

Planta de producción de e-Metanol a partir de hidrógeno
verde

Anexo VIII - Informe modelación ruido, EIA.



Socio estratégico: SEG Ingeniería.



ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETO.....	1
1.2 OBJETIVO	1
1.3 RESPONSABLE TÉCNICO	1
2. MARCO NORMATIVO	2
2.1 LEY DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA Y VALORES GUÍA PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	2
3. LÍNEA DE BASE.....	3
4. MODELO PREDICTIVO DE NIVEL DE PRESIÓN SONORA	4
5. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO	7
5.1 CARACTERIZACIÓN DE FUENTES FIJAS.....	8
5.2 CARACTERIZACIÓN DE FUENTES MÓVILES	17
5.3 RECEPTORES.....	19
5.3.1 Grilla.....	19
5.3.2 Receptores puntuales.....	20
5.4 ESCENARIOS	22
5.4.1 Escenario sin tránsito	22
5.4.2 Escenario con tránsito.....	22
5.5 PROPAGACIÓN DEL SONIDO	22
6. RESULTADOS	24
6.1.1 Modelación del escenario sin tránsito.....	24
6.1.1 Modelación del escenario con tránsito.....	25
6.1.1 Resumen de resultados	27
7. CONCLUSIONES	30
8. REFERENCIAS.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2-1: VALORES LÍMITE DE REFERENCIA PARA NIVEL DE PRESIÓN SONORA EN INMISIÓN, GESTA, VALORES GUÍA PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA, 2023.....	2
TABLA 3-1: RESULTADOS DE MEDICIÓN DE RUIDO.....	3
TABLA 4-1: VALORES DE COEFICIENTE DE ATENUACIÓN ATMOSFÉRICA POR BANDAS DE OCTAVA.....	5
TABLA 4-2: EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO DE LAS ATENUACIONES POR FACTOR SUELO.....	6
TABLA 5-1: COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LOS LÍMITES DEL EMPRENDIMIENTO EN UTM 21S.....	7
TABLA 5-2: CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES FIJAS DE EMISIÓN.....	9
TABLA 5-3: UBICACIÓN DE LAS FUENTES EN COORDENADAS UTM 21S.....	11
TABLA 5-4: DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE POTENCIA DE EMISIÓN, RRV, PARA UNA FUENTE PUNTUAL ELEMENTAL SOBRE SUPERFICIE NO POROSA, PARA BANDAS DE TERCIOS DE OCTAVAS DE FRECUENCIA CENTRAL FC (ADAPTADA DE BOCHER (2019)).....	18
TABLA 5-5: CÁLCULO DE LA COMPONENTE DE RUIDO DE RODADURA EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD V DE CIRCULACIÓN DE LOS VEHÍCULOS, Y LA ANTIGÜEDAD A DEL PAVIMENTO EN AÑOS (ADAPTADA DE BOCHER (2019)).....	19
TABLA 5-6: CÁLCULO DE LA COMPONENTE DE RUIDO MECÁNICO EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN V, Y LA PENDIENTE P DEL TRAMO DE CARRETERA, PARA TRAMOS DE VELOCIDAD CONSTANTE (ADAPTADA DE BOCHER (2019)).....	19
TABLA 5-7: PENDIENTE DE TRAMOS DE TRÁNSITO IDENTIFICADOS, VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN Y NIVEL DE PRESIÓN SONORA DE LAS FUENTES SEGÚN LA DIRECCIÓN.....	19
TABLA 5-8: ANCHO DE LA GRILLA EN FUNCIÓN A LA DISTANCIA A LAS FUENTES.....	19
TABLA 5-9: PARÁMETROS BASE PARA EL CÁLCULO DE LA PROPAGACIÓN DEL SONIDO.....	22
TABLA 6-3: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN SOBRE RECEPTORES CRÍTICOS Y CON LÍNEA BASE, ESCENARIO SIN TRÁNSITO.....	24
TABLA 6-4: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN SOBRE RECEPTORES CRÍTICOS Y CON LÍNEA BASE, ESCENARIO CON TRÁNSITO.....	25
TABLA 6-1: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN EN ESCENARIO CON Y SIN TRÁNSITO.....	27
TABLA 6-2: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN CONSIDERANDO LA LÍNEA BASE.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 3-1: UBICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO EN LA LÍNEA DE BASE.....	3
FIGURA 5-1: UBICACIÓN DEL EMPRENDIMIENTO Y OBRAS ANEXAS.....	7
FIGURA 5-2: TRAMOS DE TRÁNSITO CONSIDERADOS EN EL MODELO.....	17
FIGURA 5-3: DESCOMPOSICIÓN DE FUENTE LINEAL EN FUENTES PUNTUALES EQUIVALENTES (TOMADO DE [1]).....	18
FIGURA 5-4: UBICACIÓN DE LA GRILLA DE RECEPTORES.....	20
FIGURA 5-5: RECEPTORES PUNTUALES.....	21
FIGURA 5-6: RECEPTORES DE LA LOCALIDAD DE TAMBORES.....	21
FIGURA 5-7: IDENTIFICACIÓN DEL “GROUND FACTOR” EN EL TERRENO.....	23
FIGURA 6-2: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE NIVEL DE PRESIÓN SONORA POR LA OPERACIÓN DEL PROYECTO – ESCENARIO SIN TRÁNSITO (1/2).....	24
FIGURA 6-3: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE NIVEL DE PRESIÓN SONORA POR LA OPERACIÓN DEL PROYECTO – ESCENARIO SIN TRÁNSITO (2/2).....	25
FIGURA 6-4: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE NIVEL DE PRESIÓN SONORA POR LA OPERACIÓN DEL PROYECTO – ESCENARIO CON TRÁNSITO (1/2).....	26
FIGURA 6-5: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE NIVEL DE PRESIÓN SONORA POR LA OPERACIÓN DEL PROYECTO – ESCENARIO CON TRÁNSITO (2/2).....	26
FIGURA 6-1: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE NIVEL DE PRESIÓN SONORA EN EL ENTORNO DEL RECEPTOR V01 – ESCENARIO CON TRÁNSITO.....	29

1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETO

El objeto del presente informe corresponde a la modelación de ruido para el Proyecto Tambor, para el desarrollo y la operación de instalaciones asociadas a la Planta de producción de e-Metanol a partir de hidrógeno verde, en el departamento de Tacuarembó.

1.2 OBJETIVO

El presente informe tiene por objetivo realizar una modelación predictiva del nivel de presión sonora potencialmente aportado por la puesta en operación del proyecto.

1.3 RESPONSABLE TÉCNICO

El presente informe técnico fue elaborado por el Mag. Ing. Civil H/A Rodrigo Junes y el Ing. Civil H/A Emilio Barrenengoa, integrantes de Estudio Ingeniería Ambiental S.R.L.

2. MARCO NORMATIVO

2.1 LEY DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA Y VALORES GUÍA PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

La Ley 17.852 del 10 de diciembre de 2004 tiene por objeto la prevención, vigilancia y corrección de las situaciones de contaminación acústica, con el fin de asegurar la debida protección a la población, otros seres vivos, y el ambiente contra la exposición al ruido.

El documento técnico de “Valores guía para prevenir la contaminación acústica”, en su versión del 2023, es una referencia para las actuaciones ambientales del Ministerio de Ambiente y otros organismos, así como para la realización de estudios acústicos a nivel nacional. Constituye el extracto de los valores consensuados en el Proyecto de Estándares de Contaminación Acústica elaborado por GESTA-Ruido de la COTAMA. La Tabla 2-1 muestra los valores de referencia definidos en GESTA.

Tabla 2-1: Valores límite de referencia para nivel de presión sonora en inmisión, GESTA, Valores Guía para Prevenir la Contaminación Acústica, 2023.

Zonas	Inmisión $L_{A,F,eq}$ (dbA)			
	Incluyendo el ruido de tránsito		Sin considerar el ruido de tránsito	
	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
Rurales y áreas naturales protegidas	50	45	45	40
Urbanas silenciosas y áreas de protección sonora	60	50	55	45
Urbanas levemente ruidosas (predominantemente residencial)	65	55	60	50
Urbanas poco ruidosas (de uso mixto, residencial y comercial)	70	60	65	55
Urbanas ruidosas (predominantemente industriales y comerciales)	75	65	70	60

3. LÍNEA DE BASE

Los días 10, 11 y 12 de diciembre se realizaron mediciones de inmisión de ruido en 7 puntos en horario diurno y nocturno por parte de la empresa DATA MONITOREO, cuyo informe se presenta en el Anexo I del EsIA. La Tabla 3-1 muestra los resultados de dicho monitoreo, y la Figura 3-1 muestra la ubicación de los puntos monitoreados.

Tabla 3-1: Resultados de medición de ruido.

Punto	Diurno (dBA)	Nocturno (dBA)
Rural 1	44,5	42,7
Tambores 1	47,5	42,9
Tambores 2	62,3	46,0
V01	45,6	42,0
V02	45,2	51,6
V03	38,6	44,9
V04	41,2	45,2
V05	50,4	46,5

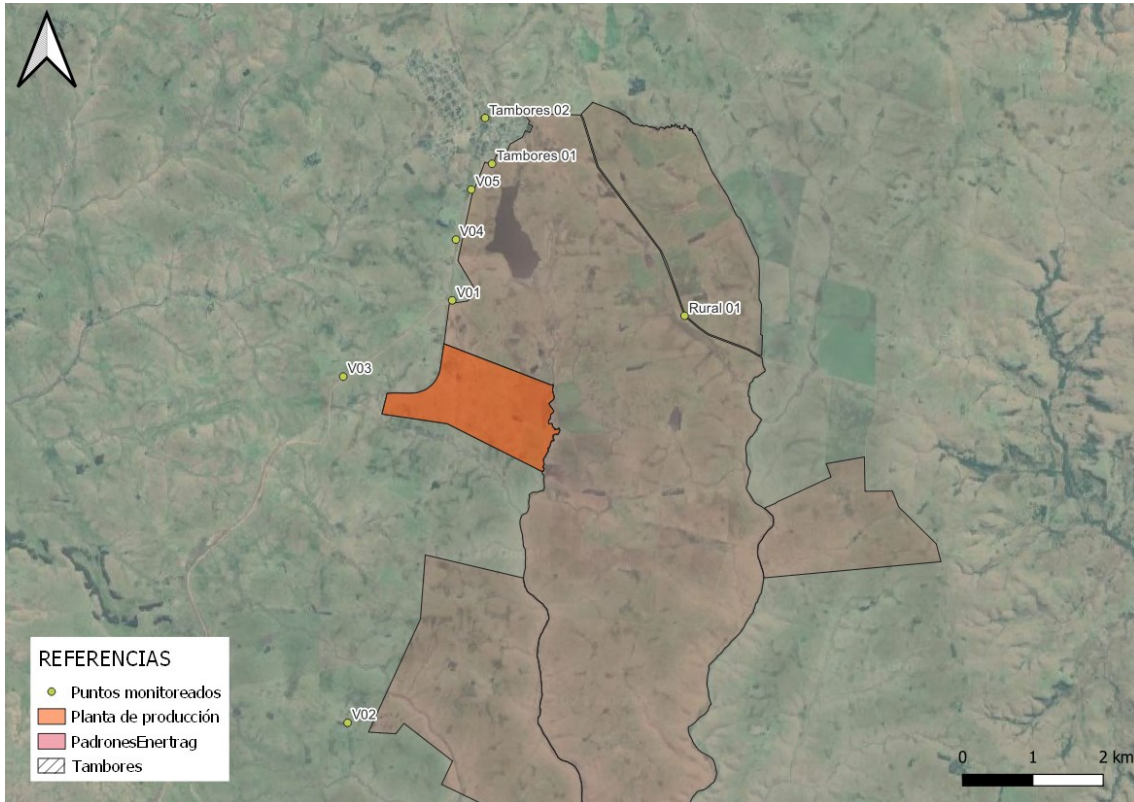


Figura 3-1: Ubicación de puntos de monitoreo en la línea de base.

4. MODELO PREDICTIVO DE NIVEL DE PRESIÓN SONORA

Para la presente modelación se utiliza la metodología de propagación de ruido en ambiente exterior presentada en la norma ISO 9613 - 2 (International Organization for Standardization (ISO), 1996), que se describe a continuación.

El nivel continuo equivalente de presión sonora en un punto dado, $L_{ft}(DW)$, se calcula para cada fuente puntual, para cada banda de octava con la Ecuación 4-1:

$$L_{ft}(DW) = L_W + D_C - A$$

Ecuación 4-1

Con:

L_W : potencia acústica producida por la fuente en la banda de octava correspondiente, expresada en dB, relativa a un nivel de referencia de 1 pW.

D_C : corrección por direccionalidad, en dB, que describe en cuánto el nivel de presión sonora de una fuente puntual se desvía del de una fuente puntual omnidireccional y uniforme, en una dirección específica.

A : atenuación por banda de octavas, en dB, que ocurre durante la propagación desde la fuente hasta el receptor.

El término de atenuación A , queda compuesto según indica la Ecuación 4-2:

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

Ecuación 4-2

Con:

A_{div} : atenuación por divergencia geométrica.

A_{atm} : atenuación por absorción atmosférica.

A_{gr} : atenuación por efecto suelo.

A_{bar} : atenuación por barreras.

A_{misc} : atenuación por efectos misceláneos.

Cabe destacar que en la implementación de este modelo no se considera la atenuación por barreras ni por efectos misceláneos.

La divergencia geométrica da cuenta de la dispersión esférica en espacio libre desde una fuente puntual, con lo que la atenuación queda dada por la Ecuación 4-3:

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

Ecuación 4-3

Con:

d: distancia desde la fuente al receptor, en metros.

d₀: distancia de referencia, valor 1 m.

La distancia d se calcula de forma simplificada como la distancia euclidiana en el plano horizontal, dado que la variación en la cota vertical es de orden menor a las distancias en horizontal.

La atenuación a causa de la absorción atmosférica, A_{atm}, en dB, queda dada por la Ecuación 4-4:

$$A_{atm} = \alpha d / 1000$$

Ecuación 4-4

Con:

α: coeficiente de atenuación atmosférica, expresado en dB/km (ver Tabla 4-1).

d: distancia desde la fuente al receptor, en metros.

Si sólo se conoce la potencia de emisión ponderada A (dBA) para una fuente dada, para estimar la atenuación se utilizan los valores de los términos correspondientes a la frecuencia de 500 Hz. Se utilizarán los valores correspondientes a una temperatura de 10 °C y 70% de humedad.

Tabla 4-1: Valores de coeficiente de atenuación atmosférica por bandas de octava.

Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Coeficiente de atenuación atmosférica (dB/km)							
		Frecuencia nominal central de la banda de octava (Hz)							
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
10	70	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117,0
20	70	0,1	0,3	1,1	2,8	5,0	9,0	22,9	76,6
30	70	0,1	0,3	1,0	3,1	7,4	12,7	23,1	59,3
15	20	0,3	0,6	1,2	2,7	8,2	28,2	88,8	202,0
15	50	0,1	0,5	1,2	2,2	4,2	10,8	36,2	129,0
15	80	0,1	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7	82,8

La atenuación por efecto suelo se da principalmente a causa de la interferencia del sonido reflejado en la superficie con el sonido que se propaga directamente entre la fuente y el receptor. Esta atenuación queda determinada fundamentalmente por la superficie del suelo cerca de la fuente y cerca del receptor. Este método de cálculo para el efecto suelo es aplicable cuando el suelo es aproximadamente plano, ya sea horizontalmente o con pendiente constante.

Se especifican tres regiones distintas para la atenuación por efecto suelo:

- La región de la fuente, que se extiende de la fuente al receptor en una distancia dada por el mínimo de 30 veces la altura de la fuente (30h_s) o la distancia entre la fuente y el receptor proyectada en el plano del suelo (d_p).
- La región del receptor, que se extiende desde el receptor a la fuente en una distancia dada por el mínimo de 30 veces la altura del receptor (30h_r) o d_p.
- La región intermedia, la cual se extiende entre las regiones de la fuente y el receptor (si estas se solapan, no hay región intermedia).

Las propiedades acústicas del suelo quedan definidas por el factor G. Se consideran tres categorías de superficies reflectantes:

- Suelo duro: $G = 0$. Corresponde a pavimento, agua, hielo, hormigón y otras superficies de porosidad baja.
- Suelo poroso: $G = 1$. Incluye superficies cubiertas por pasto, árboles y otra vegetación, y cualquier otra superficie adecuada para el crecimiento de vegetación, como áreas de cultivo.
- Suelo mixto: G toma valores entre 0 y 1, igual a la fracción de suelo poroso en el total. Corresponde a suelos mixtos.

Para calcular la atenuación por el factor suelo se deben calcular las componentes correspondientes a las distintas regiones consideradas: A_s para la región de la fuente, especificada por el factor suelo G_s , A_r para la región del receptor, especificado por el factor suelo G_r , y A_m para la región intermedia, especificada por el factor de suelo para el G_m . La atenuación total por el suelo queda dada por la Ecuación 4-5:

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m$$

Ecuación 4-5

En la Tabla 4-2 se presenta el cálculo de las atenuaciones en función del factor G correspondiente.

Tabla 4-2: Expresiones para el cálculo de las atenuaciones por factor suelo.

Frecuencia nominal central de la banda de octava	A_s o A_r^1	A_m
(Hz)	(dB)	(dB)
63	-1,5	$-3q^2$
125	$-1,5 + G \times a'(h)$	$-3q(1 - G_m)$
250	$-1,5 + G \times b'(h)$	
500	$-1,5 + G \times c'(h)$	
1.000	$-1,5 + G \times d'(h)$	
2.000	$-1,5(1 - G)$	
4.000	$-1,5(1 - G)$	
8.000	$-1,5(1 - G)$	

Con:

$$a'(h) = 1,5 + 3,0 \times e^{-0,12(h-5)^2} (1 - e^{-d_p/50}) + 5,7 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-2,8 \times 10^{-6} \times d_p^2})$$

$$b'(h) = 1,5 + 8,6 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-d_p/50})$$

$$c'(h) = 1,5 + 14,0 \times e^{-0,46h^2} (1 - e^{-d_p/50})$$

$$d'(h) = 1,5 + 5,0 \times e^{-0,9h^2} (1 - e^{-d_p/50})$$

$$q = 0 \text{ si } d_p \leq 30(h_s + h_r)$$

$$q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p} \text{ si } d_p > 30(h_s + h_r)$$

¹ Para el cálculo de A_s se toma $G=G_s$ y $h=h_s$. Para el cálculo de A_r se toma $G=G_r$ y $h=h_r$.

5. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

El presente proyecto consiste en una planta de producción de e-metanol que incluye obras anexas, como aerogeneradores, planta fotovoltaica y una presa. La Tabla 5-1 muestra las coordenadas geográficas de los límites de los predios, y la Figura 5-1 muestra la ubicación sobre imagen satelital donde se aprecian los límites departamentales y las rutas nacionales y departamentales.

Tabla 5-1: Coordenadas geográficas de los límites del emprendimiento en UTM 21S.

X (m)	Y (m)
573.482	6.456.919
573.459	6.473.069
570.440	6.468.768
578.538	6.464.605

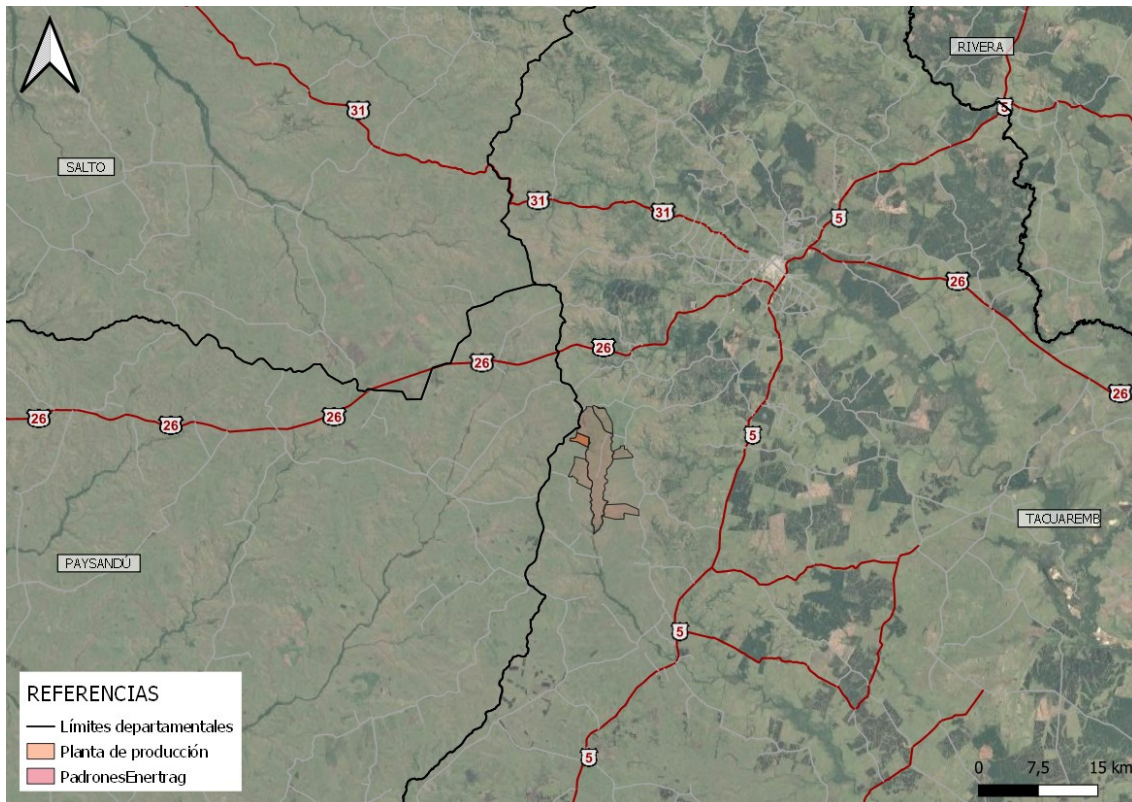


Figura 5-1: Ubicación del emprendimiento y obras anexas.

De modo de realizar la evaluación del aumento del nivel de presión sonora en los alrededores del sitio del proyecto se consideraron diferentes escenarios. Para posteriormente determinar para cada receptor el máximo nivel de presión sonora registrado en cada uno de los escenarios, obteniendo así un mapa de nivel de presión sonora máxima resultante de la operación del proyecto.

5.1 CARACTERIZACIÓN DE FUENTES FIJAS

Las fuentes fijas de emisión sonora corresponden a los principales equipos de la planta, los aerogeneradores y los transformadores de los paneles fotovoltaicos. Para la presente evaluación se utilizaron las fichas técnicas de los equipos descritos, se resume en la Tabla 5-2 los niveles de potencia acústica (L_W) de los equipos considerados en dBA, la altura de la fuente modelada respecto al suelo y el factor de directividad: 3 en caso de fuente semiesférica (fuente apoyada en el suelo) y 0 en caso de fuente esférica.

La Tabla 5-2 muestra las diferentes fuentes fijas consideradas en el modelo, donde para la planta de producción se divide las fuentes según los edificios, realizando la suma de las fuentes que se ubican dentro de cada edificio. La Tabla 5-3 muestra las coordenadas espaciales donde se ubica cada fuente.

Tabla 5-2: Caracterización de las fuentes fijas de emisión.

Fuente/ Edificio	Equipos	Altura respecto al piso (m)	L _{A eq.} (dBA)	Factor de directividad
Aerogeneradores 8m/s	Nordex N163/5.X	120 (Altura del buje)	109	0
Transformadores parque solar	Huawei SUN2000-330KTL-H1/H2	20	75	0
Subestación ENERTRAG	Transformadores 200 MVA Ventiladores para enfriamiento de transformadores Dispositivos de protección 150Kv	2	81,2	0
Descarga de CO ₂	Bombas de transferencia de	2	78	0
Carga de metanol	Bombas de transferencia de alcoholes superiores	2	78	0
Unidad de producción de metanol	Venteos Compresor de dióxido de carbono Compresor de gases de síntesis Recirculador Compresor de OH Bombas de la columna de reflujo Bombas BFW	2	111,2	0
Enfriamiento por aire de metanol	Enfriador de aire Bombas de agua de enfriamiento	2	94,1	0
Primera compresión del hidrógeno	Compresor de hidrógeno (0-30 bar)	2	94	0

Fuente/ Edificio	Equipos	Altura respecto al piso (m)	L _{A eq.} (dBA)	Factor de directividad
Compresión final del hidrógeno	Compresor de hidrógeno (30-100 bar)	2	94	0
Enfriamiento por aire de electrolisis	Enfriador de aire Bombas de agua de enfriamiento	2	94,1	0
Planta de efluentes	Bombas de recirculación de agua Bombas de sólidos Bombas de barro Bombas de efluentes calientes Bombas de efluentes	2	85,8	0
Planta de agua	Bombas de agua bruta Bombas de clarificación primaria Bombas de agua clarificada Bombas de rechazo de osmosis Bombas de abastecimiento de agua desmineralizada	2	85	0
Compresores	Soplantes para tratamiento de efluentes Bombas de abastecimiento de aireación	2	85,8	0

Tabla 5-3: Ubicación de las fuentes en coordenadas UTM 21S.

Fuente	ID	X (m)	Y (m)	Z (m)
Transformadores parque solar	1	574.894	6.466.265	247,2
	2	574.894	6.466.292	248,0
	3	575.209	6.466.265	249,0
	4	575.207	6.466.291	246,6
	5	575.029	6.466.063	241,8
	6	575.029	6.466.089	229,0
	7	575.144	6.466.492	250,0
	8	575.145	6.466.466	244,8
	9	574.866	6.466.468	242,4
	10	574.651	6.466.292	240,1
	11	574.573	6.467.017	252,2
	12	575.756	6.466.986	249,8
	13	574.885	6.467.016	247,7
	14	574.885	6.466.990	244,8
	15	575.199	6.466.988	241,2
	16	575.199	6.467.014	232,6
	17	575.516	6.467.013	240,8

Fuente	ID	X (m)	Y (m)	Z (m)
	18	575.514	6.467.213	245,9
	19	575.514	6.467.186	251,6
	20	575.200	6.467.215	251,6
	21	575.199	6.467.188	248,6
	22	575.259	6.467.415	246,2
	23	575.327	6.467.388	235,6
	24	575.511	6467.414	246,4
	25	574.701	6.467.391	244,0
	26	575.012	6.467.390	241,1
	27	574.887	6.467.190	241,7
	28	574.572	6.467.191	249,5
	29	574.572	6.467.217	249,0
	30	575.644	6.466.095	247,4
	31	575.644	6.466.122	242,9
	32	575.318	6.466.062	237,4
	33	575.318	6.466.088	249,9
	34	575.755	6.467.011	249,5
	35	575.517	6.466.986	247,5
	36	574.887	6.467.215	245,1

Fuente	ID	X (m)	Y (m)	Z (m)
	37	575.057	6.466.814	238,7
	38	575.371	6.466.813	250,1
	39	575.372	6.466.786	247,9
	40	575.621	6.466.785	241,9
	41	575.640	6.466.516	239,7
	42	575.642	6.466.490	248,5
	43	574.866	6.466.494	246,4
	44	574.507	6.466.496	244,3
	45	574.507	6.466.469	244,0
	46	574.480	6.466.696	250,4
	47	574.480	6.466.670	249,2
	48	574.759	6.466.695	248,8
	49	574.759	6.466.669	247,2
	50	574.481	6.465.942	245,6
	51	574.480	6.465.916	242,5
	52	574.481	6.465.739	239,3
	53	574.481	6.465.713	248,7
	54	574.795	6.465.712	247,4

Fuente	ID	X (m)	Y (m)	Z (m)
Aerogeneradores	55	574.795	6.465.739	246,2
	56	578.389	6.459.433	259,2
	57	573.416	6.471.876	275,1
	58	571.311	6.466.115	250,7
	59	573.980	6.459.786	219,1
	60	573.687	6.472.649	277,8
	61	571.980	6.469.086	267,0
	62	571.830	6.469.836	275,3
	63	578.030	6.466.636	263,8
	64	575.580	6.460.286	227,2
	65	574230	6463386	237,7
	66	573980	6461986	227,8
	67	575353	6459073	219,1
	68	573380	6471136	271,7
	69	573430	6463886	237,8
	70	573680	6460536	222,1
	71	573630	6465186	248,7
	72	573630	6468836	261,6
	73	576625	6459646	230,1

Fuente	ID	X (m)	Y (m)	Z (m)	
	74	573630	6461286	223,6	
	75	572930	6463186	230,3	
	76	572930	6466736	248,5	
	77	576280	6467136	249,1	
	78	571930	6463486	229,3	
	79	573680	6469686	262,6	
	80	573730	6465936	247,2	
	81	571930	6470736	263,2	
	82	577980	6460086	245,1	
	83	571.419	6.465.219	242,3	
	84	573.730	6.470.436	262,7	
	85	571.702	6.464.135	232,1	
	86	576663	6.458.882	223,9	
	87	574.230	6.467.436	249,1	
	88	574.183	6.466.630	251,7	
	Subestación ENERTRAG	89	571.610,	6.468.567	250,6
	Descarga de CO ₂	90	571.773	6.468.782	257,3
	Carga de metanol	91	571.876	6.468.732	259,7

Fuente	ID	X (m)	Y (m)	Z (m)
Unidad de producción de metanol	92	571.934	6.468.646	257,8
Enfriamiento por aire de metanol	93	571.978	6.468.636	258,1
Primera compresión del hidrógeno	94	571.865	6.468.509	253,6
Compresión final del hidrógeno	95	571.923	6.468.498	254,4
Enfriamiento por aire de electrolisis	96	571.905	6.468.451	253,1
Planta de efluentes	97	571.700	6.468.618	255,3
Planta de agua	98	571.638	6.468.640	253,2
Compresores	99	571.629	6.468.696	253,4

5.2 CARACTERIZACIÓN DE FUENTES MÓVILES

Para la caracterización de las fuentes móviles, que serán los camiones que transportarán el dióxido de carbono desde Dank, se dividió el recorrido en el dominio de modelación en 3 tramos, considerando diferentes velocidades de circulación y de pendiente en cada uno. La Figura 5-2 muestra los tramos considerados y la Tabla 5-7 muestra la pendiente y velocidad de circulación estimada.

No se modelarán emisiones de fuentes móviles dentro de Tambores ya que se realizará un By-pass que rodeará la localidad.

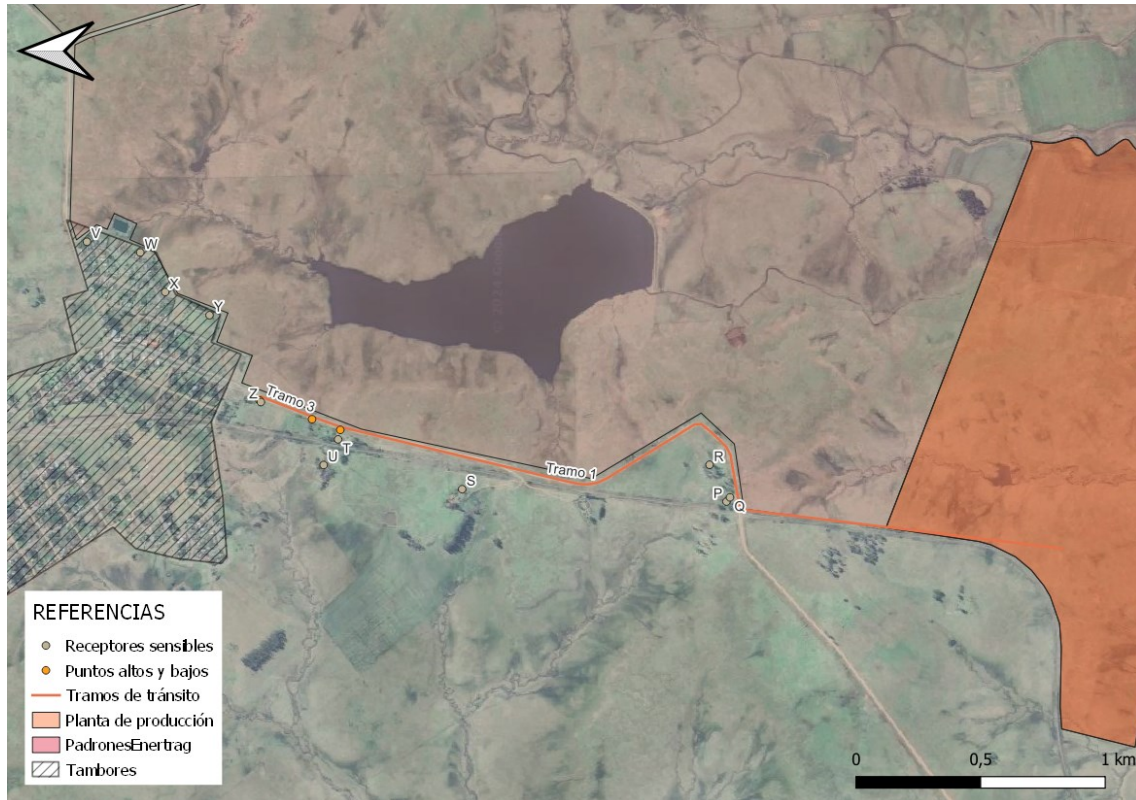


Figura 5-2: Tramos de tránsito considerados en el modelo.

El enfoque adoptado en base a lo presentado en Bocher (2019), realiza ciertas hipótesis para simplificar la metodología original de Sétra (2011). La metodología plantea la descomposición de las fuentes lineales asociadas a los tramos de carretera, en fuentes puntuales equivalentes ubicadas a una distancia que cumpla con las siguientes restricciones, de acuerdo a lo mostrado en la Figura 5-3: $d_i \leq 0,5 \times d_{min,i}$ y $d_i \leq 20$ m, donde $d_{min,i}$ es la distancia ortogonal al receptor más cercano, $R_{nearest,i}$, para la fuente S_i , y d_i es la separación entre esta fuente puntual y la inmediata siguiente. De modo de simplificar la subdivisión de la fuente lineal, se considera la distancia d_i más restrictiva tomando en cuenta todos los receptores, y se posicionan las fuentes puntuales equivalentes de forma equiespaciada en función a ésta.

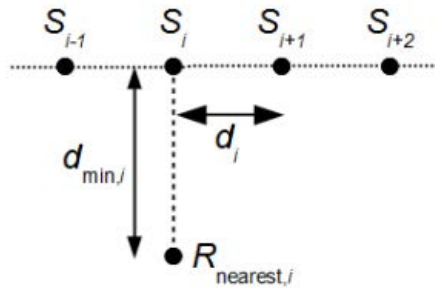


Figura 5-3: Descomposición de fuente lineal en fuentes puntuales equivalentes (tomado de [1]).

El nivel de emisión $L_{W,i}^j$ para la banda de frecuencias j para una fuente S_i dada, se determina en función de la potencia acústica por metro lineal de carretera para esa banda, $L_{W/m}^j$, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$L_{W,i}^j = L_{W/m}^j + 10 \log_{10} d_i$$

Ecuación 5-1

La potencia acústica por metro lineal para una fuente puntual dada se calcula mediante la suma logarítmica de la contribución de cada categoría de vehículos (VC) considerada, que en este caso corresponden a vehículos carreteros (RV), separados a su vez en livianos (LV) y pesados (HT), en función de la siguiente ecuación, donde el carácter \oplus indica la operación de suma energética o logarítmica:

$$L_{W/m}^j = \oplus \sum_{VC} [L_{W/m,VC}^j + 10 \log_{10} Q_{VC} + R_{VC}^j]$$

Ecuación 5-2

Donde $L_{W/m,VC}^j$ corresponde a la potencia de emisión por metro lineal para la tasa de flujo unitario de vehículos, Q_{VC} corresponde a la tasa de flujo horario, y R_{VC}^j a la potencia de emisión para la categoría de vehículos VC para el tercio de banda de octava j . La distribución espectral de la potencia de emisión de los vehículos queda dada por la Tabla 5-4.

Tabla 5-4: Distribución espectral de potencia de emisión, RRV, para una fuente puntual elemental sobre superficie no porosa, para bandas de tercios de octavas de frecuencia central f_c (adaptada de Bocher (2019)).

f_c (Hz)	100	125	160	200	150	315	400	500	630
R_{RV} (dBA)	-27	-26	-24	-21	-19	-16	-14	-11	-11
f_c (Hz)	800	1.000	1.250	1.600	2.000	1.500	3.150	4.000	5.000
R_{RV} (dBA)	-8	-7	-8	-10	-13	-16	-18	-11	-23

La tasa de emisión por metro lineal por unidad de flujo para vehículos carreteros se divide a su vez, para una frecuencia de banda de tercio de octava j , en las contribuciones del ruido de rodadura, $L_{r,W/m,RV}^j$, y la contribución del ruido mecánico $L_{m,W/m,RV}^j$, como se muestra a continuación:

$$L_{W/m,RV}^j = L_{r,W/m,RV}^j \oplus L_{m,W/m,RV}^j$$

Ecuación 5-3

La componente de ruido de rodadura se calcula como se muestra en la Tabla 5-5 para las dos categorías de vehículos, HT, agregando un factor de corrección que depende de la antigüedad del pavimento. En la Tabla 5-6 se muestra el cálculo de la componente de ruido mecánico para tramos de carretera de velocidad constante, considerando que en un sentido con una pendiente positiva y en el otro con pendiente negativa, emitiendo diferentes NPS.

Tabla 5-5: Cálculo de la componente de ruido de rodadura en función de la velocidad v de circulación de los vehículos, y la antigüedad a del pavimento en años (adaptada de Bocher (2019)).

RV	$L_{r,W/m,RV}$ (dBA)	Corrección (dBA)	
		$a \leq 2$ años	$2 < a < 10$ años
HT	$63,4+20,0\log_{10}(v/80)$	-1,2	-0,15(a-10)

Tabla 5-6: Cálculo de la componente de ruido mecánico en función de la velocidad de circulación v, y la pendiente p del tramo de carretera, para tramos de velocidad constante (adaptada de Bocher (2019)).

RV	v (km/h)	$L_{m,W/m,RV}$ (dBA)	Corrección (dBA)		
			$0 < p < 2$ %	Ascendente	Descendente
				$2 < p < 6$ %	$2 < p < 6$ %
HT	20 - 70	$49,6-10,0\log_{10}(v/80)$	0	$2(p-2)$	$p-2$
	70 - 100	$50,4+3,0\log_{10}(v/80)$	0	$2(p-2)$	$p-2$

Tabla 5-7: Pendiente de tramos de tránsito identificados, velocidad de circulación y nivel de presión sonora de las fuentes según la dirección.

Tramo	Pendiente (%)	Velocidad (km/h)	NPS Circulación hacia el sur	NPS Circulación hacia el norte
1	0	60	77,52	77,52
2	4,8%	60	78,44	77,86
3	-2,9%	60	77,61	77,72

5.3 RECEPTORES

5.3.1 Grilla

Se diseñó una grilla de geometría irregular (el dominio de cálculo), considerando una distancia de 5 km de todas las fuentes principales (aerogeneradores, transformadores y fuentes de los principales equipos de la planta de producción) como se aprecia en la Figura 5-4. Sin embargo, la densidad de los puntos no es regular en toda la superficie, sino que se considera una densidad de puntos mayor dentro del predio de la planta de producción y Tambores, y cerca de las fuentes, y a distancias mayores la densidad de puntos será menor. La Tabla 5-8 muestra el espaciamiento de la grilla en función a la distancia de las fuentes.

Tabla 5-8: Ancho de la grilla en función a la distancia a las fuentes.

Distancia a la fuente más cercana (km)	Espaciamiento de la grilla (m)
Dentro del predio de la planta de producción, Tambores y camino entre planta y Tambores	50

Distancia a la fuente más cercana (km)	Espaciamiento de la grilla (m)
1,0	100
2,0	200
3,0	300
4,0	400
5,0	500

Considerando los niveles de presión sonora registrados en el monitoreo de la línea de base, de acuerdo con el documento técnico de *Valores guía para prevenir la contaminación acústica* (Ministerio de Ambiente (MA), 2023), dicha zona se puede asumir como zonas urbanas levemente ruidosas por los niveles alcanzados en horario nocturno incluyendo los registros en Tambores y en las afueras de la localidad como zona urbana silenciosa.

Adicionalmente, considerando los NPS obtenidos en el monitoreo, la presente modelación de indicará la contribución a los NPS resultantes sobre los receptores de la grilla cuando la misma alcance un valor de al menos 30 dBA, ya que en caso de contrario la contribución real en los receptores es despreciable.

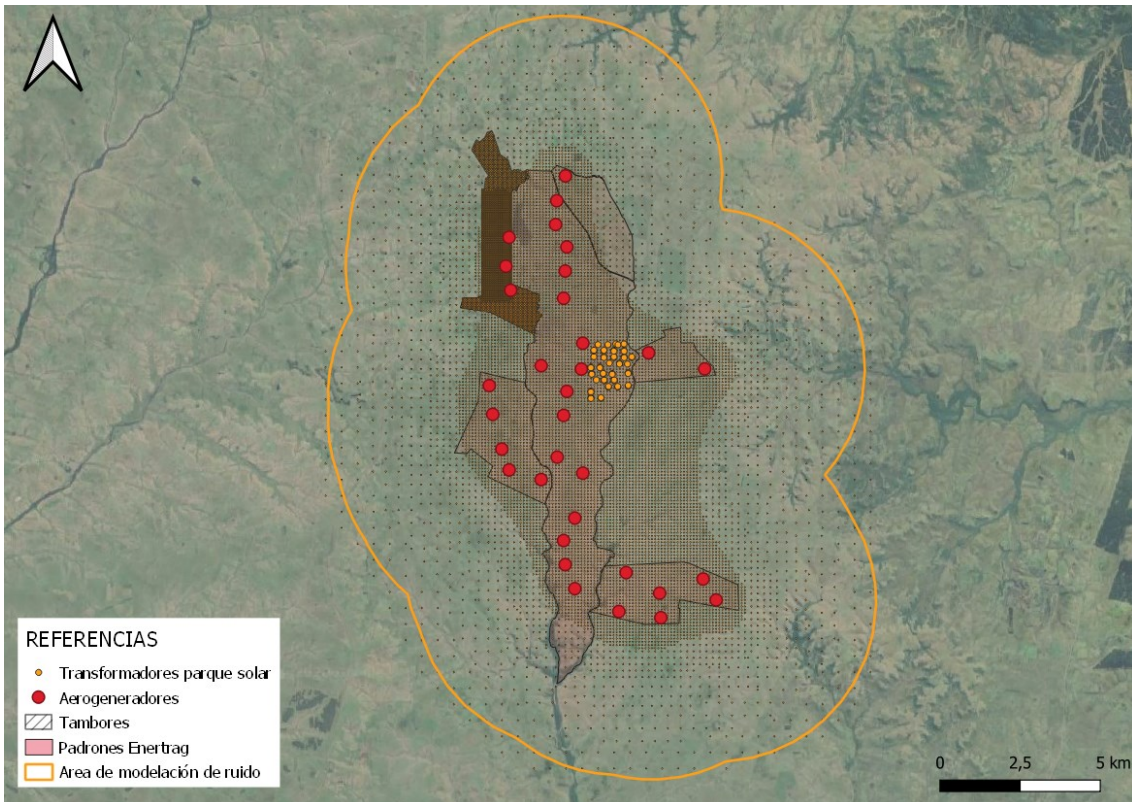


Figura 5-4: Ubicación de la grilla de receptores.

5.3.2 Receptores puntuales

La Figura 5-5 muestra los receptores puntuales donde se evaluará el NPS, y Figura 5-6 muestra en detalle los receptores cercanos a la localidad de Tambores. Se tomaron receptores de diferentes características, en zonas rurales, cerca de las vías de tránsito y dentro y fuera de los predios de ENERTRAG.

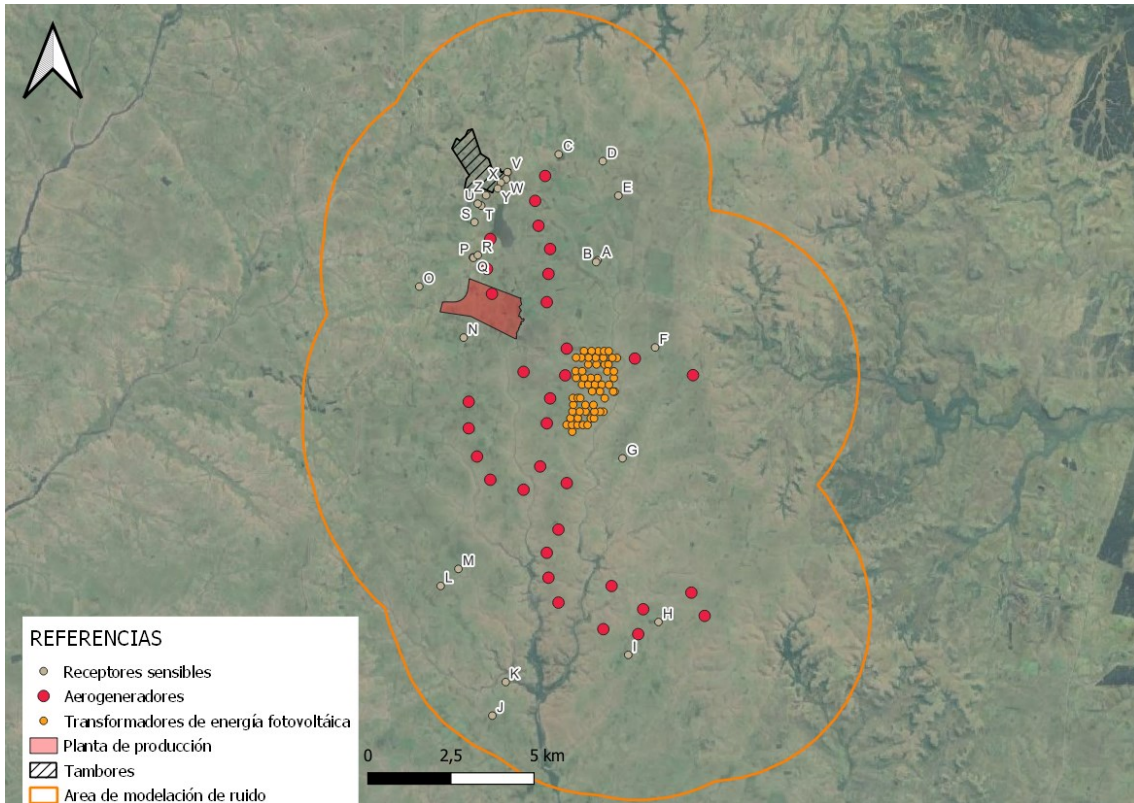


Figura 5-5: Receptores puntuales.



Figura 5-6: Receptores de la localidad de Tambores.

5.4 ESCENARIOS

Con el objetivo de evaluar como varía el nivel de presión sonora por la presencia del proyecto en su totalidad, se asumen 3 grupos de emisiones que conforman el proyecto. Inicialmente se evaluarán las fuentes correspondientes a la generación de energía incorporando las fuentes provenientes de la planta de producción y finalmente se incorpora el tránsito de los camiones provenientes de Dank.

5.4.1 Escenario sin tránsito

Para el escenario sin tránsito, se consideran las emisiones provenientes de los aerogeneradores funcionando a una velocidad de 8m/s, los transformadores ubicados en el parque solar y los principales equipos utilizados en el proceso productivo totalizando 99 fuentes de emisión.

En relación a la planta productiva se asume que cada edificio es una fuente, y el nivel de emisiones se calcula como la suma logarítmica de las fuentes de emisión.

5.4.2 Escenario con tránsito

Para la modelación del escenario con tránsito se toman las fuentes antes mencionadas, y se incorporan las fuentes móviles, asumiendo la circulación en ambos sentidos.

5.5 PROPAGACIÓN DEL SONIDO

La propagación del sonido se calcula utilizando la metodología presentada en el capítulo 4, para la cual se asumen los valores de parámetros presentados en la Tabla 5-9. Dado que para la propagación se considera la potencia de emisión de la fuente en términos del nivel de presión sonora equivalente en dBA, de acuerdo a la metodología presentada, se consideran los cálculos de atenuación asociados a la banda de octava de 500 Hz de frecuencia central.

Tabla 5-9: Parámetros base para el cálculo de la propagación del sonido.

Parámetro	Valor	Unidades
Factor de suelo para las fuentes	1	-
Factor de suelo para los receptores en terreno con cobertura verde	1	-
Factor de suelo para los receptores en zona urbana o sobre espejos de agua	0	-
Coficiente de atenuación atmosférica	2,8	dBA/km

Se calcula un escenario considerando que parte del terreno donde se van a propagar las ondas de presión sonora, tiene un factor de suelo de 0, considerando que espejos de agua en los embalses y zona urbana, el área porosa se considera nula. La Figura 5-7 muestra las fracciones del terreno identificadas, donde se considera ground factor.

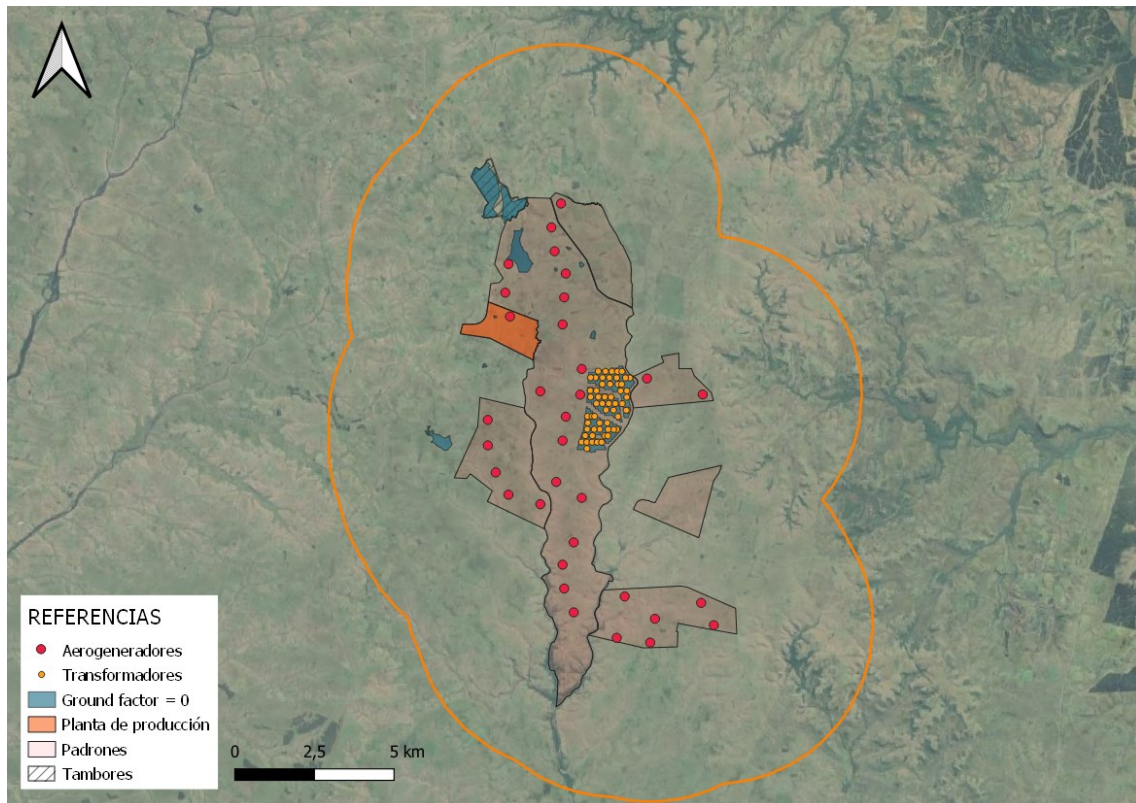


Figura 5-7: Identificación del "ground factor" en el terreno.

6. RESULTADOS

6.1.1 Modelación del escenario sin tránsito

A continuación, se presentan los resultados NPS máximo sobre receptores puntuales y sobre puntos con medición de línea de base según el escenario con tránsito, que corresponde a la generación de energía más la planta de producción. En las Figura 6-1 y Figura 6-2 se indica el mapa de nivel de presión sonora aportada por el escenario 2 resultante en el entorno del proyecto.

Según se indica en la Tabla 6-1 los receptores que perciben un mayor aporte del proyecto (industrial y renovable) son los receptores de la primera línea de Tambores (V/X/W).

Tabla 6-1: Resultados de la modelación sobre receptores críticos y con línea base, escenario sin tránsito.

ID	NPS (dBA) Escenario sin tránsito
NPS máximo (Receptor V/W/X)	38,0
NPS máximo sobre receptor monitoreado (V01 nocturno)	42,0
Incorporando línea base (V01 nocturno)	42,9
Diferencia máxima receptor monitoreado (V01 nocturno)	0,9

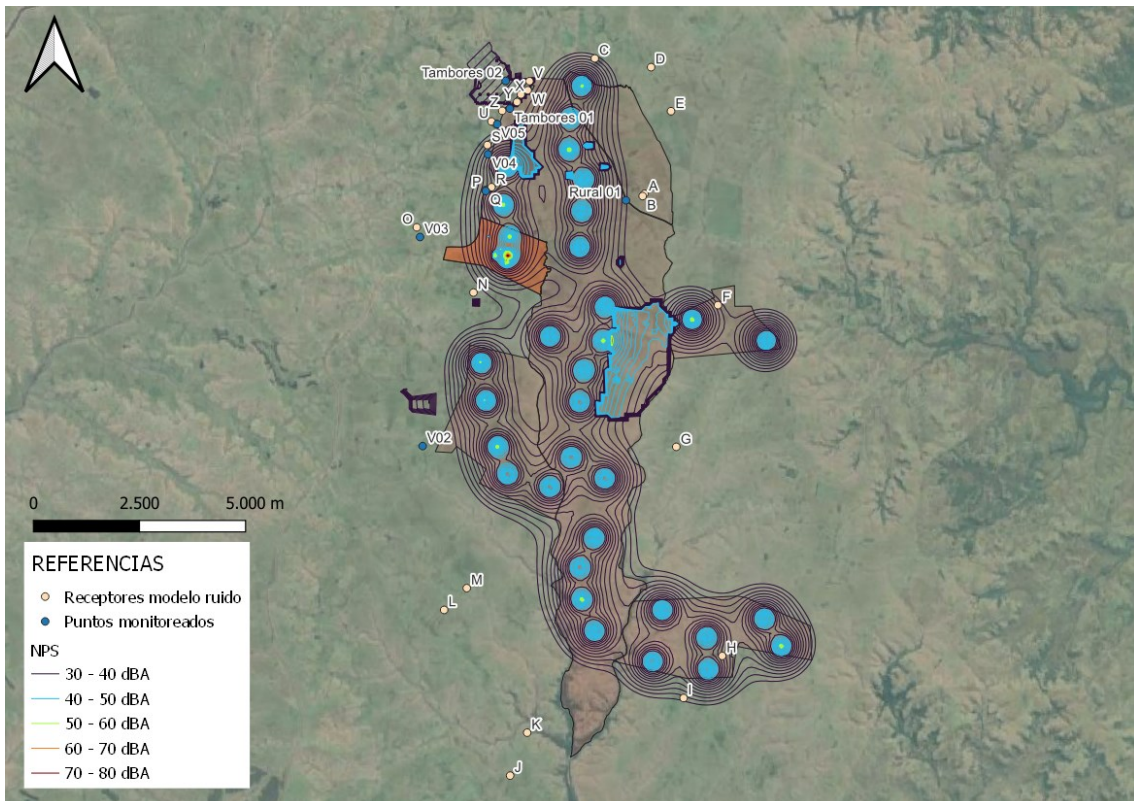


Figura 6-1: Resultados de la modelación de nivel de presión sonora por la operación del proyecto – Escenario sin tránsito (1/2).

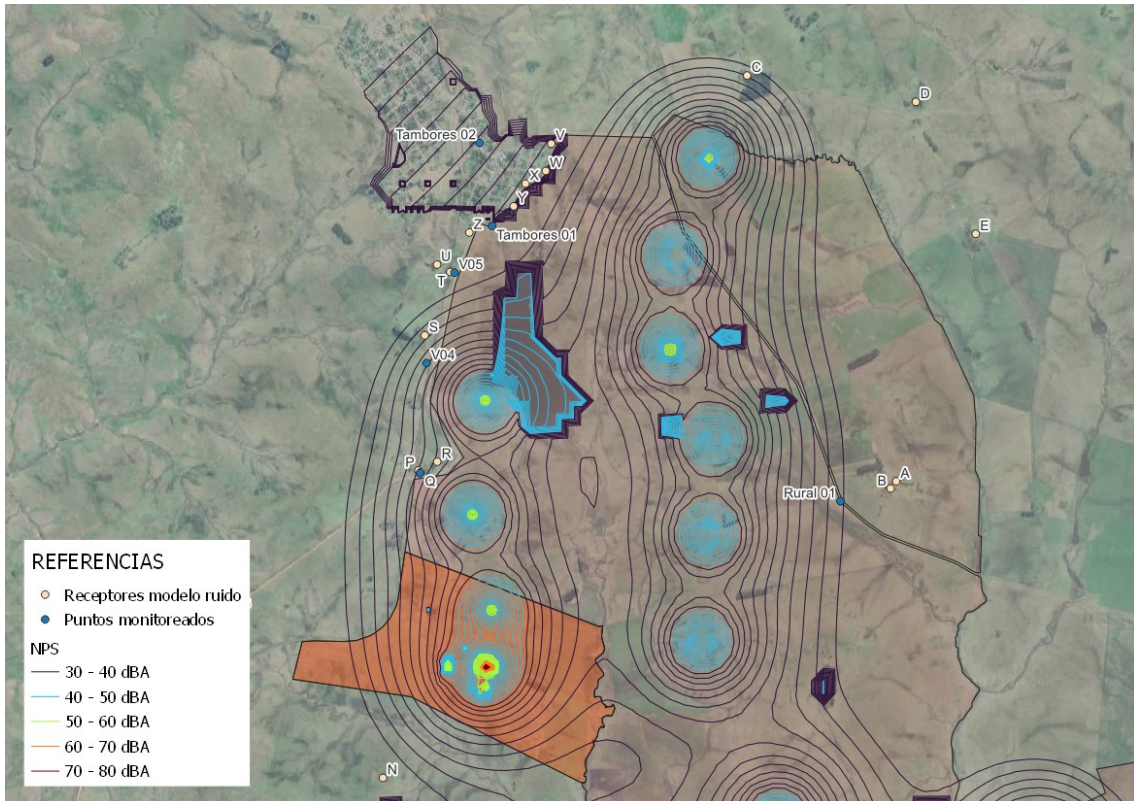


Figura 6-2: Resultados de la modelación de nivel de presión sonora por la operación del proyecto – Escenario sin tránsito (2/2).

6.1.1 Modelación del escenario con tránsito

A continuación, se presentan los resultados NPS máximo sobre receptores puntuales y sobre puntos con medición de línea de base según el escenario con tránsito, que corresponde a la generación de energía, la planta de producción y el tránsito de los camiones provenientes de Dank. En la Figura 6-3 se indica el mapa de nivel de presión sonora aportada por el escenario con tránsito resultante en el entorno del proyecto, y la Figura 6-4 muestra a una menor escala la zona cercana a Tambores.

La Tabla 6-2 muestra los niveles máximos alcanzados en los receptores críticos identificados y los puntos donde se realizó la línea de base.

Tabla 6-2: Resultados de la modelación sobre receptores críticos y con línea base, escenario con tránsito.

ID	NPS (dBA)
NPS máximo (Receptor Z)	41,5
NPS máximo sobre receptor monitoreado (V01 nocturno)	42,0
Incorporando línea base	44,8
Diferencia máxima receptor monitoreado (V01 nocturno)	2,8

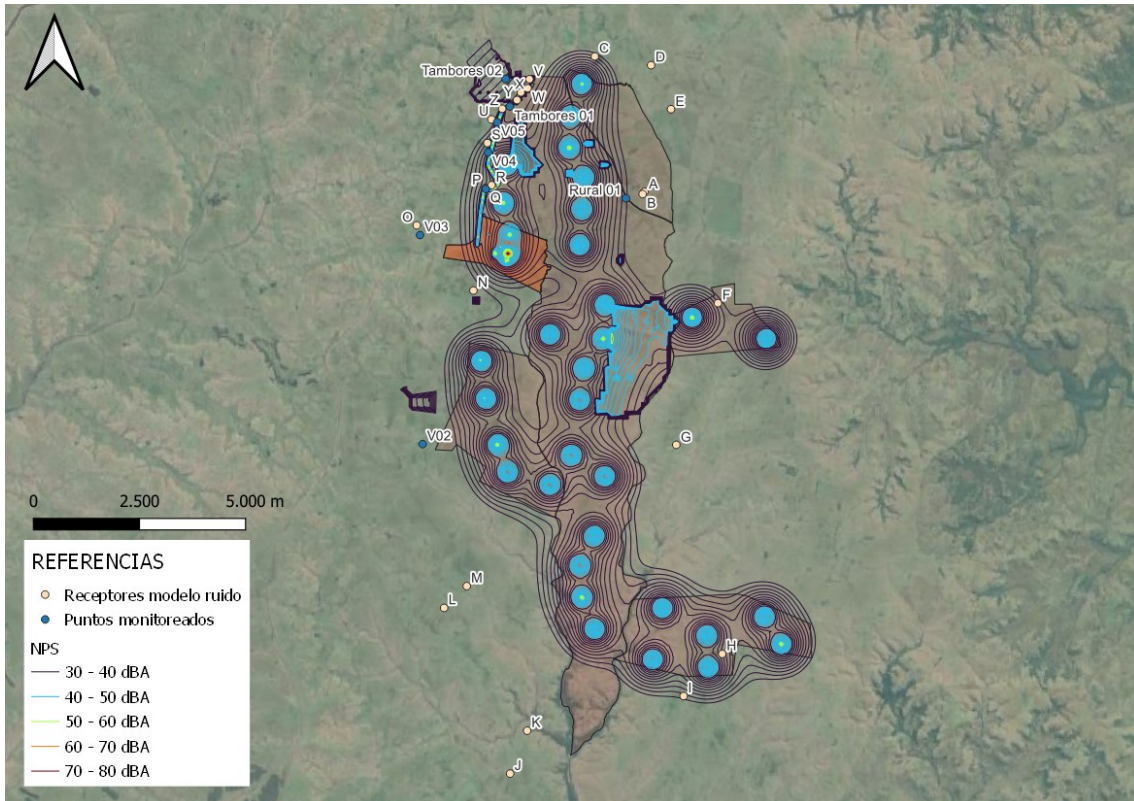


Figura 6-3: Resultados de la modelación de nivel de presión sonora por la operación del proyecto – Escenario con tránsito (1/2).

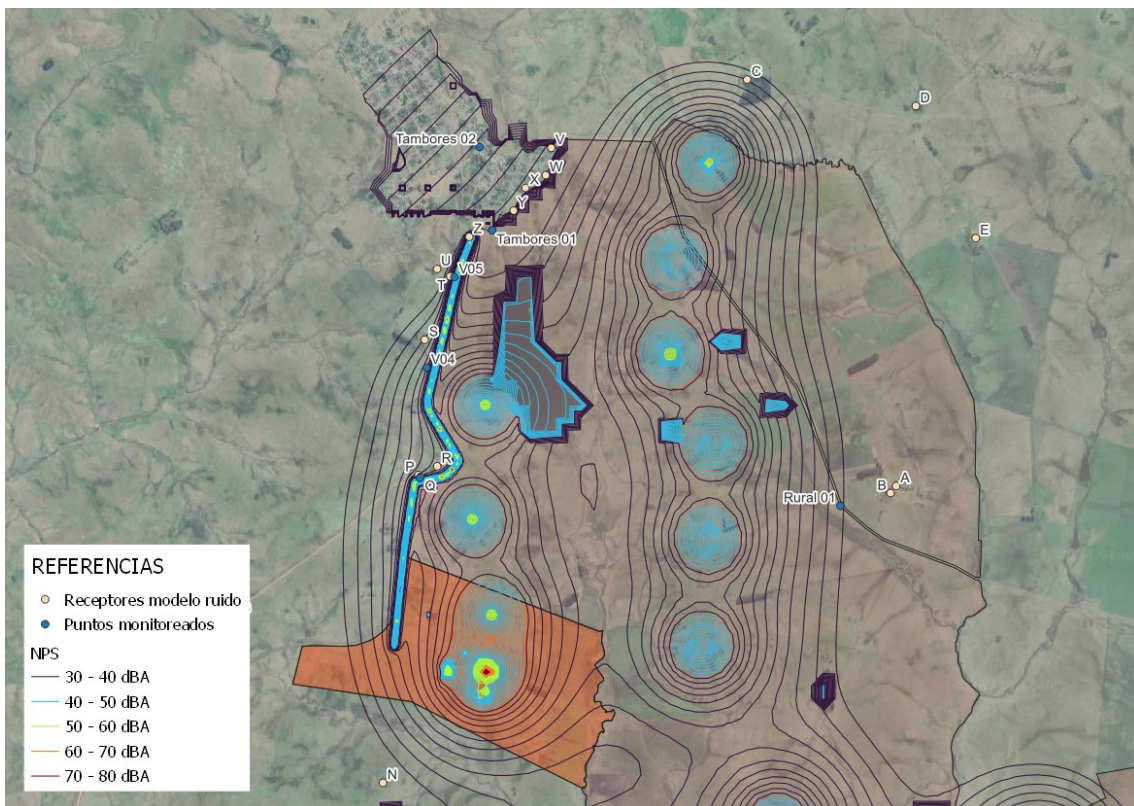


Figura 6-4: Resultados de la modelación de nivel de presión sonora por la operación del proyecto – Escenario con tránsito (2/2).

6.1.1 Resumen de resultados

La Tabla 6-3 se presentan los resultados obtenidos de la modelación de ruido en los escenarios sin tránsito y con tránsito sobre los receptores puntuales, sin considerar la línea de base. Se identifican como receptores con mayor aporte del emprendimiento en el escenario sin tránsito a los receptores V, W y X, y en el escenario con tránsito al receptor Z.

Tabla 6-3: Resultados de la modelación en escenario con y sin tránsito.

ID	NPS (dBA)	
	Escenario sin tránsito	Escenario con tránsito
A	<30	<30
B	<30	<30
C	31,00	31,00
D	<30	<30
E	<30	<30
F	31,50	31,50
G	<30	<30
H	37,00	37,00
I	30,50	30,50
J	<30	<30
K	<30	<30
L	<30	<30
M	<30	<30
N	<30	<30
O	<30	<30
P	35,00	36,50
Q	35,00	38,50
R	36,50	36,50
S	32,00	32,50
T	<30	33,00
U	<30	<30
V	38,00	38,00
W	38,00	38,00
X	38,00	38,00
Y	37,00	38,00
Z	<30	41,50

Por otra parte, en la Tabla 6-4 se presenta la línea de base y cuál sería el NPS en los puntos monitoreados si se consideran las fuentes modeladas. La Figura 6-5 muestra los resultados de la modelación en el escenario con tránsito en el entorno del receptor V01, receptor que presenta mayor apartamiento entre la situación actual y con proyecto.

El receptor V01 resulta ser el de mayor incidencia, sin embargo en ambos escenarios y en horario diurno y nocturno, la diferencia no superan los 3 dBA. Tampoco se identifica que el incremento debido al proyecto genere un incumplimiento de los valores de referencia en el escenario con tránsito para la categoría de zona “Rurales y áreas naturales protegidas”. Ya que para el escenario sin tránsito el sobrepasamiento de los niveles de referencia de esta categoría sin tránsito ya se superan en la línea de base.

Tabla 6-4: Resultados de la modelación considerando la línea base.

	Línea base		Escenario sin tránsito		Escenario con tránsito	
	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
Rural 1	44,5	42,7	44,6	42,9	44,6	42,9
Tambores 1	47,5	42,9	47,5	42,9	47,5	42,9
Tambores 2	62,3	46,0	62,3	46,4	62,3	46,4
V01	45,6	42,0	46,0	42,9	47,0	44,8
V02	45,2	51,6	45,2	51,6	45,2	51,6
V03	38,6	44,9	38,6	44,9	38,6	44,9
V04	41,2	45,2	41,9	45,5	42,1	45,6
V05	50,4	46,5	50,4	46,5	51,0	47,8



Figura 6-5: Resultados de la modelación de nivel de presión sonora en el entorno del receptor V01 – Escenario con tránsito.

Se destaca que en Tambores no se percibirán diferencias significativas en cuanto a los NPS ya que las diferencias entre la línea base y los NPS esperados considerando la modelación son menores a 0,5 dBA.

El receptor V01, en un escenario diurno no supera el límite establecido por GESTA, y el incremento es menor a los 3 dBA por lo que dicha variación no será perceptible por los receptores.

7. CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos, se entiende que el incremento en el NPS a causa de la implantación de las actividades relacionadas con la producción de energía, producción de metanol y el tránsito asociado a el transporte del dióxido de carbono desde Dank, se encuentra dentro de los límites establecidos por GESTA.

Por lo tanto, se entiende que es de magnitud baja ya que no modifica la situación actual.

De este modo, el impacto potencial será admisible sobre el medio receptor sin la necesidad de incorporar medidas de mitigación.

8. REFERENCIAS

International Organization for Standardization (ISO). (1996). *ISO 9613-2: Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation*.

Ministerio de Ambiente (MA). (2023). *Valores guía para prevenir la contaminación acústica*.

Sétra (2011): Road noise prediction 2 - Noise propagation computation method including meteorological effects

Bocher Erwan, Guillaume Gwenaël, Picaut Judicaël, Petit Gwendall y Fortin Nicolas, (2019). NoiseModelling: An Open Source GIS Based Tool to 36 Produce Environmental Noise Maps. ISPRS International Journal of GeoInformation.