento durante el horario diurno. Estas medidas lograron reducir un máximo de 51.6 dBC de los aportes de ruido en niveles de presión sonora pico (L_{pico}) y 28.5 dBA de los aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}). A pesar que los niveles de ruido en el escenario sin controles garantizaban el cumplimiento de la normativa internacional y nacional, el control planteado se mantuvo por temas relacionados a la seguridad y, de forma preventiva, para generar los menores niveles de ruido durante la construcción de los aerogeneradores y reducir la afectación de ruido sobre las viviendas, fauna marina y las personas durante la etapa de construcción del proyecto.
- En el escenario de operación, la medida de control de ruido planteada fue la aplicación de controles para regular la capacidad del aerogenerador a una potencia de 3 000 kW de los cinco aerogeneradores más cercanos a la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional de Paracas, durante el horario nocturno. Estas medidas lograron reducir un máximo de 5.8 dBA de los aportes de ruido en niveles presión sonora continuo equivalente (L_{AeqT}) en el horario nocturno. Este control garantizará el cumplimiento del ECA-Ruido de acuerdo con el D.S. N° 085-2003-PCM y la reducción de los niveles de ruido para minimizar la afectación del ruido en viviendas, fauna marina y personas durante la etapa de operación del proyecto.

VI. RECOMENDACIONES

El modelamiento de ruido presentado abarca a la estimación de los niveles de ruido impulsivo y continuo en los futuros escenarios de construcción y operación del proyecto “Parque Eólico Punta Lomitas y su Interconexión al SEIN”. En ese sentido, la principal recomendación es de programar mediciones de ruido superficial en campo cuando se realice la construcción y operación del proyecto con la finalidad de validar los resultados obtenidos en las predicciones de los modelos.

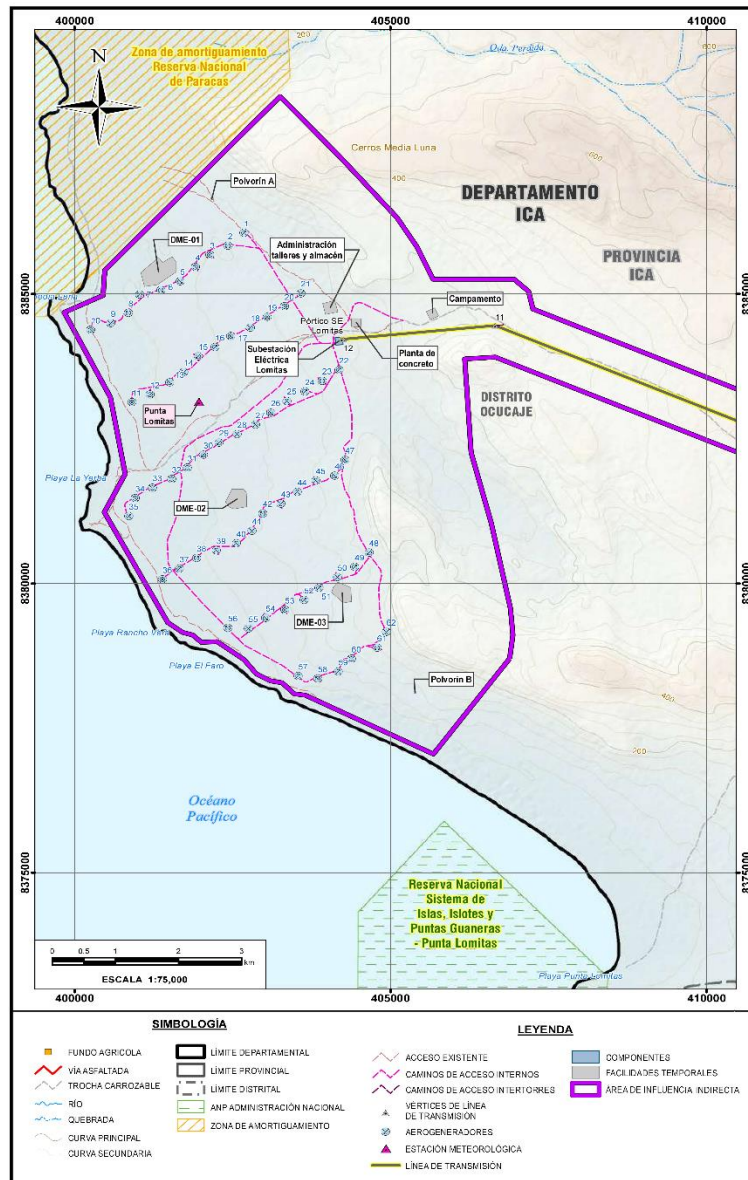
Si bien la metodología aplicada en el presente modelamiento de ruido es bastante completa, se recomienda seguir implementando nuevas metodologías de cálculo y medición, tales como mediciones meteorológicas y acústicas directas en fuentes similares que permitan calibrar las emisiones consideradas en los modelos.

Los resultados del modelamiento de los niveles de ruido subacuático se centraron en el análisis del alcance del ruido en niveles de presión sonora pico (L_{pico}) sobre los lobos marinos debido a que esta especie (*Arctocephalus australis*) se encuentra categorizada como “en peligro”, y su evaluación ha sido considerada como prioritaria en la evaluación de los impactos por ruido en el Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-sd). Sin embargo, existen otras especies de aves y reptiles que pueden considerarse en el modelamiento de ruido con la finalidad de plantear una metodología similar a la aplicada en los lobos marinos. Si bien no sería aplicable en el proyecto presentado, se podría implementar en otros proyectos en los cuales dichas especies puedan estar en peligro.

Las voladuras a realizar durante la etapa de construcción, generarán un movimiento de material importante en las zonas disturbadas donde se emplearán los componentes. Se recomienda el cumplimiento de la medida de control planteada en el EIA-sd donde se indica que, en caso se encuentre algún resto arqueológico en las zonas disturbadas, se realice un trámite CIRA (Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos) en el Ministerio de Cultura y se proceda a reubicar los componentes que afectarían dicho hallazgo arqueológico.

De acuerdo con los mapas de isófonas de ruido presentadas, se podría definir las isófonas 50 dBA de las Figuras 30 y 31 como límite para establecer un cerco donde no se permita el

asentamiento de poblaciones. Sin embargo, en el EIA se establecieron las áreas de influencia del proyecto, considerando no sólo los impactos por ruido sino todos los impactos acumulados. Estas áreas fueron definidas de acuerdo a lo establecido en la R.M. N° 223-2010-MEM/DM, norma que señala que el área de influencia corresponde al espacio geográfico sobre el que las actividades del proyecto ejercen algún tipo de impacto ambiental. En ese sentido, se recomienda definir el área de influencia del proyecto (Figura 34) como límite para el cerco mencionado.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adaramola, M. (2014). *Wind Turbine Technology: Principles and Design*. Apple Academic Press, Inc.
- Ainslie, M. (2010). *Principles of Sonar Performance Modelling*. Springer Praxis Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-87662-5>
- Alton Everest, F., & Pohlmann, K. C. (2021). *Master Handbook of Acoustics (Seventh Ed)*. Mc Graw Hill.
- Alzate, H. (2006). *Física de las Ondas*. Universidad de Antioquia.
- Bartí, R. (2010). *Acústica Medioambiental Vol. I*. Editorial Club Universitario.
- Brüel, P. V. (2000). *Environmental Noise Environmental Noise: Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S*.
- BSI. (2008). *BS 5228-1 Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites - Part 1: Noise*. BSI British Standards.
- Calvo-Manzano, A. (1991). *Acústica físico-musical*. Real Musical.
- Carrizo, C. D., & Melian, J. S. (2011). *Absorción sonora*. Cátedra Fundamentos de Acústica y Electroacústica. Universidad Tecnológica Nacional, 1–5.
- Chourpouliadis, C., Ioannou, E., Koras, A., & Kalfas, A. I. (2012). Comparative study of the power production and noise emissions impact from two wind farms. *Energy Conversion and Management*, 60, 233–242. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.024>
- Conesa, V. (2010). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental (4ta ed.)*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Cortés, R., Maqueda, J., Ordaz, E., Asúnsolo, Á., Silva, A., Bermejo, E., & Gamo, M. F. (2009). Revisión sistemática y evidencia sobre exposición profesional a ruido y efectos extra-auditivos de naturaleza cardiovascular. *Medicina y Seguridad Del Trabajo*, 55(215), 28–51. <https://doi.org/10.4321/s0465-546x2009000200004>

- Datakustik-GmbH. (2020). CadnaA: State of the art noise prediction software. DataKustik GmbH Dornierstraße.
- Dekeling, R. P. A., Tasker, M. L., Van der Graaf, A. J., Ainslie, M. A., Andersson, M. H., Andre, M., Borsani, J. F., Brensing, K., Castellote, M., Cronin, D., Dalen, J., Folegot, T., Leaper, R., Pajala, J., Redman, P., Robinson, S. P., Sigray, P., Sutton, G., Thomsen, F., ... Young, J. V. (2014). Monitoring guidance for underwater noise in European Seas- part III: Background information and annexes. JRC Scientific and Policy Reports EUR 26556 EN. Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://doi.org/10.2788/2808>
- Deshmukh, S., Bhattacharya, S., Jain, A., & Paul, A. R. (2019). Wind turbine noise and its mitigation techniques: A review. *Energy Procedia*, 160, 633–640. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.215>
- Echeverri-Londoño, C. A. (2017). Predicción de los niveles sonoros asociados a los parques eólicos. Tesis Doctoral. Universidad de la República. Facultad de Ingeniería.
- Echeverri-Londoño, C. A., & González-Fernández, A. E. (2019). Prediction of noise from wind turbines: A theoretical and experimental study. *Revista Facultad de Ingeniería*, 90, 28–33. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n90a04>
- Erbe, C., Dunlop, R., & Dolman, S. (2018). Chapter 10: Effects of Noise on Marine Mammals. In *Effects of Anthropogenic Noise on Animals* (ASA Press, pp. 277–309). Springer.
- Gerges, S. N. Y. (1992). *Ruido: Fundamentos e Controle* (1pr. Ed). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Hansen, C. H., Doolan, C. J., & Hansen, K. L. (2017). *Wind Farm Noise: Measurement, Assessment and Control*. John Wiley & Sons Ltd.
- IEC. (2002). IEC 61672-1. Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications (First ed, p. 85). International Standard. International Electrotechnical Commission.
- IEC. (2012). IEC 61400-11. Wind turbines – Part 11: Acoustic noise measurement techniques (Ed 3.0). International Standard. International Electrotechnical Commission.
- INACAL. (2017a). NTP 854.001-1: 2012 (Revisada el 2017). Acústica - Métodos para el registro del nivel de la presión sonora - Parte 1: Medición y valoración de un ruido

- presuntamente molesto proveniente de fuentes fijas (1a Edición). Norma Técnica Peruana. Dirección de Normalización - INACAL.
- INACAL. (2017b). NTP 854.001-1: 2012 (Revisada el 2017). Acústica - Métodos para el registro del nivel de la presión sonora - Parte 3: Mapas de simulación de la propagación sonora. Requisitos mínimos (1a Edición). Norma Técnica Peruana. Dirección de Normalización - INACAL.
- INACAL. (2017c). NTP ISO 1996-1 : 2007 (revisada el 2017) - Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Índices básicos y procedimientos de evaluación (1a Edición). Norma Técnica Peruana. Dirección de Normalización - INACAL.
- ISO. (1996). ISO 9613-2:1996 : Acoustics - Attenuation of Sound Propagation Outdoors (First ed, Issue 1). International Organization for Standardization.
- Jimeno, C. L., Burgos, J. I., & García, P. A. (2002). Energía eólica - El recorrido de la energía. Comunidad de Madrid. Consejería de Economía e Innovación Tecnológica. Dirección General de Industria, Energía y Minas.
- Kaldellis, J. K., Garakis, K., & Kapsali, M. (2012). Noise impact assessment on the basis of onsite acoustic noise immission measurements for a representative wind farm. *Renewable Energy*, 41, 306–314. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.11.009>
- Martinez, A., & Diaz, K. (2014). Evaluación del impacto acústico de un parque eólico. Universidad de Oviedo. Departamento de Energía, 1–10.
- Martínez, J., & Peters, J. (2015). Contaminación acústica y ruido (3ra ed). *Ecologistas en Acción*. http://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/cuaderno_ruido_2013.pdf
- MEM. (2021). Siete centrales eólicas ayudan a atender la demanda eléctrica del país con energías limpias. Ministerio de Energía y Minas. Gobierno Del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias/563316-siete-centrales-eolicas-ayudan-a-atender-la-demanda-electrica-del-pais-con-energias-limpias>
- Merino, J. M., & Muñoz-Repiso, L. (2013). La percepción acústica : Física de la audición. Dpto.de Didáctica de Las Ciencias Experimentales. Universidad de Valladolid, 19–26.
- MINAM. (2013). Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental. Resolución Ministerial No 227-2013-MINAM. Ministerio del Ambiente. Dirección General de

Calidad Ambiental.

- MINAM. (2022). Guía para la Identificación y caracterización de impactos ambientales en el marco del SEIA (Primera Ed). Ministerio del Ambiente. Viceministerio de Gestión Ambiental.
- Moreno, J. N. (1990). Introducción al Control de Ruido. Brüel & Kjaer.
- Müller, G., & Möser, M. (2013). Handbook of Engineering Acoustics. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-540-69460-1>
- NOAA. (2018). Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Dept. of Commer., NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59.
- OEFA. (2016). Contaminación sonora en Lima y Callao (Primera ed). Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- OSINERGMIN. (2017). La Industria de la Energía Renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático (Primera Ed). Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN).
- OSMRE. (1986). Blasting Performance Standards 30 Code of Federal Regulations. Sec. 816.61 Use of explosives: General requirements. Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement (OSMRE).
- PCM. (2003). Decreto Supremo No 085-2003-PCM. Aprueban el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido. El peruano.
- Pérez, C. (2010). Sonido y audición. Universidad de Cantabria. Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones.
- Pérez, C., & Zamanillo Sainz de la Maza, J. (2003). Fundamentos de televisión analógica y digital. Universidad de Cantabria.
- Petracci, P. F. (2017, October 1). Generadores de energía e impactos ambientales. EcoDias, 634(18), 3.
- Quartieri, J., Iannone, G., Guarnaccia, C., D'Ambrosio, S., Troisi, A., Lenza, T. L. L., & Mastorakis, N. E. (2009). A Review of Traffic Noise Predictive Models. The 5th

- WSEAS International Conference on Applied and Theoretical Mechanics, 72–80.
- Romero-Sanz, I., & Matesanz, Á. (2008). Noise management on modern wind turbines. *Wind Engineering*, 32(1), 27–44. <https://doi.org/10.1260/030952408784305886>
- SEA. (2019). Guía para la predicción y evaluación de impactos por ruido y vibración en el SEIA. Servicio de Evaluación Ambiental Chile. https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2019/03/13/guia_ruido_y_vibracion_websea.pdf
- SIEMENS. (2018). SG 4.5-145 NOISE EMISSION ANALYSIS. GENERAL CHARACTERISTICS MANUAL, 01, 3–13.
- Siskind, D. E., Stachura, V. J., Stagg, M. S., & Kopp, J. W. (1980). Structure Response and Damage Produced By Airblast From Surface Mining. In Report of Investigations. Bureau of Mines (Issue 8485).
- SNC-Lavalin. (2019). Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado del Proyecto “Parque Eólico Punta Lomitas y su Interconexión al SEIN.” SNC-Lavalin Perú.
- Spera, D. (2009). *Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts in Wind Turbine Engineering* (Second Ed). ASME Press.
- SVANTEK. (2020). Svan 979: Sound & Vibration Analyser. In Brochure.
- Tarrero, A. (2002). Propagación del sonido en bosques - Análisis comparativo de las medidas in situ , en laboratorio y de los valores predichos por un modelo. Tesis de Doctorado. Universidad de Valladolid.
- Teplitzky, A. M., Hickman, C. E., Dubois, T. J., Trykoski, M. A., & Paladino, R. C. (1979). Electric power plant environmental noise guide. *Acoustical Society of America*, 65(S103). <https://doi.org/10.1121/1.2016906>
- Vargas, I. (2014). Evaluación del impacto acústico generado por el tráfico vehicular en las vías circundantes al Cuartel General del Ejército del Perú. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Villacorta, K. (2019). El Rol de las Energías Renovables en el Perú del Bicentenario. *Enel Green Power*.
- Wagner, S., Bareiß, R., & Guidati, G. (1996). *Wind Turbine Noise*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-88710-9>

- Wang, L., Pereira, N., & Hung, Y.-T. (2005). Handbook of Environmental Engineering: Advanced Air and Noise Pollution Control (Volumen 2, p. 473). Humana Press Inc.
- Yi Feng, C., Md Noh, N. I. F., & Al Mansob, R. (2020). Study on The Factors and Effects of Noise Pollution at Construction Site in Klang Valley. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 20(1), 18–26. <https://doi.org/10.37934/araset.20.1.1826>

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Resultados del inventario de emisiones sonoras y modelamiento de ruido

Tabla 1-1
Información para el cálculo de los niveles de potencia sonora para voladuras⁽¹⁾ - Etapa de operación

Actividades	Ubicación	Volumen de excavación en roca (m ³)	Factor de carga (kg/m ³)	Total de explosivos (kg)	Plazo de ejecución		Stock mensual (kg)
					Meses	Días	
Accesos internos	Parque eólico	123600	0.3	37080	3.5	77	10594
Cimentación aerogeneradores	En cada aerogenerador	84320	0.4	33728	6	132	5621
Plataformas de trabajo	En cada aerogenerador	108500	0.3	32550	6	132	5425
Zanjas para medio voltaje	Paralelo a los accesos internos	10300	0.4	4120	6	132	687
Subestación eléctrica	Pórtico SE Lomitas	4500	0.04	180	2	44	90
Total		331220	-	107658	-	-	22417

Notas:

⁽¹⁾ Según la Sección 2. Descripción del proyecto (SNC Lavalin, 2019).

Tabla 1-3
Cálculo de los niveles de potencia sonora para voladuras (Fase 2 de cimentación de aerogeneradores) - Etapa de construcción

Nro. Aerogenerador	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18S		Plazo de ejecución (meses)	Número de taladros	Profundidad máxima (C)	% Roca	kg/voladura	Voladura controlada	Máxima carga por secuencia (W)		Distancia (D)		Presión pico en psi (P) ⁽¹⁾				Presión de referencia (Po)	Nivel de presión pico (dB) a 10 metros ⁽¹⁾					Ruido de fondo LeqT en 15 min (dBA)	LeqT a 10 metros (dBA)		
	Este	Norte							kg	lb	m	pulg.	0.1 Hz	2 Hz	5 Hz	Pond. C		0.1 Hz	2 Hz	5 Hz	Pond. C	Pond. A		15 min.	1 hora	15 horas
1	402 683	8 386 060	6	105.3	3.5	40	158.00	348.3	10	393.7	0.25	0.13	0.24	0.03	2.9E-09	158.6	153.0	158.3	140.7	138.9	56.7	109.4	103.4	91.6		
2	402 429	8 385 939	6	79.0	3.5	30	118.50	130.6	10	393.7	0.14	0.08	0.14	0.02	2.9E-09	154.0	148.8	153.5	135.7	133.9	56.7	104.3	98.3	86.5		
3	402 140	8 385 681	6	158.0	3.5	60	237.00	1	118.50	261.2	10	393.7	0.21	0.11	0.20	0.03	2.9E-09	157.2	151.8	156.9	139.2	137.4	56.7	107.9	101.9	90.1
4	401 910	8 385 472	6	210.7	3.5	80	316.00	1	158.00	348.3	10	393.7	0.25	0.13	0.24	0.03	2.9E-09	158.6	153.0	158.3	140.7	138.9	56.7	109.4	103.4	91.6
5	401 669	8 385 224	6	131.7	3.5	50	197.50	1	98.75	217.7	10	393.7	0.19	0.10	0.18	0.02	2.9E-09	156.4	151.0	156.0	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
6	401 369	8 385 072	6	79.0	3.5	30	118.50	1	59.25	130.6	10	393.7	0.14	0.08	0.14	0.02	2.9E-09	154.0	148.8	153.5	135.7	133.9	56.7	104.3	98.3	86.5
7	401 030	8 384 993	6	131.7	3.5	50	197.50	1	98.75	217.7	10	393.7	0.19	0.10	0.18	0.02	2.9E-09	156.4	151.0	156.0	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
8	400 852	8 384 677	6	131.7	3.5	50	197.50	1	98.75	217.7	10	393.7	0.19	0.10	0.18	0.02	2.9E-09	156.4	151.0	156.0	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
9	400 572	8 384 501	6	131.7	3.5	50	197.50	1	98.75	217.7	10	393.7	0.19	0.10	0.18	0.02	2.9E-09	156.4	151.0	156.0	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
10	400 257	8 384 387	6	184.3	3.5	70	276.50	1	138.25	304.8	10	393.7	0.23	0.12	0.22	0.03	2.9E-09	157.9	152.5	157.6	140.0	138.2	56.7	108.7	102.7	90.9
11	400 909	8 383 136	6	184.3	3.5	70	276.50	1	138.25	304.8	10	393.7	0.23	0.12	0.22	0.03	2.9E-09	157.9	152.5	157.6	140.0	138.2	56.7	108.7	102.7	90.9
12	401 196	8 383 267	6	184.3	3.5	70	276.50	1	138.25	304.8	10	393.7	0.23	0.12	0.22	0.03	2.9E-09	157.9	152.5	157.6	140.0	138.2	56.7	108.7	102.7	90.9
13	401 503	8 383 476	6	158.0	3.5	60	237.00	1	118.50	261.2	10	393.7	0.21	0.11	0.20	0.03	2.9E-09	157.2	151.8	156.9	139.2	137.4	56.7	107.9	101.9	90.1
14	401 730	8 383 654	6	131.7	3.5	50	197.50	1	98.75	217.7	10	393.7	0.19	0.10	0.18	0.02	2.9E-09	156.4	151.0	156.0	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
15	401 954	8 383 927	6	131.7	3.5	50	197.50	1	98.75	217.7	10	393.7	0.19	0.10	0.18	0.02	2.9E-09	156.4	151.0	156.0	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
16	402 222	8 384 085	6	158.0	3.5	60	237.00	1	118.50	261.2	10	393.7	0.21	0.11	0.20	0.03	2.9E-09	157.2	151.8	156.9	139.2	137.4	56.7	107.9	101.9	90.1
17	402 473	8 384 279	6	131.7	3.5	50	197.50	1	98.75	217.7	10	393.7	0.19	0.10	0.18	0.02	2.9E-09	156.4	151.0	156.0	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
18	402 782	8 384 424	6	131.7	3.5	50	197.50	1	98.75	217.7	10	393.7	0.19	0.10	0.18	0.02	2.9E-09	156.4	151.0	156.0	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
19	403 050	8 384 608	6	79.0	3.5	30	118.50	1	59.25	130.6	10	393.7	0.14	0.08	0.14	0.02	2.9E-09	154.0	148.8	153.5	135.7	133.9	56.7	104.3	98.3	86.5
20	403 319	8 384 793	6	79.0	3.5	30	118.50	1	59.25	130.6	10	393.7	0.14	0.08	0.14	0.02	2.9E-09	154.0	148.8	153.5	135.7	133.9	56.7	104.3	98.3	86.5
21	403 582	8 385 016	6	105.3	3.5	40	158.00	1	79.00	174.2	10	393.7	0.17	0.09	0.16	0.02	2.9E-09	155.3	150.1	154.9	137.2	135.4	56.7	105.8	99.8	88.0
22	404 183	8 383 691	6	158.0	3.5	60	237.00	1	118.50	261.2	10	393.7	0.21	0.11	0.20	0.03	2.9E-09	157.2	151.8	156.9	139.2	137.4	56.7	107.9	101.9	90.1
23	403 916	8 383 505	6	131.7	3.5	50	197.50	1	98.75	217.7	10	393.7	0.19	0.10	0.18	0.02	2.9E-09	156.4	151.0	156.0	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
24	403 648	8 383 320	6	131.7	3.5	50	197.50	1	98.75	217.7	10	393.7	0.19	0.10	0.18	0.02	2.9E-09	156.4	151.0	156.0	138.3	136.5	56.7	107.0	100.9	89.2
25	403 358	8 383 155	6	158.0	3.5	60	237.00	1	118.50	261.2	10	393.7	0.21	0.11	0.20	0.03	2.9E-09	157.2	151.8	156.9	139.2	137.4	56.7	107.9	101.9	90.1
26	403 108	8 382 953	6	158.0	3.5	60	237.00	1	118.50	261.2	10	393.7	0.21	0.11	0.20	0.03	2.9E-09	157.2	151.8	156.9	139.2	137.4	56.7	107.9	101.9	90.1
27	402 862	8 382 745	6	158.0	3.5	60	237.00	1	118.50	261.2	10	393.7	0.21	0.11	0.20	0.03	2.9E-09	157.2	151.8	156.9	139.2	137.4	56.7	107.9	101.9	90.1
28	402 573	8 382 582	6	158.0	3.5	60	237.00	1	118.50	261.2	10	393.7	0.21	0.11	0.20	0.03	2.9E-09	157.2	151.8	156.9	139.2	137.4	56.7	107.9	101.9	90.1
29	402 287	8 382 438	6	184.3	3.5	70	276.50	1	138.25	304.8	10	393.7	0.23	0.12	0.22	0.03	2.9E-09	157.9	152.5	157.6	140.0	138.2	56.7	108.7	102.7	90.9
30	402 041	8 382 228	6	184.3	3.5	70	276.50	1	138.25	304.8	10	393.7	0.23	0.12	0.22	0.03	2.9E-09	157.9	152.5	157.6	140.0	138.2	56.7	108.7	102.7	90.9
31	401 785	8 382 005	6	184.3	3.5	70	276.50	1	138.25	304.8	10	393.7	0.23	0.12	0.22	0.03	2.9E-09	157.9	152.5	157.6	140.0	138.2	56.7	108.7	102.7	90.9
32	401 535	8 381 806	6	184.3	3.5	70	276.50	1	138.25	304.8	10	393.7	0.23	0.12	0.22	0.03	2.9E-09	157.9	152.5	157.6	140.0	138.2	56.7	108.7	102.7	90.9
33	401 230	8 381 658	6	184.3	3.5	70	276.50	1	138.25	304.8	10	393.7	0.23	0.12	0.22	0.03	2.9E-09	157.9	152.5	157.6	140.0	138.2	56.7	108.7	102.7	90.9
34	400 961	8 381 474	6	184.3	3.5	70	276.50	1	138.25	304.8	10	393.7	0.23	0.12	0.22	0.03	2.9E-09	157.9	152.5	157.6	140.0	138.2	56.7	108.7	102.7	90.9
35	400 856	8 381 166	6	184.3	3.5	70	276.50	1	138.25	304.8	10	393.7	0.23	0.12	0.22	0.03	2.9E-09	157.9	152.5	157.6	140.0	138.2	56.7	108.7	102.7	90.9
36	401 392	8 380 071	6	184.3	3.5	70	276.50	1	138.25	304.8	10	393.7	0.23	0.12	0.22	0.03	2.9E-09	157.9	152.5	157.6	140.0	138.2	56.7	108.7	102.7	90.9
37	401 661	8 380 256	6	237.0	3.5	90	355.50	1	177.75	391.9	10	393.7	0.26	0.14	0.25	0.03	2.9E-09	159.1	153.5	158.8	141.3	139.5	56.7	110.0	104.0	92.2
38	401 930	8 380 441	6	237.0	3.5	90	355.50	1	177.75	391.9	10	393.7	0.26	0.14	0.25	0.03	2.9E-09	159.1	153.5	158.8	141.3	139.5	56.7	110.0	104.0	92.2
39	402 239	8 380 575	6	237.0	3.5	90	355.50	1	177.75	391.9	10	393.7	0.26	0.14	0.25	0.03	2.9E-09	159.1	153.5	158.8	141.3	139.5	56.7	110.0	104.0	92.2
40	402 558	8 380 694	6	237.0	3.5	90	355.50	1	177.75	391.9	10	393.7	0.26	0.14	0.25	0.03	2.9E-09	159.1	153.5	158.8	141.3	139.5	56.7	110.0	104.0	92.2
41	402 805	8 380 910	6	237.0	3.5	90	355.5	1	177.75	391.9	10	393.7	0.26	0.14	0.25	0.03	2.9E-09	159.1	153.5	158.8	141.3	139.5	56.7	110.0	104.0	92.2
42	402 981	8 381 213	6	263.3	3.5	100	395.0	1	197.50	435.4	10	393.7	0.28	0.15	0.27	0.04	2.9E-09	159.6	154.0	159.3	141.9	140.1	56.7	110.5	104.5	92.8
43	403 265	8 381 380	6	263.3	3.5	100	395.0	1	197.50	435.4	10	393.7	0.28	0.15	0.27	0.04	2.9E-09	159.6	154.0	159.3	141.9	140.1	56.7	110.5	104.5	92.8
44	403 526	8 381 584	6	263.3	3.5	100	395.0	1	197.50	435.4	10	393.7	0.28	0.15	0.27	0.04	2.9E-09	159.6	154.0	159.3	141.9	140.1	56.7	110.5	104.5	92.8
45	403 820	8 381 779	6	263.3	3.5	100	395.0	1	197.50	435.4	10	393.7	0.28	0.15	0.27	0.04	2.9E-09	159.6	154.0	159.3	141.9	140.1	56.7	110.5	104.5	92.8
46	404 115	8 381 866	6	263.3	3.5</																					

Tabla 1-4
Cálculo de los niveles de presión sonora equivalente (LeqT) y niveles de exposición sonora (SEL) en receptores - Etapa de construcción

Ubicación	Receptor	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18 S		L _{pico} modelado a 2 metros (diurno)*			Ruido de fondo LAeqT (dBA)**	LeqT en 15 min		Aportes por voladura LAeqT ***		Ruido LAeqT acumulado	
		Este	Norte	dBA	dBC	dB		dBA	dB	dBA	dB	dBA	dB
Ruido ambiental													
Zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Paracas (ZARNP)	ZA-1	399611	8384618	89.5	91.3	92.0	56.7	61.6	64.1	42.2	44.7	56.9	59.4
	ZA-2 ³	399916	8384948	90.4	92.2	92.9	56.7	62.3	64.8	43.1	45.6	56.9	59.4
	ZA-3	400147	8385200	84.1	85.9	86.6	56.7	58.7	61.2	36.8	39.3	56.8	59.3
	ZA-4	400486	8385568	78.4	80.2	80.9	56.7	57.3	59.8	31.1	33.6	56.7	59.2
	ZA-5	401204	8386347	72.0	73.8	74.5	56.7	56.8	59.3	24.7	27.2	56.7	59.2
	ZA-6	401925	8387132	80.0	81.8	82.5	56.7	57.6	60.1	32.7	35.2	56.7	59.2
Viviendas cercanas a la playas	Playa Media Luna	400388	8384980	91.6	93.4	94.1	56.7	63.2	65.7	44.3	46.8	56.9	59.4
	Playa Punta Lomitas	408716	8373536	0.0	0.0	0.0	56.7	56.7	59.2	0.0	2.5	56.7	59.2
Estación de monitoreo de ruido	RUI-01	402754	8381933	66.7	68.5	69.2	56.7	56.7	59.2	19.4	21.9	56.7	59.2
Ruido acuático y subacuático (lobos marinos)													
Puntos de monitoreo de lobos marinos	PMB_BIO_LOB_01	401505	8379201	73.4	75.2	75.9	56.7	56.9	59.4	26.1	28.6	56.7	59.2
	PMB_BIO_LOB_02	401283	8379215	77.5	79.3	80.0	56.7	57.2	59.7	30.2	32.7	56.7	59.2
Límite costero próximo a la ZARNP	LC-1	399586	8384746	88.3	90.1	90.8	56.7	60.8	63.3	41.0	43.5	56.8	59.3
	LC-2	399647	8384930	87.8	89.6	90.3	56.7	60.5	63.0	40.5	43.0	56.8	59.3
	LC-3	399903	8384980	89.7	91.5	92.2	56.7	61.8	64.3	42.4	44.9	56.9	59.4
	LC-4	400156	8385229	83.6	85.4	86.1	56.7	58.6	61.1	36.3	38.8	56.7	59.2
Puntos en el océano dentro la ZARNP	P-Co	399984	8385044	90.0	91.8	92.5	56.7	62.0	64.5	42.7	45.2	56.9	59.4
ECA - Ruido diurno⁽¹⁾				--	--	--	50.0	50.0	--	--	--	50.0	--
Límite máximo de L_{pico} por golpes de aire de voladura (Air blast)⁽²⁾				--	105.0	--	--	--	--	--	--	--	--
Umbral TTS para pinnípedos otáridos (lobos marinos)⁽³⁾				--	--	226.0	--	--	--	--	--	--	--
Umbral PTS para pinnípedos otáridos (lobos marinos)⁽³⁾				--	--	232.0	--	--	--	--	--	--	--

Notas:

* Lpico modelado durante un (01) segundo de duración y a una altura de receptor de 2 metros en el modelo CadnaA.

** Ruido de fondo (L_{AeqT}) de la estación RUI-01, medido en intervalos de 15 minutos durante 15 horas del horario diurno.

*** Aportes calculados en intervalos de 15 minutos durante las 15 horas del horario diurno.

³ Punto de máximo nivel de ruido en la costa de la ZARNP.

⁽¹⁾ D.S. Nº 085-2003-PCM.

⁽²⁾ *Blasting Performance Standards 30 Code of Federal Regulations. Sec. 816.61 Use of explosives: General requirements* (OSMRE, 1986).

⁽³⁾ *Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0). NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59* (NOAA, 2018).

- PTS: Pérdida auditiva permanente, TTS: Pérdida auditiva temporal.

Ecuaciones:

- Lpico (dBA) = Lpico (dBC) - 1.8

- Lpico (dBA) = Lpico (dB) - 2.5

- Nivel de presión sonora equivalente en dBA (LeqT): $LeqT = 10 \cdot \log(1/T \cdot \sum 10^{L_i/10})$

> Tiempo del nivel pico (Lpico): 1 seg

> Tiempo total (T): 15 min = 900 seg

Tabla 1-5
Cálculo de los niveles de presión sonora pico (L_{pico}) en receptores dentro del océano (lobos marinos) - Etapa de construcción

Ubicación	Receptor	L_{pico} modelado a 0 metros (diurno) ⁽¹⁾		Gradiente de pérdida por reflexión (η)	Profundidad del fondo marino en metros (H)	Altura de referencia en metros (Rref)	Distancia del receptor en metros (R)		Modelo subacuático ⁽²⁾	
		dBA	dB						Pérdida por transmisión (TL_R)	L_{pico} (dB)
Puntos de monitoreo de lobos marinos	PMB_BIO_LOB_01	70.8	73.3	0.25	200	1	R ₁	10	21.0	52.3
							R ₂	50	31.5	41.8
							R ₃	150	38.7	34.6
							R ₄	200	40.5	32.8
	PMB_BIO_LOB_02	71.1	73.6	0.25	200	1	R ₁	10	21.0	52.6
							R ₂	50	31.5	42.1
							R ₃	150	38.7	34.9
							R ₄	200	40.5	33.1
Límite costero dentro de la ZARNP	LC-1	86.7	89.2	0.25	200	1	R ₁	10	21.0	68.2
							R ₂	50	31.5	57.7
							R ₃	150	38.7	50.5
							R ₄	200	40.5	48.7
	LC-2	85.2	87.7	0.25	200	1	R ₁	10	21.0	66.7
							R ₂	50	31.5	56.2
							R ₃	150	38.7	49.0
							R ₄	200	40.5	47.2
	LC-3	88.1	90.6	0.25	200	1	R ₁	10	21.0	69.6
							R ₂	50	31.5	59.1
							R ₃	150	38.7	51.9
							R ₄	200	40.5	50.1
	LC-4	81.2	83.7	0.25	200	1	R ₁	10	21.0	62.7
							R ₂	50	31.5	52.2
							R ₃	150	38.7	45.0
							R ₄	200	40.5	43.2
Puntos en el océano dentro la ZARNP	P-Co	87.8	90.3	0.25	200	1	R ₁	10	21.0	69.3
							R ₂	50	31.5	58.8
							R ₃	150	38.7	51.6
							R ₄	200	40.5	49.8
Umbral TTS para lobos marinos (pérdida temporal de la audición) ⁽³⁾										226.0
Umbral PTS para lobos marinos (pérdida permanente de la audición) ⁽³⁾										232.0

Notas:

⁽¹⁾ Nivel de presión sonora pico (L_{pico}) obtenidos en el océano a partir del modelo CadnAA en superficie (0 metros sobre el nivel del mar).

⁽²⁾ *Monitoring guidance for underwater noise in European Seas- part III: Background information and annexes* (Dekeling et al., 2014).

Principles of Sonar Performance Modelling, Springer Praxis Publishing (Ainslie, 2010).

- Pérdida por transmisión (TL_R) en dB:

$$TL_R = 15 \cdot \log(R) + 5 \cdot \log(\eta \cdot H / \pi \cdot R_{ref})$$

* η : Gradiente de pérdida por reflexión = 0.25 (Arena)

* H: Profundidad del fondo marino = 200 m

* R_{ref} : Altura de referencia = 1 m

- Nivel de presión sonora (L_R) resultante en dB:

$$L_R = L_0 - TL_R$$

⁽³⁾ *Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0)*. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-50 (NOAA, 2018).

- PTS: Pérdida auditiva permanente, TTS: Pérdida auditiva temporal.

Tabla 2-1
Cálculo de los niveles de potencia sonora en frecuencias de octavas generados por aerogeneradores - Etapa de operación / Horario diurno

Nro. Aerogenerador	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18 S		Altura sobre el suelo (m)	Horas de actividad al día	Días de actividad al año	Potencia (kW)	Nivel de Potencia sonora (dBA) ⁽¹⁾	Banda de octavas (Hz) ⁽¹⁾								
	Este	Norte						31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	80000
1	402 683	8 386 060	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
2	402 429	8 385 839	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
3	402 140	8 385 681	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
4	401 910	8 385 472	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
5	401 669	8 385 224	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
6	401 369	8 385 072	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
7	401 030	8 384 993	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
8	400 852	8 384 677	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
9	400 572	8 384 501	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
10	400 257	8 384 387	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
11	400 909	8 383 136	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
12	401 196	8 383 267	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
13	401 503	8 383 476	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
14	401 730	8 383 654	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
15	401 954	8 383 927	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
16	402 222	8 384 085	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
17	402 473	8 384 279	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
18	402 782	8 384 424	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
19	403 050	8 384 608	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
20	403 319	8 384 793	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
21	403 582	8 385 016	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
22	404 183	8 383 691	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
23	403 916	8 383 505	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
24	403 648	8 383 320	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
25	403 358	8 383 155	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
26	403 108	8 382 953	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
27	402 862	8 382 745	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
28	402 573	8 382 582	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
29	402 287	8 382 438	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
30	402 041	8 382 228	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
31	401 785	8 382 005	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
32	401 535	8 381 806	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
33	401 230	8 381 658	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
34	400 961	8 381 474	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
35	400 856	8 381 166	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
36	401 392	8 380 071	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
37	401 661	8 380 256	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
38	401 930	8 380 441	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
39	402 239	8 380 575	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
40	402 558	8 380 694	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
41	402 805	8 380 910	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
42	402 981	8 381 213	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
43	403 265	8 381 380	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
44	403 526	8 381 584	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
45	403 820	8 381 779	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
46	404 115	8 381 866	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
47	404 279	8 382 136	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
48	404 660	8 380 537	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
49	404 430	8 380 289	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
50	404 158	8 380 112	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
51	403 867	8 379 928	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
52	403 634	8 379 716	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
53	403 327	8 379 548	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
54	403 021	8 379 407	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
55	402 753	8 379 222	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
56	402 429	8 379 233	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
57	403 540	8 378 403	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
58	403 849	8 378 360	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
59	404 172	8 378 477	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
60	404 384	8 378 703	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
61	404 789	8 378 891	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
62	404 937	8 379 164	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7

Notas:

⁽¹⁾ Nivel de potencia sonora máximo correspondiente al aerogenerador Siemens - Modelo SG 4.5-145 (4.5 MW), obtenido a partir de mediciones realizadas en base a la norma IEC 61400-11 (SNC-Lavalin, 2019).

Tabla 2-2
Cálculo de los niveles de potencia sonora en frecuencias de octavas generados por aerogeneradores - Etapa de operación / Horario nocturno

Nro. Aerogenerador	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18 S		Altura sobre el suelo (m)	Horas de actividad al día	Días de actividad al año	Potencia (kW)	Nivel de Potencia sonora (dBA) ⁽¹⁾	Banda de octavas (Hz) ⁽¹⁾								
	Este	Norte						31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	402 683	8 386 060	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
2	402 429	8 385 839	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
3	402 140	8 385 681	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
4	401 910	8 385 472	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
5	401 669	8 385 224	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
6	401 369	8 385 072	84 - 120	24	365	3000	99.9	76.1	84.3	89.3	92.4	93.6	93.8	91.6	88.4	77.8
7	401 030	8 384 993	84 - 120	24	365	3000	99.9	76.1	84.3	89.3	92.4	93.6	93.8	91.6	88.4	77.8
8	400 852	8 384 677	84 - 120	24	365	3000	99.9	76.1	84.3	89.3	92.4	93.6	93.8	91.6	88.4	77.8
9	400 572	8 384 501	84 - 120	24	365	3000	99.9	76.1	84.3	89.3	92.4	93.6	93.8	91.6	88.4	77.8
10	400 257	8 384 387	84 - 120	24	365	3000	99.9	76.1	84.3	89.3	92.4	93.6	93.8	91.6	88.4	77.8
11	400 909	8 383 136	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
12	401 196	8 383 267	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
13	401 503	8 383 476	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
14	401 730	8 383 654	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
15	401 954	8 383 927	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
16	402 222	8 384 085	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
17	402 473	8 384 279	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
18	402 782	8 384 424	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
19	403 050	8 384 608	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
20	403 319	8 384 793	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
21	403 582	8 385 016	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
22	404 183	8 383 691	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
23	403 916	8 383 505	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
24	403 648	8 383 320	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
25	403 358	8 383 155	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
26	403 108	8 382 953	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
27	402 862	8 382 745	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
28	402 573	8 382 582	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
29	402 287	8 382 438	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
30	402 041	8 382 228	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
31	401 785	8 382 005	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
32	401 535	8 381 806	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
33	401 230	8 381 658	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
34	400 961	8 381 474	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
35	400 692	8 381 289	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
36	401 392	8 380 071	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
37	401 661	8 380 256	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
38	401 930	8 380 441	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
39	402 239	8 380 575	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
40	402 558	8 380 694	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
41	402 805	8 380 910	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
42	402 981	8 381 213	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
43	403 265	8 381 380	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
44	403 526	8 381 584	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
45	403 820	8 381 779	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
46	404 115	8 381 866	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
47	404 279	8 382 136	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
48	404 660	8 380 537	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
49	404 430	8 380 289	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
50	404 158	8 380 112	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
51	403 867	8 379 928	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
52	403 634	8 379 716	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
53	403 327	8 379 548	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
54	403 021	8 379 407	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
55	402 753	8 379 222	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
56	402 484	8 379 037	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
57	403 583	8 378 202	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
58	403 849	8 378 360	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
59	404 172	8 378 477	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
60	404 384	8 378 703	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
61	404 789	8 378 891	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7
62	404 937	8 379 164	84 - 120	24	365	4500	107.8	84.0	92.2	97.2	100.3	101.5	101.7	99.5	96.3	85.7

Notas:

⁽¹⁾ Nivel de potencia sonora máximo correspondiente al aerogenerador Siemens - Modelo SG 4.5-145 (4.5 MW), obtenido a partir de mediciones realizadas en base a la norma IEC 61400-11 (SNC-Lavalin, 2019).

Tabla 2-4
Cálculo de los niveles de potencia sonora en frecuencias de octavas generados por subestaciones eléctricas - Etapa de operación / Horario diurno y nocturno

Nro.	Fuente	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18 S		Altura sobre el suelo (m)	Horas de actividad al día	Días de actividad al año	Potencia (kV)	Nivel de Potencia sonora (dBA) ⁽¹⁾	Banda de octavas (Hz)								
		Este	Norte						31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	80000
1	Subestación Punta Lomitas	404 125	8 384 245	2	24	365	320 kV	113.4	67	80.2	90.3	97.8	103.2	106.4	107.6	107.4	105.3

Notas:

⁽¹⁾ Guía *Electric Power Plant Environmental Noise Guide* (Teplitzky et al., 1979).

⁽²⁾ Espectro de frecuencias obtenido a partir del modelo CadnAA (DataKustik, 2018).

Tabla 2-4
 Información para el cálculo de los niveles de potencia sonora generado por tránsito vehicular - Etapa de operación / Horario diurno

Item	Fuente	Tipo de fuente	Ruta	Tipo de equipo	Marca	Modelo	Cantidad disponible	Potencia (kW)	Potencia (Hp)	Potencia total (kW)	Velocidad del vehículo (km/h)	Numero de viajes al día (ida y vuelta)	Numero de viajes totales al año	Horario	Longitud total (km)
1	Acceso completo	Lineal	Edificio de control - Plataformas	Camioneta	Toyota	Hilux	2	124	166	248.0	45	2	1460	Diurno	41.8
2	Acceso completo	Lineal	Edificio de control - Plataformas	Camión grúa	HINO	GH 1826	1	191	256	191.0	45	2	730	Diurno	41.8

Tabla 2-4
Niveles de ruido L_{AeqT} en receptores - Etapa de operación

Ubicación	Receptor	Niveles de ruido diurno L_{AeqT} (dBA)			Niveles de ruido nocturno L_{AeqT} (dBA)		
		Fondo ⁽¹⁾	Aporte	Acumulado ⁽²⁾	Fondo ⁽¹⁾	Aporte	Acumulado ⁽²⁾
Límite de la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Paracas (ZARNP)	ZA-1	56.7	40.7	56.8	54.2	36.7	54.3
	ZA-2	56.7	41.9	56.8	54.2	37.0	54.3
	ZA-3	56.7	41.7	56.8	54.2	36.8	54.3
	ZA-4	56.7	41.4	56.8	54.2	37.7	54.3
	ZA-5	56.7	39.5	56.8	54.2	38.3	54.3
	ZA-6	56.7	36.6	56.7	54.2	36.1	54.3
ECA - Ruido diurno en zona de protección especial⁽³⁾		50			40		
Viviendas cercanas a la playa	Playa Media Luna	56.7	45.8	57.0	54.2	40.0	54.4
	Playa Punta Lomitas	56.7	0.0	56.7	54.2	0.0	54.2
Estación de monitoreo de ruido	RUI-01	56.7	46.2	57.1	54.2	46.2	54.8
ECA - Ruido diurno en zona residencial⁽³⁾		60			50		

⁽¹⁾ Ruido de fondo (L_{AeqT}) de la estación RUI-01, medido en intervalos de 15 minutos durante las 15 horas del horario diurno.

⁽²⁾ Ruido acumulado (L_{AeqT}) calculado a partir de la suma logarítmica entre el ruido de fondo (línea base) y los aportes del modelo.

⁽³⁾ D.S. N° 085-2003-PCM.