



**EMPRESA DE TRANSPORTE DE PASAJEROS
METRO S.A.**

CONSULTA DE PERTINENCIA DE INGRESO AL SEIA

**PROYECTO DE CONEXIÓN LÍNEA 1 DE METRO ESTACIÓN CENTRAL CON FUTURO
TREN ALAMEDA MELIPILLA**

ANEXO 7. INFORME DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

N° DE CONTRATO

3100000319

0	02-01-2026	PARA USO	HR	HR	MG	SB		
C	21-12-2025	PARA REVISIÓN	HR	HR	MG	SB		
B	17-12-2025	PARA REVISIÓN	HR	HR	MG	SB		
A	17-12-2025	REVISIÓN INTERNA	HR	HR	MG	SB		
REV N°	FECHA	EMITIDO PARA	PREP	REV	J. ESP	J.P	METRO S.A APROBADO POR	
							Rev. 0	

CONTENIDOS

ANEXO 7 INFORME DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	7
1. Introducción	7
2. Antecedentes Generales del Proyecto.....	8
2.1 Descripción.....	8
2.2 Localización	9
2.3 Cronograma de actividades y general.....	11
3. Objetivo	13
3.1 Objetivo General	13
3.2 Objetivos Específicos.....	13
4. Metodología.....	13
5. Resultados	15
5.1 Actividades o fuentes emisoras	15
5.2 Cálculo de emisiones fase de construcción	15
5.2.1 Demolición	15
5.2.2 Relleno de Material	17
5.2.3 Excavación	19
5.2.4 Compactación.....	21
5.2.5 Nivelación	22
5.2.6 Carguío y volteo de material	24
5.2.7 Erosión de material en pila	26
5.2.8 Grupo Electrónico	28
5.2.9 Combustión de Maquinaria	29
5.2.10 Resuspensión por tránsito de vehículos en caminos pavimentados.....	34
5.2.11 Resuspensión por tránsito vehículos en caminos no pavimentados	38
5.2.12 Combustión de vehículos	41
5.3 Resumen emisiones fase de construcción	42
5.4 Cálculo de emisiones fase de operación	44
6. Resumen de emisiones incluyendo emisiones equivalentes	44
7. Análisis Normativo del Artículo 64 del D.S. N° 31/2017	45
8. Gases de Efecto invernadero (GEI) y forzantes climáticos	47
8.1 Grupo electrónico	50
8.2 Maquinaria	50
8.3 Transporte	50
9. Conclusiones	53
10. Medidas de Control y/o Acciones Preventivas	54
11. Bibliografía	55
12. Apéndices	56

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Cronograma de actividades.....	11
Tabla 2: Cronograma general del Proyecto.....	12
Tabla 3: Actividades y/o fuentes emisoras.	15
Tabla 4 Factores de emisión por demolición construcciones no residenciales (año 1 y 2).....	16
Tabla 5: Nivel de actividad demolición.....	16
Tabla 6 Valores de parámetros para cálculo de emisiones por demolición	17
Tabla 7:Emisiones estimadas por demolición.....	17
Tabla 8 Factores de emisión por relleno de material.....	18
Tabla 9: Volumen de relleno y nivel de actividad.	18
Tabla 10: Emisiones estimadas por relleno de material.	19
Tabla 11 Factores de emisión por excavación	20
Tabla 12: Volumen de excavación.....	20
Tabla 13: Emisiones estimadas por excavación.	20
Tabla 14 Factores de emisión por compactación	21
Tabla 15: Parámetros compactación	22
Tabla 16: Nivel de actividad por compactación.....	22
Tabla 17: Emisiones estimadas por compactación.....	22
Tabla 18 Factores de emisión por nivelación.....	23
Tabla 19: Parámetros nivelación.	23
Tabla 20: Nivel de actividad por nivelación.....	24
Tabla 21: Emisiones estimadas por nivelación.....	24
Tabla 22 Factores de emisión para carguío y volteo de material	25
Tabla 23 Factores de emisión para carguío y volteo de material	25
Tabla 24: Emisiones estimadas por carguío y volteo de material.....	26
Tabla 25: Total emisiones estimadas por carguío y volteo de material.....	26
Tabla 26: Factores de emisión para erosión de material en pila.	27

Tabla 27: Nivel de actividad para erosión de material en pila.....	27
Tabla 28: Emisiones estimadas por erosión de material en pila.	27
Tabla 29 Factores de emisión grupo electrógeno.	28
Tabla 30: Parámetros utilizados para grupo electrógeno.	28
Tabla 31: Emisiones estimadas por grupo electrógeno.	29
Tabla 32: Factor de deterioro relativo a la vida útil de la maquinaria.....	30
Tabla 33: Parámetros y factor de emisión por combustión de maquinaria fuera de ruta.	31
Tabla 34: Nivel de actividad por combustión de maquinaria fuera de ruta.....	32
Tabla 35: Emisiones estimadas por maquinaria fuera de ruta.....	33
Tabla 36: Emisiones totales fase de construcción, combustión de maquinaria.....	33
Tabla 37 Factores de emisión por tránsito vehículos en camino pavimentado.	35
Tabla 38: Parámetros considerados en Tránsito de Vehículos por Caminos Pavimentados.....	36
Tabla 39: Niveles de Actividad Estimados en Tránsito de Vehículos por Caminos Pavimentados.	36
Tabla 40: Emisiones estimadas por tránsito de vehículos en camino pavimentado.....	37
Tabla 41: Emisiones totales por tránsito de vehículos en camino pavimentado.....	37
Tabla 42 Detalle caminos no pavimentados – Fase de construcción	39
Tabla 43: Peso Promedio Camino no pavimentado.....	39
Tabla 44 Factor de emisión camino no pavimentado.....	39
Tabla 45: Nivel de actividad camino no pavimentado.	40
Tabla 46: Emisiones estimadas por tránsito de vehículos en camino no pavimentado.....	40
Tabla 47: Emisiones totales por tránsito de vehículos en camino no pavimentado.....	40
Tabla 48: Factores de emisión por contaminante y tipo de vehículo.	41
Tabla 49: Nivel de actividad combustión vehicular.....	42
Tabla 50: Emisiones estimadas por combustión de vehículos.....	42
Tabla 51: Emisiones atmosféricas año 1 (t/año).	43
Tabla 52: Emisiones atmosféricas año 2 (t/año).	43
Tabla 53: Resumen emisiones fase de construcción.	44

Tabla 54 Conversión para MP _{2,5} y MP ₁₀ equivalente.....	44
Tabla 55 Resumen emisiones equivalente totales – Fase de construcción.....	45
Tabla 56: Emisión máxima proyectos, D.S. N° 31/2017.....	45
Tabla 57 Emisión equivalente de contaminantes en análisis	45
Tabla 58: Actividades y/o fuentes emisoras.	48
Tabla 59: Actividades y/o fuentes emisoras.	48
Tabla 60: Emisiones de GEI por el uso de grupo electrógeno.....	50
Tabla 61: Emisiones de GEI por el uso de maquinaria.	50
Tabla 62: Emisiones de GEI por transporte.....	50
Tabla 63: Resumen emisiones de GEI y forzantes climáticos.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Emplazamiento de las obras del Proyecto	10
---	----

ANEXO 7 INFORME DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

1. Introducción

El presente informe corresponde a la Estimación de Emisiones atmosféricas del “Proyecto de Conexión: Línea 1, Metro Estación Central y Futura Estación Tren Alameda – Melipilla” (en adelante, Proyecto).

Las principales obras que contempla realizar el proyecto en el futuro corresponden a:

- Un pique de construcción de 21 m de profundidad, desde donde se ejecutará un túnel peatonal de 234 m de largo con un ancho útil de 6,8 m, permitiendo la conexión entre Metro “Estación Central”, L1 y el futuro pique de la estación de TAM.
- Ampliación de capacidad de Mesanina existente mediante una modificación del acceso Suroriente del Metro Estación Central, L1.

En este sentido, la fase de construcción contempla actividades que generarán emisiones atmosféricas tales como demolición, excavaciones, compactación, volteo y carguío de material, entre otras, así como actividades de traslado que consideran la circulación de vehículos por caminos pavimentados y no pavimentados. Además de considerar el uso de maquinaria y un grupo electrógeno de emergencia.

Dicho esto, el presente informe sistematiza la información necesaria para desarrollar los cálculos asociados a la estimación de emisiones atmosféricas que se generarán durante la fase de construcción, del Proyecto. Es decir, se detallan los factores de emisión utilizados y las emisiones sobre la base y fórmulas propuestas en la “Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana”, SEREMI de Medio Ambiente de la Región Metropolitana, octubre 2020 (en adelante “Guía RM 2020”), y factores de emisión incluidos en el documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors.

Una vez estimada las emisiones que genera el Proyecto, a modo de referencia se comparan con lo establecido en el artículo 64 del Plan de Prevención de Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana (D.S. N° 31/2017 del Ministerio del Medio Ambiente) mediante el cálculo de las emisiones equivalentes.

Por otro lado, de acuerdo a las recomendaciones de la Guía Metodológica de Consideración del Cambio Climático en el SEIA del Servicio de Evaluación Ambiental, se cuantifican las emisiones directas de Gases de Efecto Invernadero y de Contaminantes Climáticos de Vida Corta.

Los métodos de cálculo corresponden a aquellos detallados en las Directrices del IPCC, 2006 y los factores de emisiones de GEI provienen del IPCC Vol. 2 y DEFRA (Department for Environment Food & Rural Affairs), fuente reconocida internacionalmente para la estimación de emisiones de GEI y que además se basa en los factores de emisión del IPCC. Cabe mencionar que ambas fuentes son recomendadas por Huella Chile. Si bien se prioriza el uso de factores de emisión del IPCC, en los casos en que las unidades de los datos de actividad no son adecuadas para su uso, como por ejemplo km de distancia recorrida, se utiliza la fuente DEFRA. Los factores de emisiones de CCVC provienen de la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales, RETC, y del Informe del Inventario Nacional de Chile 2022: Inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2020, ambas fuentes del Ministerio del Medio Ambiente.

Cabe indicar que durante la fase de operación el Proyecto solo contempla el flujo de pasajeros que transita por el túnel, por cuanto no generará emisiones atmosféricas.

2. Antecedentes Generales del Proyecto

2.1 Descripción

La justificación del Proyecto radica en que, se requiere mejorar la infraestructura actual de la Estación Central de Metro, para poder recibir los flujos de pasajeros que aportaran los servicios ferroviarios del Proyecto Tren Alameda – Melipilla que llegará a la Estación Central, y el incremento de flujo de pasajeros contemplado para los otros servicios de EFE (Chillan, San Bernardo, entre otros), y que conectan con la Estación Central de Metro (Línea 1).

En este sentido, EFE en el marco del “Convenio Mandato Metro” vigente entre ambas empresas, encomienda a Metro elaborar los estudios de prefactibilidad y factibilidad, a fin de diseñar la infraestructura necesaria para la correcta operación y combinación entre Estación Central de EFE y la Estación Central de METRO (Línea 1), así como también lo relativo a la tramitación de las autorizaciones ambientales necesarias de implementar en Estación Central de Metro (Línea

1) y su entorno, debido a la ejecución de las nuevas obras de accesos, producto de los aumentos de flujo derivados de los proyectos de EFE.

Dicho lo anterior, el presente Proyecto, de titularidad de Metro, tiene como propósito diseñar la infraestructura necesaria para la correcta operación y combinación entre Estación Central de EFE y la Estación Central de Metro (Línea 1), donde esta última no cuenta con RCA, dado que es previo a la puesta en marcha del SEIA (03 de abril del año 1997).

Conforme lo anterior, las principales obras que contempla realizar el proyecto en el futuro corresponden a:

- Un pique de construcción de 21 m de profundidad, desde donde se ejecutará un túnel peatonal de 234 m de largo con un ancho útil de 6,8 m, permitiendo la conexión entre Metro "Estación Central", L1 y el futuro pique de la estación de TAM.
- Ampliación de capacidad de Mesanina existente mediante una modificación del acceso Suroriente del Metro Estación Central, L1.

2.2 Localización

Las obras del Proyecto en consulta serán emplazadas en el sector de Plaza Argentina (obras superficiales) y bajo el Mall Arauco Estación, ambos de la comuna de Estación Central, Provincia de Santiago, Región Metropolitana. En la Figura 1 se presenta el emplazamiento del Proyecto.

Figura 1: Emplazamiento de las obras del Proyecto



Fuente: Elaboración Propia, 2025.

Tabla 2: Cronograma general del Proyecto.

Actividad	Meses	Año 1												Año 2											
		meses																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Habilitación IIFF	1	x																							
Pique de construcción	12		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x											
Galerías y túneles de conexión L1de conexión sur	9				x	x	x	x	x	x	x	x	x												
Túnel Peatonal desde Pique hasta Estación Alameda EFE	7						x	x	x	x	x	x	x												
Obras Estación	10													x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Obras civiles	8											x	x	x	x	x	x	x							
Reposición de pavimentos	2																					x	x		
Puesta en Marcha	2																					x	x		

Fuente: Elaboración Propia, 2025.

3. Objetivo

3.1 Objetivo General

- Estimar las emisiones atmosféricas generadas durante la fase de construcción del Proyecto.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar cada una de las actividades generadoras de emisiones atmosféricas.
- Determinar los factores de emisión para cada actividad generadora de emisiones atmosféricas.
- Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y forzantes climáticos

4. Metodología

Para el cálculo de estimación de emisiones se realizó una revisión de los antecedentes del Proyecto, su descripción y las principales fuentes de emisión.

La fase de construcción contempla actividades de movimiento de tierra, tales como demolición, relleno, excavaciones, compactación, nivelación, volteo y carguío de material, erosión eólica, así como actividades de traslado que consideran la circulación de vehículos por caminos pavimentados y no pavimentados. Además de considerar el uso de maquinaria y un grupo electrógeno de emergencia.

Por otro lado, es importante indicar que, en términos de emisiones atmosféricas, la fase de operación del proyecto no contempla la generación de emisiones, ya que esta consiste en el tránsito peatonal a través del túnel.

La metodología utilizada para la estimación de emisiones atmosféricas corresponde a la expuesta en los siguientes documentos:

- Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP 42, de la US Environmental Protection Agency, EPA.
- Guía para la estimación de emisiones atmosféricas en la Región Metropolitana, SEREMI Medio Ambiente RM, 2020.

Para el caso de los GEI y forzantes climáticos se considera:

- Las recomendaciones de la Guía Metodológica de Consideración del Cambio Climático en el SEIA del Servicio de Evaluación Ambiental, los métodos de cálculo y los factores de emisiones corresponden a aquellos detallados en las Directrices del IPCC, 2006. Para la estimación de emisiones por actividades de transporte, se utilizarán factores de emisión DEFRA, fuente recomendada por Huella Chile al igual que IPCC.

En este sentido, la ecuación general (Ecuación 1) que se emplea para estimar las emisiones atmosféricas del Proyecto es la siguiente:

$$E = Fe \times Na \times \left(1 - \frac{Ea}{100}\right)$$

Ecuación 1: Ecuación general estimación de emisiones atmosféricas.

Donde:

E: Emisión (ton/año).

Fe: Factor de emisión.

Na: Nivel de actividad.

Ea: Eficiencia de abatimiento de las medidas de mitigación contempladas en el Proyecto, en caso que existan (%).

5. Resultados

5.1 Actividades o fuentes emisoras

En la siguiente tabla se detallan las actividades y/o fuentes emisoras del Proyecto que han sido identificadas luego de revisada la descripción del Proyecto (Capítulo 1 del EIA).

Tabla 3: Actividades y/o fuentes emisoras.

Actividad	Contaminante
Demolición	MPS, MP ₁₀ , MP _{2,5}
Relleno	MPS, MP ₁₀ , MP _{2,5}
Excavación	MPS, MP ₁₀ , MP _{2,5}
Compactación	MPS, MP ₁₀ , MP _{2,5}
Nivelación	MPS, MP ₁₀ , MP _{2,5}
Carguío y volteo de material	MPS, MP ₁₀ , MP _{2,5}
Erosión de material en pila	MPS, MP ₁₀ , MP _{2,5}
Combustión de grupo electrógeno	MPS, MP ₁₀ , MP _{2,5} , CO, NO _x , SO _x , COV
Combustión de maquinaria fuera de ruta	MPS, MP ₁₀ , MP _{2,5} , CO, NO _x , SO _x , NH ₃ , COV
Resuspensión por tránsito de vehículos por caminos pavimentados	MPS, MP ₁₀ , MP _{2,5}
Resuspensión por tránsito de vehículos por caminos no pavimentados	MPS, MP ₁₀ , MP _{2,5}
Combustión de vehículos	MPS, MP ₁₀ , MP _{2,5} , CO, NO _x , SO _x , NH ₃ , COV

Fuente: Elaboración Propia, 2025.

5.2 Cálculo de emisiones fase de construcción

En los siguientes acápite se presentan los resultados de las actividades generadoras de emisiones.

5.2.1 Demolición

5.2.1.1 Factor de emisión

La Tabla 4 presenta los factores de emisión para la actividad de demolición de construcciones no residenciales, donde el año 1 y 2 usan el mismo factor.

Tabla 4 Factores de emisión por demolición construcciones no residenciales (año 1 y 2).

Contaminante	Factor de emisión (kg/m ² /año)
MPS ¹	3,3
MP ₁₀	1
MP _{2,5}	0,1

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.1.2 Nivel de actividad

El nivel de actividad se define como los metros cuadrados construidos que serán demolidos por año, producto de la ejecución del proyecto.

Tabla 5: Nivel de actividad demolición.

Demolición	Año 1	año 2
Área a demoler en superficie (m ²)	2.013	0
Área a demoler piques, galerías, túnel (m ²)	1528,08	138,92
Total a demoler (m ²)	3541,08	138,92

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.1.3 Emisiones

De acuerdo con la Guía RM 2020, la fórmula para determinar las emisiones por demolición corresponde a la siguiente:

$$E_i = FE_i \times A \times d \times (1 - CE) \times \left(\frac{24}{PE}\right) \times \left(\frac{s}{9\%}\right)$$

Donde:

E_i: Emisiones del contaminante i (kg/año).

FE_i: Factor de emisión del contaminante i (kg/m²/año).

A: Área a demoler (m²).

d: Duración de la demolición, en años.

CE: Eficiencia de abatimiento.

PE: Índice de evapotranspiración de Thornthwaite.

s: Contenido de finos en el suelo.

¹ (EEA, 2023), 2.A.5.b Construction and Demolition.

Conforme lo anterior, a continuación, se presentan los parámetros utilizados para la estimación de emisiones.

Tabla 6 Valores de parámetros para cálculo de emisiones por demolición

Parámetro	Valor año 1	Valor año 2
CE	0,5 (no residencial)	0,5 (no residencial)
PE	16 (valor por defecto)	16 (valor por defecto)
S	12% (valor por defecto)	12% (valor por defecto)
Días/año	7	1

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

Por lo tanto, las emisiones generadas por el Proyecto se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7: Emisiones estimadas por demolición.

Emisión [ton/año]	MPS	MP10	MP2.5
Año 1	0,2241	0,0679	0,0068
Año 2	0,0013	0,0004	0,0000
Total (ton/fase)	0,2254	0,0683	0,0068

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

En el Apéndice 2 se adjunta planilla de cálculo con el detalle de los parámetros utilizados.

5.2.2 Relleno de Material

5.2.2.1 Factor de emisión

A continuación se presentan las fórmulas para estimar el factor de emisión por la actividad de relleno de material, la cual corresponde a la misma de excavación:

$$\text{FE MP10} = \frac{0,75 \times 0,45 \times s^{1,5}}{M^{1,4}}$$
$$\text{FE MP2,5} = \frac{0,105 \times 2,6 \times s^{1,2}}{M^{1,3}}$$

Mientras que el factor de emisión para MPS, de acuerdo al Capítulo 11 del AP 42 (EPA, 1998), se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{FE MPS} = \frac{1 \times 2,6 \times s^{1,2}}{M^{1,3}}$$

Donde:

s: Porcentaje de finos del suelo (%).

M: Porcentaje de humedad del material (%).

En el caso del parámetro "s" y "M" se considera el valor por defecto de 8,5% y 6,5% respectivamente, según indicado en la Guía RM 2020.

En la siguiente tabla se presentan los factores de emisión resultantes para MPS, MP₁₀ y MP_{2,5}.

Tabla 8 Factores de emisión por relleno de material

Contaminante	Factor de emisión (kg/h)
MPS ²	2,9750
MP ₁₀	0,6086
MP _{2,5}	0,3124

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.2.2 Nivel de actividad

El nivel de actividad se determina dividiendo el volumen a rellenar por el rendimiento de la maquinaria utilizada en la actividad. Se utiliza un rendimiento igual a 54,27 [m³/h] siguiendo las mismas directrices de la Guía RM.

En la Tabla 9 se presenta el detalle del volumen a rellenar y el nivel de actividad.

Tabla 9: Volumen de relleno y nivel de actividad.

Año	Volumen a rellenar con esponjamiento [m ³]	Rendimiento excavadora [m ³ /h]	Nivel de actividad [h/año]
1	1.100	54,27	20,3
2	0	-	0

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

.2.2.3 Emisiones

Conforme los antecedentes antes expuestos y lo señalado en la Ecuación 1 a continuación se presentan las emisiones del Proyecto por la actividad de relleno de material. El año 2 no se generarán emisiones por esta actividad.

² (EPA, 1998), Sección 11.9.

Tabla 10: Emisiones estimadas por relleno de material.

Emisión [ton/año]	MPS	MP10	MP2.5
Año 1	0,060309	0,012337	0,006332
Total (ton/fase)	0,060309	0,012337	0,006332

Fuente: Elaboración Propia.

En el Apéndice 2 se adjunta planilla de cálculo con el detalle de los parámetros utilizados.

5.2.3 Excavación

5.2.3.1 Factor de emisión

Según lo señalado en la Guía RM 2020, los factores de emisión para MP₁₀ y MP_{2,5} se calculan con las siguientes fórmulas:

$$\text{FE MP10} = \frac{0,75 \times 0,45 \times s^{1,5}}{M^{1,4}}$$
$$\text{FE MP2,5} = \frac{0,105 \times 2,6 \times s^{1,2}}{M^{1,3}}$$

Mientras que el factor de emisión para MPS, de acuerdo al Capítulo 11 del AP 42 (EPA, 1998), se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{FE MPS} = \frac{1 \times 2,6 \times s^{1,2}}{M^{1,3}}$$

Donde:

s: Porcentaje de finos del suelo (%).

M: Porcentaje de humedad del material (%).

En el caso del parámetro "s" y "M" se considera el valor por defecto de 8,5% y 6,5% respectivamente, según indicado en la Guía RM 2020.

En la siguiente tabla se presentan los factores de emisión resultantes para MPS, MP₁₀ y MP_{2,5}.

Tabla 11 Factores de emisión por excavación

Contaminante	Factor de emisión (kg/h)
MPS ³	2,9750
MP ₁₀	0,6086
MP _{2,5}	0,3124

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.3.2 Nivel de actividad

El nivel de actividad se determina dividiendo el volumen a excavar por el rendimiento de la maquinaria utilizada en la excavación. Se utiliza un rendimiento igual a 54,27 [m³/h] siguiendo las mismas directrices de la Guía RM.

En la Tabla 12 se presenta el detalle del volumen a excavar y el nivel de actividad.

Tabla 12: Volumen de excavación.

Año	Volumen total excavado esponjado ⁴ [m ³]	Rendimiento excavadora [m ³ /h]	Nivel de actividad [h/año]
1	37227,9	54,27	686,0
2	3384,4	54,27	62,4
Total fase	40.612	54,27	748,3

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.3.3 Emisiones

Conforme los antecedentes antes expuestos y lo señalado en la Ecuación 1, a continuación se presentan las emisiones del Proyecto por la actividad de excavación.

Tabla 13: Emisiones estimadas por excavación.

Emisión [ton/año]	MPS	MP10	MP2.5
Año 1	2,040783	0,417476	0,214282
Año 2	0,185526	0,037952	0,019480
Total (ton/fase)	2,226309	0,455428	0,233762

Fuente: Elaboración Propia.

En el Apéndice 2 se adjunta planilla de cálculo con el detalle de los parámetros utilizados.

³ (EPA, 1998), Sección 11.9.

⁴ Considera un factor de esponjamiento del 20% conforme a la Guía de la RM.

5.2.4 Compactación

5.2.4.1 Factor de emisión

Según lo señalado en la Guía RM 2020, los factores de emisión para MP₁₀ y MP_{2,5} se calculan con las siguientes fórmulas:

$$FE_{MP10} = \frac{0,75 \times 0,45 \times s^{1,5}}{M^{1,4}}$$
$$FE_{MP2,5} = \frac{0,105 \times 2,6 \times s^{1,2}}{M^{1,3}}$$

Mientras que el factor de emisión para MPS, de acuerdo al Capítulo 11 del AP 42 (EPA, 1998), se calcula con la siguiente fórmula:

$$FE_{MPS} = \frac{1 \times 2,6 \times s^{1,2}}{M^{1,3}}$$

Donde:

s: Porcentaje de finos del suelo (%).

M: Porcentaje de humedad del material (%).

En el caso del parámetro "s" y "M" se considera el valor por defecto de 8,5% y 6,5% respectivamente, según indicado en la Guía RM 2020.

En la siguiente tabla se presentan los factores de emisión resultantes para MPS, MP₁₀ y MP_{2,5}.

Tabla 14 Factores de emisión por compactación

Contaminante	Factor de emisión (kg/h)
MPS	2,9750
MP ₁₀	0,6086
MP _{2,5}	0,3124

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.4.2 Nivel de actividad

El nivel de actividad corresponde a las horas de compactación, las que se obtienen de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$Hrs\ compactación = \frac{Área\ (m^2)}{Ancho\ (m) \times Vel\ \left(\frac{km}{h}\right) \times 1.000\ \left(\frac{m}{km}\right)} \times N^{\circ}\ pasadas$$

En la Tabla 15 se presentan los parámetros utilizados y en la Tabla 16 se muestra el nivel de actividad.

Tabla 15: Parámetros compactación

Año	Ancho compactadora [m]	Superficie (m²)	velocidad compactadora [km/h]	N° pasadas
1	0,55	256	3,7	3
2	0,55	2.013	3,7	3

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Tabla 16: Nivel de actividad por compactación.

Año	Nivel de actividad [h/año]
1	0,38
2	2,97

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.4.3 Emisiones

Conforme los antecedentes antes expuestos y lo señalado en la Ecuación 1 a continuación se presentan las emisiones del Proyecto por la actividad de compactación.

Tabla 17: Emisiones estimadas por compactación.

Emisión [ton/año]	MPS	MP10	MP2.5
Año 1	0,001123	0,000230	0,000118
Año 2	0,008829	0,001806	0,000927
Total (ton/fase)	0,009951	0,002036	0,001045

Fuente: Elaboración Propia.

En el Apéndice 3 se adjunta planilla de cálculo con el detalle de los parámetros utilizados.

5.2.5 Nivelación

5.2.5.1 Factor de emisión

Según lo señalado en la Guía RM 2020, los factores de emisión para MP₁₀ y MP_{2,5} se calculan con las siguientes fórmulas:

$$FE_{MP10} = 0,6 \times 0,0056 \times (s)^2$$

$$FE_{MP2,5} = 0,031 \times 0,0034 \times (s)^{2,5}$$

Mientras que el factor de emisión para MPS, de acuerdo al Capítulo 11 del AP 42 (EPA, 1998), se calcula con la siguiente fórmula:

$$FE_{MPS} = 1 \times 0,0034 \times (s)^{2,5}$$

Donde:

S: Velocidad media de niveladora [km/h]. Valor por defecto Guía RM 2020: 11,4 [km/h].

En la siguiente tabla se presentan los factores de emisión resultantes para MPS, MP₁₀ y MP_{2,5}.

Tabla 18 Factores de emisión por nivelación.

Contaminante	Factor de emisión (kg/km)
MPS	1,4919
MP ₁₀	0,4367
MP _{2,5}	0,0137

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.5.2 Nivel de actividad

El nivel de actividad corresponde a los kilómetros recorridos por la niveladora, determinados a partir del área a nivelar, el ancho de la maquinaria y el número de pasadas, según lo establecido en la Guía RM 2020.

El nivel de actividad corresponde a los kilómetros de nivelación, las que se obtienen de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$km \text{ nivelación} = \frac{\text{Área (m}^2\text{)}}{\text{Ancho (m)} \times 1.000 \left(\frac{m}{km}\right)} \times N^{\circ} \text{ pasadas}$$

En la Tabla 19 se presentan los parámetros utilizados y en la Tabla 20 se muestra el nivel de actividad.

Tabla 19: Parámetros nivelación.

Año	Ancho maquinaria [m]	Superficie (m ²)	N° pasadas
1	2,55	256	3
2	2,55	2.013	3

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Tabla 20: Nivel de actividad por nivelación.

Año	Nivel de actividad [km/año]
1	0,30
2	2,37

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.5.3 Emisiones

Conforme los antecedentes antes expuestos y lo señalado en la Ecuación 1 a continuación se presentan las emisiones del Proyecto por la actividad de nivelación.

Tabla 21: Emisiones estimadas por nivelación.

Emisión [ton/año]	MPS	MP10	MP2.5
Año 1	0,000449	0,000132	0,000004
Año 2	0,003533	0,001034	0,000032
Total (ton/fase)	0,003983	0,001166	0,000037

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.6 Carguío y volteo de material

5.2.6.1 Factor de emisión

Los factores de emisión para carguío y volteo de material para MPS, MP₁₀ y MP_{2,5} se calculan de acuerdo con la siguiente fórmula acorde con lo establecido en la Guía RM 2020:

$$FE\ MP = K \times 0,0016 \times \frac{(U/2,2)^{1,3}}{(M/2)^{1,4}}$$

Donde:

k: Factor de escala, 0,74 para MPS⁵ 0,35 para MP₁₀ y 0,053 para MP_{2,5}.

U: Velocidad del viento promedio (m/s).

M: Porcentaje de humedad del material (%).

En el caso del parámetro U se considera el valor de 5 m/s, mientras que para M se considera el valor de 6,5%⁶.

⁵ (EPA, 2006), Sección 13.2.4.

⁶ Valores obtenidos de la Guía RM.

En la siguiente tabla se presentan los factores de emisión resultantes para MPS, MP₁₀ y MP_{2,5}.

Tabla 22 Factores de emisión para carguío y volteo de material

Contaminante	Factor de emisión (kg/ton)
MPS	0,00066
MP ₁₀	0,00031
MP _{2,5}	0,000047

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.6.2 Nivel de actividad

Para contemplar todas las emisiones, el nivel de actividad es equivalente a las toneladas del material cargado más el descargado, es decir, es igual a las toneladas del material trasladado, multiplicadas por dos.

La Tabla 23 muestra los valores y parámetros utilizados, como también el nivel de actividad para el carguío y volteo de material, asociado a cada ítem.

Tabla 23 Factores de emisión para carguío y volteo de material

Material	Año 1		Año 2		Nivel de actividad año 1 (t/año)	Nivel de actividad año 2 (t/año)
	Volumen esponjado (m ³)	Masa (t)	Volumen esponjado (m ³)	Masa (t)		
Material excavación pique construcción, galerías y túnel peatonal*	37.227,9	77.061,6	3.384,4	7.005,6	15.4123	14.011
Demolición**	555,4	1434,6	13,9	0,0	2869	0
Total Material	37.783,3	78.496,3	3.398,2	7.005,6	156.992,6	14.011,2

*Consideran un 20% de esponjamiento conforme lo señalado en la Guía RM 2020.

** Considera un 40% de esponjamiento conforme.

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.6.3 Emisiones

Conforme los antecedentes antes expuestos y lo señalado en la Ecuación 1 a continuación se presentan las emisiones del Proyecto por la actividad de carguío y volteo de material.

Tabla 24: Emisiones estimadas por carguío y volteo de material.

Emisión [ton/año]	Año 1			Año 2		
	MPS	MP10	MP2.5	MPS	MP10	MP2.5
Material excavación pique construcción, galerías y túnel peatonal	0,101881	0,048187	0,007297	0,009262	0,004381	0,000663
Material demolición	0,001897	0,000897	0,000136	0,000000	0,000000	0,000000
Emisión (ton/año)	0,1038	0,0491	0,0074	0,0093	0,0044	0,0007

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 25: Total emisiones estimadas por carguío y volteo de material

Total Fase (ton/fase)	
MPS	0,113040
MP10	0,053465
MP2.5	0,008096

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.7 Erosión de material en pila

5.2.7.1 Factor de emisión

Los factores de emisión para la erosión de material en pilas para MP₁₀ y MP_{2,5} se calculan de acuerdo con la siguiente fórmula acorde con lo establecido en la Guía RM 2020:

$$FE = K \times (s/1,5) \times (f/15)$$

Donde:

k: Factor de escala, 1,9 para MPS⁷, 0,953 para MP₁₀ y 0,146 para MP_{2,5}.

s: Contenido de fino del material (%).

f: porcentaje del tiempo en que la velocidad del viento no obstruido es mayor a 5,4 [m/s] a la altura media de la pila.

En el caso del parámetro s se considera el valor de 8,5%, valor por defecto de la Guía RM 2020, mientras que para f se considera el valor de 0,1520%⁸.

⁷ Informe Final Servicio de Recopilación y Sistematización de Factores de Emisión al Aire para el SEIA (2015).

⁸ Valor obtenido desde Estación Meteorológica Parque O'Higgins. Periodo marzo 2023 – marzo 2024 (Estación Parque O'Higgins - Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (mma.gob.cl))

En la siguiente tabla se presentan los factores de emisión resultantes para MPS, MP₁₀ y MP_{2,5}.

Tabla 26: Factores de emisión para erosión de material en pila.

Contaminante	Factor de emisión (kg/ha-día)
MPS	0,1091
MP ₁₀	0,0547
MP _{2,5}	0,0084

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.7.2 Nivel de actividad

El nivel de actividad se obtiene tras la multiplicación de las hectáreas de acopio por los días al año que se mantiene el material apilado.

La Tabla 27 muestra los valores y parámetros utilizados, como también el nivel de actividad para la erosión de material en pila. La superficie corresponde al área de acopio de marina.

Tabla 27: Nivel de actividad para erosión de material en pila.

Año	Superficie (ha)	Días de acopio	Nivel de actividad (ha-día/año)
Año 1	0,0016	365	0,6
Año 2	0,0016	330	0,5

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.7.3 Emisiones

Conforme los antecedentes antes expuestos y lo señalado en la Ecuación 1 a continuación se presentan las emisiones del Proyecto por la actividad de nivelación.

Tabla 28: Emisiones estimadas por erosión de material en pila.

Emisión [ton/año]	MPS	MP10	MP2.5
Año 1	0,000064	0,000032	0,000005
Año 2	0,000058	0,000029	0,000004
Total (ton/fase)	0,000121	0,000061	0,000009

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.8 Grupo Electrónico

5.2.8.1 Factor de emisión

De acuerdo con lo indicado en la Guía RM 2020, el factor de emisión para el grupo electrónico de emergencia de 110 KVA a utilizar corresponde:

Tabla 29 Factores de emisión grupo electrónico.

Combustible	Factor de emisión (kg/kg comb)						
	MPS	MP ₁₀	MP _{2,5}	NO _x	SO _x	CO	COV
Diésel	0,0060783	0,0060783	0,0060783	0,08647	0,00568616	0,0186271	0,00706

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.8.2 Nivel de actividad

El nivel de actividad corresponde al consumo de combustible expresado en kg de combustible. A continuación, se presenta la Tabla 30 con los parámetros a utilizar.

Tabla 30: Parámetros utilizados para grupo electrónico.

Año	Potencia (kVA) ⁹	Consumo (l/h)	Horas/año	Densidad (kg/l) ¹⁰	Nivel de actividad (kg combustible/año)
Año 1	10	4,54	12	0,85	46,3
Año 2	10	4,54	11	0,85	42,4

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.8.3 Emisiones

Conforme los antecedentes antes expuestos y lo señalado en la Ecuación 1 a continuación se presentan las emisiones del Proyecto por la actividad de nivelación.

⁹ [Ficha-Tecnica-10Kw-EP10Pi.pdf](#)

¹⁰ [Enap](#)

Tabla 31: Emisiones estimadas por grupo electrógeno.

Año	MPS (t/año)	MP₁₀ (t/año)	MP_{2,5} (t/año)	NO_x (t/año)	SO_x (t/año)	CO (t/año)	COV (t/año)
Año 1	0,000281	0,000281	0,000281	0,004004	0,000263	0,000863	0,000327
Año 2	0,000258	0,000258	0,000258	0,003671	0,000241	0,000791	0,000300
Total (ton/fase)	0,000539	0,000539	0,000539	0,007675	0,000505	0,001653	0,000627

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

En el Apéndice 2 se adjunta planilla de cálculo con el detalle de los parámetros utilizados.

5.2.9 Combustión de Maquinaria

Para la estimación de las emisiones producidas por la maquinaria se utilizó la metodología señalada en el acápite 3.2.12 "Combustión de maquinaria Fuera de ruta" de la Guía RM 2020. La ecuación general para estimar las emisiones es la siguiente:

$$E_{i,j} = h \times P_i \times (1 + FDi) \times FCi \times TAFi \times FEbase_{i,j}$$

Donde:

$E_{i,j}$: Emisiones del contaminante j, de la maquinaria i, en [g/año].

h_i : Horas de utilización de la maquinaria i, en [h/año].

P_i : Potencia del tipo de maquinaria i, en [kW].

FDi : Factor de deterioro de la maquinaria i, adimensional.

FCi : Factor de carga de la maquinaria i, adimensional.

$TAFi$: Factor de ajuste transiente de la maquinaria i, adimensional.

$FEbase_{i,j}$: Factor de emisión del contaminante j, de la maquinaria i [g/kWh].

A su vez, el Factor de Deterioro está dado por la siguiente fórmula:

$$FD = \frac{K}{VU} \times FDvu$$

Donde:

K: Edad de la maquinaria (entre 0 y la vida útil) (años).

VU: Vida útil de la maquinaria (años). Valor proveniente de Guía RM 2020.

FDvu: Factor de deterioro relativo a la vida útil de la maquinaria.

En el caso del parámetro "FC" se considera el valor por defecto de 0,8 para todas las maquinarias fuera de ruta, indicado en la Guía RM 2020.

A continuación, se presenta el factor de deterioro relativo a la vida útil de la maquinaria, cabe mencionar que se considera el uso de maquinaria tipo Stage IV (minicargador, camión pluma, cargador frontal, grúa móvil, minicargador frontal, motoniveladora), stage IIIA (excavadora 1 y 2), stage V (placa compactadora) y Tier V o equivalente TIER IV Interim (Camión mixer), para el caso de placa compactadora se estima maquinaria Stage V.

Tabla 32: Factor de deterioro relativo a la vida útil de la maquinaria.

Tipo	Fdvu					
	MPS	MP10	MP2,5	NOx	CO	COV
Stage III A y B, IV y V	0,473	0,473	0,473	0,008	0,151	0,027

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.9.1 Factor de emisión

De acuerdo con lo indicado en la Guía RM 2020, el factor de emisión por combustión de maquinaria y los parámetros a utilizar se detallan a continuación.

Tabla 33: Parámetros y factor de emisión por combustión de maquinaria fuera de ruta.

ID	Maquinaria	Potencia (kW)	FC	K	Vu	FD = K/Vu x Fd _{vu}						TAF				FE base (g/kWh)							
						MPS	MP10	MP2,5	NO _x	CO	COV	MP	NO _x	CO	COV	MPS	MP10	MP2,5	NO _x	SO _x	CO	COV	NH ₃
1	Minicargador	63	0,8	7,0	14	0,2365	0,2365	0,2365	0,004	0,0755	0,0135	1	1	1	1	0,025	0,025	0,025	0,4	0,0078	2,2	0,28	0,002
2	Camión pluma	208,8	0,8	5,0	10	0,2365	0,2365	0,2365	0,004	0,0755	0,0135	1	1	1	1	0,025	0,025	0,025	0,4	0,0075	1,5	0,13	0,002
3	Cargador frontal	175	0,8	5,0	10	0,2365	0,2365	0,2365	0,004	0,0755	0,0135	1	1	1	1	0,025	0,025	0,025	0,4	0,0075	1,5	0,13	0,002
4	Camión mixer	254	0,8	7,5	15	0,2365	0,2365	0,2365	0,004	0,0755	0,0135	1	1	1	1	0,025	0,025	0,025	1,8	0,0075	1,5	0,13	0,002
5	Excavadora 1	40,5	0,8	5,0	10	0,2365	0,2365	0,2365	0,004	0,0755	0,0135	1,47	1,04	1,53	1,05	0,2	0,2	0,2	3,81	0,0078	2,2	0,4	0,002
6	Grúa móvil	350	0,8	5,0	10	0,2365	0,2365	0,2365	0,004	0,0755	0,0135	1	1	1	1	0,025	0,025	0,025	0,4	0,0075	1,5	0,13	0,002
7	Minicargador frontal	68,6	0,8	5	10	0,2365	0,2365	0,2365	0,004	0,0755	0,0135	1	1	1	1	0,025	0,025	0,025	0,4	0,0078	2,2	0,28	0,002
8	Motoniveladora	159	0,8	5	10	0,2365	0,2365	0,2365	0,004	0,0755	0,0135	1	1	1	1	0,025	0,025	0,025	0,4	0,0075	1,5	0,13	0,002
9	Excavadora 2	40,5	0,8	5	10	0,2365	0,2365	0,2365	0,004	0,0755	0,0135	1,47	1,04	1,53	1,05	0,2	0,2	0,2	3,81	0,0078	2,2	0,4	0,002
10	Placa compactadora	10,1	0,8	7	14	0,2365	0,2365	0,2365	0,004	0,0755	0,0135	1	1	1	1	0,4	0,4	0,4	6,08	0,0081	4,8	0,68	0,002

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.9.2 Nivel de actividad

El nivel de actividad de la maquinaria corresponde a las horas de uso totales de cada una de ellas. La tabla a continuación muestra el nivel de actividad por año y fase.

Tabla 34: Nivel de actividad por combustión de maquinaria fuera de ruta.

ID	Maquinaria	Potencia (kW)	Horas de funcionamiento año 1	Horas de funcionamiento año 2	Horas de funcionamiento/fase
1	Minicargador	63	8.408,0	184,0	8592,0
2	Camión pluma	208,8	868,0	60,0	928,0
3	Cargador frontal	175	184,0	0,0	184,0
4	Camión mixer	254	650,7	227,4	878,1
5	Excavadora 1	40,5	65,17	0,0	65,2
6	Grúa móvil	350	499,7	727,4	1227,1
7	Minicargador frontal	68,6	420,0	180,0	600,0
8	Motoniveladora	159	0,30	2,37	2,7
9	Excavadora 2	40,5	668,26	14,90	683,2
10	Placa compactadora	10,1	0,38	2,97	3,3

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.9.3 Emisiones por año

Conforme los antecedentes antes expuestos a continuación se presentan las emisiones del Proyecto por la actividad de combustión de maquinaria fuera de ruta.

Tabla 35: Emisiones estimadas por maquinaria fuera de ruta.

Maquinaria	Emisiones Año 1 (t/año)								Emisiones Año 2 (t/año)							
	MPS	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CO	COV	NH3	MPS	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CO	COV	NH3
Minicargador	0,013100	0,01310	0,013100	0,170184	0,003305	1,002668	0,120256	0,000848	0,000287	0,000287	0,000287	0,003724	0,000072	0,021942	0,002632	0,000019
Camión pluma	0,004482	0,004482	0,004482	0,058228	0,001087	0,233906	0,019103	0,000290	0,000310	0,000310	0,000310	0,004025	0,000075	0,016169	0,001321	0,000020
Cargador frontal	0,000796	0,000796	0,000796	0,010345	0,000193	0,003394	0,003394	0,000052	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Camión mixer	0,004087	0,004087	0,004087	0,238935	0,000992	0,213292	0,017420	0,000264	0,001429	0,001429	0,001429	0,083514	0,000347	0,074552	0,006089	0,000092
Excavadora 1	0,000768	0,000768	0,000768	0,008400	0,000016	0,007644	0,000899	0,000004	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Grúa móvil	0,004325	0,004325	0,004325	0,058439	0,001049	0,225725	0,018435	0,000280	0,006296	0,006296	0,006296	0,085066	0,001528	0,328571	0,026835	0,000407
Minicargador frontal	0,000713	0,000713	0,000713	0,009257	0,000180	0,054538	0,006541	0,000046	0,000305	0,000305	0,000305	0,003967	0,000077	0,023373	0,002803	0,000020
Motoniveladora	0,000001	0,000001	0,000001	0,000015	0,000000	0,000062	0,000005	0,000000	0,000009	0,000009	0,000009	0,000121	0,000002	0,000486	0,000040	0,000001
Excavadora 2	0,005354	0,005354	0,005354	0,082823	0,000169	0,051230	0,008778	0,000043	0,000119	0,000119	0,000119	0,001847	0,000004	0,001143	0,000196	0,000001
Placa compactadora	0,000002	0,000002	0,000002	0,000019	0,000000	0,000016	0,000002	0,000000	0,000012	0,000012	0,000012	0,000146	0,000000	0,000124	0,000017	0,000000
Total (ton/año)	0,034722	0,033627	0,035660	0,636645	0,006992	1,792475	0,194832	0,001827	0,008886	0,008767	0,011726	0,182411	0,182411	0,466359	0,039931	0,000560

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación se presenta el resumen de las emisiones generadas por combustión de maquinarias para la fase de construcción.

Tabla 36: Emisiones totales fase de construcción, combustión de maquinaria.

Contaminante	MPS	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CO	COV	NH3
Emisiones fase de construcción (t/fase)	0,043608	0,042394	0,047386	0,819056	0,009097	2,258834	0,234763	0,002387

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.10 Resuspensión por tránsito de vehículos en caminos pavimentados

5.2.10.1 Factor de emisión

El factor de emisión para resuspensión de polvo en caminos pavimentados se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula según se establece en la Guía RM 2020:

$$FE_{MP} = k \times (sL)^{0,91} \times (W \times 1,1023)^{1,02}$$

Donde:

FE: Factor de emisión en g/km.

k: Multiplicador del tamaño de partículas, 3,23 para $MP_{2,5}^{11}$, 0,62 para MP_{10} y 0,15 para $MP_{2,5}$.

sL: Carga superficial de finos en la superficie (g/m^2).

W: Peso promedio del flujo total de la flota que circula por las vías (ton).

De acuerdo con la Guía RM 2020, se considera un peso promedio W de 8 toneladas para caminos pavimentados.

Por su parte, la carga de finos (sL) considera los siguientes valores:

- 2,4 para vías con flujos inferior a 500 vehículos al día.
- 0,7 para vías con flujo entre 500 y 10.000 vehículos al día.
- 0,3 para vías con flujo mayor a 10.000 vehículos al día.

Las Rutas consideradas para el tránsito de camiones corresponden a avenidas principales, carreteras, donde el flujo promedio diario se encuentra entre 500 y 10.000 vehículos/día, y en algunos casos mayor a 10.000 vehículos/día, por lo tanto, se considera una carga de finos en la superficie de $0,7 g/m^2$.

Lo anterior se puede apreciar en el KMZ de rutas que se adjunta en el Apéndice 1 del presente informe.

A continuación, se presentan los factores de emisión por tránsito de vehículos en caminos pavimentados.

¹¹ Informe Final Servicio de Recopilación y Sistematización de Factores de Emisión al Aire para el SEIA (2015).

Tabla 37 Factores de emisión por tránsito vehículos en camino pavimentado.

Contaminante	sL (g/m ²)	W (ton)	Factor de emisión (g/km)
MPS	0,7	8	21,5050
MP ₁₀			4,1279
MP _{2,5}			0,9987

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

5.2.10.2 Nivel de actividad

El nivel de actividad equivale a la suma de los kilómetros recorridos por los vehículos del proyecto, en las vías de cada rango de flujo vehicular.

A continuación, se presentan las actividades asociadas al tránsito de vehículos, considerando tipo de vehículo, distancias, viajes y capacidades. Posteriormente en la Tabla 39 se presentan los niveles de actividad.

Tabla 38: Parámetros considerados en Tránsito de Vehículos por Caminos Pavimentados.

Actividad	Tipo de vehículo	Distancia recorrida (km)	Distancia recorrida interior IF (km)	Distancia total (Ida y Vuelta - km)	Capacidad Ton	Capacidad m³	Peso a trasladar (ton)	volumen a trasladar (m³)	viajes por peso	Viajes por volumen	Viajes año 1	Viajes año 2
Traslado de Marina	Camión Tolva	6,4	0,064	13,0	24,52	15	87779,22	42509,38	3580	2834	2685	895
Traslado de hormigón	Camión mixer	10,7	0,064	21,5	19	8	18060,24	7525,10	951	941	672	280
Traslado de acero	Camión plano	8,56	0,064	17,2	20	10	363,50	46,31	19	5	19	0
Traslado de combustible	Camión surtidor	2,12	0,064	4,4	8,32	5	-	-	-	-	46	42
Traslado de residuos peligrosos	Camión plano	17,6	0,064	35,3	15	12	-	-	-	-	2	2
Traslado Residuos Industriales No Peligrosos (RINP)	Camión tolva	27,20	0,064	54,5	6,5	16	-	-	-	-	12	11
Traslado de residuos Relleno Sanitario	Camión tolva	33,1	0,064	66,3	15	-	-	-	-	-	144	132

Fuente: Elaboración Propia.

En lo que respecta a residuos peligrosos se contempla 1 viaje cada 6 meses. Para los RINP se contempla 1 viaje al mes, hasta el mes 23 del cronograma. Los residuos domiciliarios contemplan el retiro de 3 veces por semana hasta el mes 23 de las obras.

Tabla 39: Niveles de Actividad Estimados en Tránsito de Vehículos por Caminos Pavimentados.

Actividad	Tipo de vehículo	NA [km/año 1]	NA [km/año 2]	NA [km/fase]
Traslado de Marina	Camión Tolva	34926,5	11642,2	46568,6
Traslado de hormigón	Camión mixer	14466,8	6027,8	20494,7
Traslado de acero	Camión plano	327,7	0,0	327,7
Traslado de combustible	Camión surtidor	200,9	183,5	384,4
Traslado de residuos peligrosos	Camión plano	70,7	70,7	141,3
Traslado Residuos Industriales No Peligrosos (RINP)	Camión tolva	654,3	599,8	1254,1
Traslado de residuos Relleno Sanitario	Camión tolva	9551,2	8755,3	18306,5

Fuente: Elaboración Propia con base a Guía RM 2020.

5.2.10.3 Emisiones

A continuación, se presenta por obra las emisiones que generará el tránsito de vehículo por caminos pavimentados.

Tabla 40: Emisiones estimadas por tránsito de vehículos en camino pavimentado.

Actividad	Contaminante	Año 1	Año 2	ton/fase
		ton/año	ton/año	
Traslado de Marina	MPS	0,742081	0,247360	0,989441
	MP10	0,142443	0,047481	0,189924
	MP2.5	0,034462	0,011487	0,045949
Traslado de hormigón	MPS	0,307375	0,128073	0,435449
	MP10	0,059001	0,024584	0,083585
	MP2.5	0,014274	0,005948	0,020222
Traslado de acero	MPS	0,006963	0,000000	0,006963
	MP10	0,001337	0,000000	0,001337
	MP2.5	0,000323	0,000000	0,000323
Traslado de combustible	MPS	0,004269	0,003898	0,008167
	MP10	0,000819	0,000748	0,001568
	MP2.5	0,000198	0,000181	0,000379
Traslado de residuos peligrosos	MPS	0,001501	0,001501	0,003002
	MP10	0,000288	0,000288	0,000576
	MP2.5	0,000070	0,000070	0,000139
Traslado Residuos Industriales No Peligrosos (RINP)	MPS	0,013903	0,012744	0,026647
	MP10	0,002669	0,002446	0,005115
	MP2.5	0,000646	0,000592	0,001237
Traslado de residuos Relleno Sanitario	MPS	0,202934	0,186023	0,388958
	MP10	0,038953	0,035707	0,038953
	MP2.5	0,009424	0,008639	0,009424

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

Tabla 41: Emisiones totales por tránsito de vehículos en camino pavimentado.

Contaminante	Año 1	Año 2	Ton/fase
	ton/año	ton/año	
MPS	1,279026	0,579600	1,858626
MP10	0,245510	0,111254	0,356764
MP2.5	0,059398	0,026916	0,086314

Fuente: Elaboración Propia 2024.

5.2.11 Resuspensión por tránsito vehículos en caminos no pavimentados**5.2.11.1 Factor de emisión**

El factor de emisión para resuspensión de polvo en caminos no pavimentados para MP_{10} y $MP_{2,5}$ se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula según se establece en la Guía RM 2020:

$$FE\ MP = k \times 281,9 \times (s/12)^{0,9} \times (W/2,72)^{0,45}$$

Mientras que el factor de emisión para MPS, de acuerdo al Informe Final Servicio de Recopilación y Sistematización de Factores de Emisión al Aire para el SEIA (2023), se calcula con la siguiente fórmula:

$$FE\ MP = k \times 281,9 \times (s/12)^{0,7} \times (W/2,72)^{0,45}$$

Donde:

FE: Factor de emisión en g/km.

k: Multiplicador del tamaño de partículas, 4,9 para MPS, 1,5 para MP_{10} y 0,15 para $MP_{2,5}$.

s: Contenido de material fino en la superficie (%).

W: Peso promedio del flujo total de la flota que circula por las vías (ton).

En el caso del parámetro "s" se considera el valor por defecto de 8,5 % indicado en la Guía RM 2020. De acuerdo a la Guía RM 2020, el peso promedio W se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$W = \frac{\sum_i^n (P_i \times N_{vi})}{\sum_i^n (N_{vj})}$$

Donde:

P_i : Peso promedio del vehículo que un determinado tipo de viaje i. (ton)

N_{vi} : Número de viajes del tipo de viaje i

N_{vj} : Número de viajes del tipo de viaje j

n: cantidad de tipos de viajes

Por su parte, se considera un factor de corrección por lluvia de 0,953, de acuerdo con lo indicado en la Guía RM 2020.

En la siguiente tabla se detallan los caminos no pavimentados que se utilizarán durante la fase de construcción del Proyecto. Es importante indicar que no se consideran caminos no pavimentados al interior del Proyecto. Por otro lado, los caminos no pavimentados exteriores al Proyecto corresponden a caminos interiores dentro de los sitios de disposición final (botadero, relleno sanitario y residuos industriales no peligrosos [RINP]).

Tabla 42 Detalle caminos no pavimentados – Fase de construcción

Tipo de vía	Actividad	Camino	Distancia (m)
No pavimentada	Traslado marina	Interior Áridos Normalizados Río Maipo	290
	Traslado de RINP	Interior Pétreos Quilín	357
	Traslado Relleno Sanitario	Interior Relleno Sanitario Santiago Poniente	283

Fuente: Elaboración Propia, 2024

En el apéndice 1 se puede apreciar el kmz con las rutas del proyecto, incluido aquellas no pavimentadas. Las tablas a continuación presentan peso promedio a utilizar por tramo no pavimentado y el factor de emisión.

Tabla 43: Peso Promedio Camino no pavimentado.

Actividad	Viajes / fase	tara [ton]	peso lleno [ton]	Peso promedio [ton]
Traslado marina	2.651	16,48	41	28,74
Traslado de RINP	23	5,8	18	11,9
Traslado Relleno Sanitario	276	5,8	18	11,9

Fuente: Elaboración Propia, 2024**Tabla 44 Factor de emisión camino no pavimentado.**

Actividad	Camino	W (t)	FE MPS (g/km)	FE MP10 (g/km)	FE MP2,5 (g/km)
Traslado marina	Interior áridos Normalizados Río Maipo	28,74	3.145,31	895,70	89,57
Traslado de RINP	Interior Pétreos Quilín	11,9	2.115,14	602,34	60,23
Traslado Relleno Sanitario	Interior Relleno sanitario	11,9	2.115,14	602,34	60,23

Fuente: Elaboración Propia, 2024

5.2.11.2 Nivel de actividad

En la siguiente tabla se presenta el nivel de actividad para tránsito vehicular en caminos no pavimentados.

Tabla 45: Nivel de actividad camino no pavimentado.

Actividad	Distancia recorrida camino no pavimentado (ida y vuelta) [km]	Viajes / fase	NA [km/fase]	NA [km/año 1]	NA [km/año 2]
Traslado marina	0,58	3580	2076,40	1557,30	519,10
Traslado Relleno Sanitario	0,566	276	156,22	81,50	74,71
Traslado de RINP	0,714	23	16,42	8,57	7,85

Fuente: Elaboración Propia, 2024

5.2.11.3 emisiones por año

A continuación, se presenta por obra las emisiones que generará el tránsito de vehículo por caminos no pavimentados.

Tabla 46: Emisiones estimadas por tránsito de vehículos en camino no pavimentado.

Actividad	Contaminante	Año 1	Año 2	ton/fase
		ton/año	ton/año	
Traslado de Marina	MPS	4,667970	1,555990	6,223960
	MP10	1,329317	0,443106	1,772422
	MP2.5	0,132932	0,044311	0,177242
Traslado de residuos Relleno Sanitario	MPS	0,164290	0,150599	0,314890
	MP10	0,046786	0,042887	0,089672
	MP2.5	0,004679	0,004289	0,008967
Traslado Residuos Industriales No Peligrosos (RINP)	MPS	0,017271	0,015832	0,033102
	MP10	0,004918	0,004508	0,009427
	MP2.5	0,000492	0,000451	0,000943

Fuente: Elaboración Propia con base en Guía RM 2020.

Tabla 47: Emisiones totales por tránsito de vehículos en camino no pavimentado.

Contaminante	Año 1	Año 2	Ton/fase
	ton/año	ton/año	
MPS	4,849531	1,722421	6,571952
MP10	1,381021	0,490501	1,871521
MP2.5	0,138102	0,049050	0,187152

Fuente: Elaboración Propia 2024.

5.2.12 Combustión de vehículos

5.2.12.1 Factor de emisión

Las emisiones de material particulado y gases provenientes de la combustión de motor de los vehículos generadas en las actividades de la fase de construcción están asociadas a los kilómetros totales recorridos tanto en las rutas pavimentadas como en los caminos no pavimentados.

A continuación, se presentan los factores de emisión de material particulado y gases producto de la combustión de motores de los vehículos, por tipo de vehículo. Se contempla el uso de vehículos con tecnología Euro III y Euro V.

Tabla 48: Factores de emisión por contaminante y tipo de vehículo.

Vehículo	Traslado	MPS	MP10	MP2.5	NOx	SOx	CO	COV	NH3	Unidad
Vehículo pesado diésel 7,5 t – 16 t euro III	Relleno sanitario; Respel; RINP; combustible	0,0881	0,0881	0,0881	4,3	0,0047	0,972	0,189	0,0029	g/km
Vehículo pesado diésel 16 t – 32 t Euro V	Marina - hormigón	0,0239	0,0239	0,0239	2,18	0,0063	0,105	0,01	0,011	g/km
Vehículo pesado diésel 16 t – 32 t euro III	Acero e insumos generales	0,13	0,13	0,13	6,27	0,0063	1,49	0,278	0,0029	g/km

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.12.2 Nivel de actividad

Los niveles de actividad de los vehículos corresponden a los kilómetros recorridos en caminos pavimentados y no pavimentados, en el transporte de materiales en viajes de ida y retorno.

La siguiente tabla muestra los kilómetros recorridos por los vehículos el cual considera la suma de las Tabla 39 y Tabla 45.

Tabla 49: Nivel de actividad combustión vehicular.

Actividad	Tipo de vehículo	NA [km/fase]	NA [km/año 1]	NA [km/año 2]
Traslado de Marina	Vehículo pesado diésel 16 t – 32 t Euro V	48645,0	36483,8	12161,3
Traslado de hormigón	Vehículo pesado diésel 16 t – 32 t Euro V	20494,7	14466,8	6027,8
Traslado de acero	Vehículo pesado diésel 16 t – 32 t euro III	327,7	327,7	0,0
Combustible	Vehículo pesado diésel 7,5 t – 16 t euro III	384,4	200,9	183,5
Traslado de residuos peligrosos	Vehículo pesado diésel 7,5 t – 16 t euro III	141,3	70,7	70,7
Traslado de residuos Relleno Sanitario	Vehículo pesado diésel 7,5 t – 16 t euro III	18462,7	9632,7	8830,0
Traslado RINP	Vehículo pesado diésel 7,5 t – 16 t euro III	1270,6	662,9	607,7

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.12.3 emisiones por año

Las emisiones asociadas a combustión de vehículos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 50: Emisiones estimadas por combustión de vehículos.

Contaminante	Año 1 (ton/año)	año 2 (ton/año)	Total (ton/fase)
MPS	0,002191	0,001289	0,003480
MP10	0,002191	0,001289	0,003480
MP2,5	0,002191	0,001289	0,003480
NOx	0,158566	0,081327	0,239893
SOx	0,000373	0,000160	0,000533
CO	0,016109	0,011330	0,027440
COV	0,002598	0,002014	0,004611
NH3	0,000592	0,000228	0,000820

Fuente: Elaboración Propia.

En el Apéndice 2 se puede apreciar el detalle para cada vehículo utilizado por el Proyecto.

5.3 Resumen emisiones fase de construcción

En las siguientes tablas se presenta el resumen de las emisiones anuales por actividad durante la fase de construcción.

Tabla 51: Emisiones atmosféricas año 1 (t/año).

Actividad	MPS	MP ₁₀	MP _{2,5}	NO _x	SO _x	CO	COV	NH ₃
Demolición	0,224107	0,067911	0,006791	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Relleno	0,060309	0,012337	0,006332	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Excavación	2,040783	0,417476	0,214282	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Compactación	0,001123	0,000230	0,000118	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nivelación	0,000449	0,000132	0,000004	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Carguío y volteo de material	0,103778	0,049084	0,007433	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Erosión eólica	0,000064	0,000032	0,000005	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Grupos electrógenos	0,000281	0,000281	0,000281	0,004004	0,000263	0,000863	0,000327	0,000000
Combustión Maquinaria	0,034722	0,033627	0,035660	0,636645	0,006992	1,792475	0,194832	0,001827
Tránsito por caminos pavimentados	1,279026	0,245510	0,059398	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Tránsito por caminos no pavimentados	4,849531	1,381021	0,138102	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Combustión de vehículos	0,002191	0,002191	0,002191	0,158566	0,000373	0,016109	0,002598	0,000592
TOTAL año 1	8,596365	2,209832	0,470598	0,799215	0,007628	1,809447	0,197757	0,002419

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 52: Emisiones atmosféricas año 2 (t/año).

Actividad	MPS	MP ₁₀	MP _{2,5}	NO _x	SO _x	CO	COV	NH ₃
Demolición	0,001256	0,000381	0,000038	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Relleno	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Excavación	0,185526	0,037952	0,019480	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Compactación	0,008829	0,001806	0,000927	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nivelación	0,003533	0,001034	0,000032	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Carguío y volteo de material	0,009262	0,004381	0,000663	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Erosión eólica	0,000058	0,000029	0,000004	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Grupos electrógenos	0,000258	0,000258	0,000258	0,003671	0,000241	0,000791	0,000300	0,000000
Combustión Maquinaria	0,008886	0,008767	0,011726	0,182411	0,002105	0,466359	0,039931	0,000560

Actividad	MPS	MP ₁₀	MP _{2,5}	NO _x	SO _x	CO	COV	NH ₃
Tránsito por caminos pavimentados	0,579600	0,111254	0,026916	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Tránsito por caminos no pavimentados	1,722421	0,490501	0,049050	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Combustión de vehículos	0,001289	0,001289	0,001289	0,081327	0,000160	0,011330	0,004611	0,000228
TOTAL año 2	2,520917	0,657651	0,110385	0,267409	0,002506	0,478480	0,044842	0,000788

Fuente: Elaboración Propia.

La siguiente tabla muestra el resumen de las emisiones totales por año y fase.

Tabla 53: Resumen emisiones fase de construcción.

Año	MPS	MP ₁₀	MP _{2,5}	NO _x	SO _x	CO	COV	NH ₃
Año 1 (t/año)	8,5964	2,2098	0,4706	0,7992	0,0076	1,8094	0,1978	0,0024
Año 2(t/año)	2,5209	0,6577	0,1104	0,2674	0,0025	0,4785	0,0448	0,0008
Total fase (t/fase)	11,1173	2,8675	0,5810	1,0666	0,0101	2,2879	0,2426	0,0032

Fuente: Elaboración Propia.

5.4 Cálculo de emisiones fase de operación

Cabe indicar que durante la fase de operación el Proyecto solo contempla el flujo de pasajeros que transita por el túnel, por cuanto, no generará emisiones atmosféricas.

6. Resumen de emisiones incluyendo emisiones equivalentes

De acuerdo con lo establecido en el D.S. 31/2017 del MMA (Art. 61), se considera la siguiente equivalencia.

Tabla 54 Conversión para MP_{2,5} y MP₁₀ equivalente

Contaminante (1 ton/año)	Emisión equivalente MP _{2,5} (ton/año)
SO ₂	0,34089
NO _x	0,11757
NH ₃	0,11339

Fuente: D.S. 31/2017 del MMA.

En la siguiente tabla se presentan las emisiones totales por año, considerando las emisiones de equivalentes.

Tabla 55 Resumen emisiones equivalente totales – Fase de construcción

Actividad	MPS resusp	MPS comb	MP ₁₀ resusp	MP ₁₀ comb	MP _{2,5} resusp	MP _{2,5} comb	NO _x	SO _x	CO	COV	NH ₃
Año 1 (ton/año)	8,5592	0,0372	2,1737	0,1329	0,4325	0,1350	0,7992	0,0076	1,8094	0,1978	0,0024
Año 2 (ton/año)	2,5105	0,0104	0,6473	0,0427	0,0971	0,0457	0,2674	0,0025	0,4785	0,0448	0,0008

Fuente: Elaboración propia.

7. Análisis Normativo del Artículo 64 del D.S. N° 31/2017

El artículo 64 del D.S. 31/2017 del MMA establece que todos los proyectos que ingresen al SEIA deberán compensar sus emisiones en caso de generar un aumento sobre la situación base en valores iguales o superiores a los que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 56: Emisión máxima proyectos, D.S. N° 31/2017.

Contaminante	Emisión máxima (ton/año)
MP ₁₀	2,5
MP _{2,5}	2,0
NO _x	8
SO ₂	10

Fuente: D.S. 31/2017 del MMA.

En la siguiente tabla se presenta el análisis de dichos contaminantes, considerando las emisiones equivalentes, de acuerdo con lo presentado en la Tabla 55.

Tabla 57 Emisión equivalente de contaminantes en análisis

Contaminante	Año 1	Año 2	Emisión máxima (ton/año)
MP ₁₀	2,3067	0,6900	2,5
MP _{2,5}	0,5674	0,1428	2,0
NO _x	0,7992	0,2674	8
SO ₂	0,0076	0,0025	10

Fuente: Elaboración propia.

“Del resultado de este análisis los proyectos o actividades deberán:

a. En caso que se supere simultáneamente la emisión máxima de MP_{2,5} equivalente y de MP₁₀ equivalente de la tabla VI-14, se deberá compensar la emisión máxima total de Material Particulado equivalente, tomando en cuenta los criterios indicados en el artículo 63 del presente decreto

b. En caso que se supere la emisión máxima de MP2,5 equivalente, pero no se supere la emisión máxima de MP10 equivalente de la tabla VI-14, se deberá compensar la emisión máxima equivalente del primer contaminante, tomando en cuenta los criterios indicados en el artículo 63 del presente decreto.

c. En caso que no se supere la emisión máxima de MP2,5 equivalente, pero sí se supere la emisión máxima de MP10 equivalente de la tabla VI-14, se deberá compensar la emisión máxima equivalente de este último contaminante, tomando en cuenta los criterios indicados en el artículo 63 del presente decreto.

d. En caso que no se superen las emisiones de MP2,5 equivalente ni la emisión máxima de MP10 equivalente de la tabla VI-14, se deberá analizar si la emisión de SO y NOx superan el límite indicado para cada uno en la tabla VI-14, compensando estas emisiones en caso que lo superen, conforme a los criterios indicados en el artículo 63 del presente decreto.

En las hipótesis de los literales a, b y c anteriores, no debe ser analizado el límite de emisión de SO₂ y NOx, ya que estas emisiones se consideran en base a su contribución al MP2,5"

Por lo anterior, y sin perjuicio de lo señalado en el D.S. N°31/2016 MMA "Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago" respecto a la obligatoriedad de compensar emisiones; a modo de referencia se indica que las emisiones estimadas para la fase de construcción del Proyecto al compararlas con los umbrales indicados en el artículo 64 de dicho Plan, estas no superarían los límites establecidos en el citado D.S. N°31/2016 MMA.

8. Gases de Efecto invernadero (GEI) y forzantes climáticos

La ecuación general que se emplea para estimar las emisiones de cada GEI del Proyecto es la siguiente:

$$E = Fe * Na$$

Donde:

E: Emisión de GEI (ton/año)

Fe: Factor de emisión

Na: nivel de actividad

Los factores de emisión (Fe) corresponden a ecuaciones o expresiones matemáticas que permiten estimar tasas unitarias de emisiones de cada GEI. Por otra parte, los niveles de actividad (Na) son calculados a partir de las actividades que éste involucra durante su desarrollo. Para efectos del cálculo de emisiones, los niveles de actividad corresponden a parámetros que indican el grado o intensidad de la actividad en el tiempo durante la ejecución del Proyecto. Para calcular las emisiones totales de GEI, en términos de CO₂ equivalente, se emplea la siguiente ecuación:

$$E = E_{CO_2} * PCGC_{CO_2} + E_{CH_4} * PCG_{CH_4} + E_{N_2O} * PCG_{N_2O}$$

Donde:

E: Emisión (tCO₂eq/año)

E_{CO2}: Emisión de CO₂ (ton/año)

PCGC_{CO2}: Potencial de calentamiento global del CO₂

E_{CH4}: Emisión de CH₄ (ton/año)

PCG_{CH4}: Potencial de calentamiento global del CH₄

E_{N2O}: Emisión de N₂O (ton/año)

PCGN_{2O}: Potencial de calentamiento global del N₂O

A continuación, se entrega el detalle de las fuentes y actividades emisoras, de manera desagregada para la fase de construcción.

Tabla 58: Actividades y/o fuentes emisoras.

Actividad	Contaminante
Combustión de grupos electrógeno	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Combustión de maquinaria	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Combustión de vehículos de transporte	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O

Fuente: Elaboración Propia, 2025.

Los potenciales de calentamiento global utilizados en los cálculos fueron obtenidos desde el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Estos valores miden los efectos relativos de calentamiento global que ejercen los diferentes gases respecto de los efectos de calentamiento global del CO₂ y permiten obtener un valor de emisiones de CO₂ equivalente.

Tabla 59: Actividades y/o fuentes emisoras.

Gas	PCG
CO ₂	1
CH ₄	27,9
N ₂ O	273

Fuente: Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

El detalle de los factores de emisión, nivel de actividad y cálculos se encuentran en el Apéndice 2 de este documento "Planilla de Cálculo emisiones atmosféricas".

Los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC) son contaminantes que tienen una vida útil relativamente corta en la atmósfera, pero que aportan al calentamiento global. En términos de su contribución al efecto invernadero, los más importantes son el carbono negro (CN), el ozono troposférico y el CH₄.

Cabe indicar que el ozono troposférico no se emite directamente a la atmósfera, sino que se forma mediante reacciones fotoquímicas entre otros gases, denominados gases precursores, dentro de los cuales están CO, NO_x y el COV. La emisión de estos gases precursores del ozono troposférico (CO, NO_x y COV) está abordada en el Inventario de Emisiones Atmosféricas del Proyecto sección 5, por lo que no fueron presentados en esta sección.

La ecuación general y metodología para el cálculo de emisiones de CN corresponde a la utilizada en el Inventario Nacional de Carbono Negro, la que consiste en la estimación de emisiones en base a un nivel de actividad y un factor de emisión. Este último es principalmente obtenido considerando al CN como una fracción del MP_{2,5} emitido por distintas actividades. La ecuación general (EMEP/EEA, 2019) que se emplea para estimar las emisiones de CN del Proyecto es la siguiente:

$$\sum E = NA_{i,j} * FE_{i,j}$$

Donde:

E: Emisiones de CN

NA: Nivel de actividad (consumo de combustible)

FE: Factor de emisión (kg de CN/TJ de combustible)

i: Categoría

j: Combustible

El detalle de los factores de emisión, nivel de actividad y cálculos se encuentran en el Apéndice 2 de este documento "Planilla de Cálculo emisiones atmosféricas".

A continuación, se presentan las emisiones de GEI de la fase de construcción del proyecto.

8.1 Grupo electrógeno

Tabla 60: Emisiones de GEI por el uso de grupo electrógeno.

Emisiones	CO2 [tCO2/año]	CH4 [tCH4/año]	N2O [tN2O/año]	CO2e [tCO2e/año]	CN [tCN/año]
Año 1	0,1489	0,0000	0,0000	0,1494	0,0000
Año 2	0,1365	0,0000	0,0000	0,1370	0,0000
Total	0,2854	0,0000	0,0000	0,2864	0,0001

Fuente: Elaboración Propia.

8.2 Maquinaria

Tabla 61: Emisiones de GEI por el uso de maquinaria.

Emisiones	Año 1	Año 2	Total
	Emisiones de CO2 [tCO2/año]	Emisiones de CH4 [tCH4/año]	Emisiones de N2O [tN2O/año]
CO2 [tCO2/año]	304,363	93,246	490,243
CH4 [tCH4/año]	0,012	0,004	0,020
N2O [tN2O/año]	0,002	0,001	0,003
CO2e [tCO2e/año]	305,380	93,558	491,676
CN [tCN/año]	0,008	0,002	0,010

Fuente: Elaboración Propia.

8.3 Transporte

Tabla 62: Emisiones de GEI por transporte.

Emisiones	Año 1	Año 2	Total
	Emisiones de CO2 [tCO2/año]	Emisiones de CH4 [tCH4/año]	Emisiones de N2O [tN2O/año]
CO2 [tCO2/año]	55,603	23,207	78,809
CH4 [tCH4/año]	0,000	0,000	0,001
N2O [tN2O/año]	0,002	0,001	0,003
CO2e [tCO2e/año]	56,227	23,468	79,695
CN [tCN/año]	0,002	0,001	0,003

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 63: Resumen emisiones de GEI y forzantes climáticos.

Emisiones Fase Construcción		Año 1					Año 2				
Actividad		CO2 (tCO2/ año)	CH4 (tCH4/ año)	N2O (tN2O/ año)	CO2e (tCO2e/ año)	CN (tCN/ año)	CO2 (tCO2/ año)	CH4 (tCH4/ año)	N2O (tN2O/ año)	CO2e (tCO2e/ año)	CN (tCN/ año)
Grupos Electrógenos		0,149	0,000	0,000	0,149	0,000	0,137	0,000	0,000	0,137	0,000
Maquinaria	Minicargador	141,191	0,006	0,001	141,663	0,003	3,090	0,000	0,000	3,100	0,000
	Camión pluma	48,309	0,002	0,000	48,470	0,001	3,339	0,000	0,000	3,350	0,000
	Cargador frontal	8,583	0,000	0,000	8,611	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Camión mixer	44,051	0,002	0,000	44,198	0,001	15,397	0,001	0,000	15,449	0,000
	Excavadora 1	0,703	0,000	0,000	0,706	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Grúa móvil	46,619	0,002	0,000	46,775	0,001	67,860	0,003	0,001	68,086	0,002
	Minicargador frontal	7,680	0,000	0,000	7,705	0,000	3,291	0,000	0,000	3,302	0,000
	Motoniveladora	0,013	0,000	0,000	0,013	0,000	0,100	0,000	0,000	0,100	0,000
	Excavadora 2	7,214	0,000	0,000	7,238	0,000	0,161	0,000	0,000	0,161	0,000
	Placa compactadora	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,008	0,000	0,000	0,008	0,000
	Total maquinaria	304,363	0,012	0,002	305,380	0,008	93,246	0,004	0,001	93,558	0,002
Combustión de vehículos	Traslado de Marina	35,154	0,000	0,001	35,548	0,001	11,718	0,000	0,000	11,849	0,000
	Traslado de hormigón	13,939	0,000	0,001	14,096	0,000	5,808	0,000	0,000	5,873	0,000
	Traslado de acero	0,316	0,000	0,000	0,319	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Traslado de combustible	0,118	0,000	0,000	0,119	0,000	0,108	0,000	0,000	0,109	0,000
	Traslado de residuos peligrosos	0,041	0,000	0,000	0,042	0,000	0,041	0,000	0,000	0,042	0,000

Emisiones Fase Construcción		Año 1					Año 2				
Actividad		CO2 (tCO2/ año)	CH4 (tCH4/ año)	N2O (tN2O/ año)	CO2e (tCO2e/ año)	CN (tCN/ año)	CO2 (tCO2/ año)	CH4 (tCH4/ año)	N2O (tN2O/ año)	CO2e (tCO2e/ año)	CN (tCN/ año)
	Traslado de residuos Relleno Sanitario	5,646	0,000	0,000	5,710	0,001	5,176	0,000	0,000	5,234	0,001
	Traslado RINP	0,389	0,000	0,000	0,393	0,000	0,356	0,000	0,000	0,360	0,000
	Total vehículos	55,603	0,000	0,002	56,227	0,002	23,207	0,000	0,001	23,468	0,001
Total CONSTRUCCIÓN		360,115	0,013	0,005	361,757	0,009	116,590	0,004	0,002	117,162	0,004

Fuente: Elaboración Propia.

9. Conclusiones

Del presente informe se puede concluir lo siguiente.

El Proyecto solo considera y estima la generación de emisiones durante su fase de construcción la cual tiene una duración de 23 meses. La máxima emisión se genera durante el año 1 de ejecución de las obras, estimando 2,2098 t/año de MP10 donde el mayor aporte proviene del tránsito de vehículos por caminos no pavimentados (1,3810 t/año).

Respecto del MP2.5 se estima un total de 0,4705 t/año para el año de mayor emisión (año 1) con su máximo aporte proviene del tránsito de vehículos por caminos no pavimentados (0,1381 t/año).

Referente a los gases de combustión el CO genera la mayor cantidad de contaminante con 1,8094 t/año para el año de mayor emisión (año 1) donde el máximo aporte lo entrega la combustión de maquinaria fuera de ruta con 01,7924 t/año.

Respecto a las emisiones de GEI, el uso de maquinaria representa el 84,4% de las emisiones totales de CO₂e en la fase de la construcción, seguido por la combustión de vehículos de transporte, representando el 15,5% de éstas. Los grupos electrógenos presentan menos del 1% de las emisiones de totales de CO₂e en la etapa de construcción.

El Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero de Chile señala que la región Metropolitana emitió en el año 2020, 1.900 [tCN] y 20.910 [ktCO₂], luego, las emisiones totales de Carbono Negro y de Gases de Efecto Invernadero en la fase de construcción son bajas en comparación a las emisiones anuales de la región.

10. Medidas de Control y/o Acciones Preventivas

- Pavimento o asfaltado del camino al interior de la IF.
- Humectación superficial de la marina en los sitios de acopio, excepto en períodos de lluvia (que funciona como abatimiento natural).
- Uso de cubierta y carga adecuada de los vehículos de transporte de materiales. Los camiones con carga de material de las excavaciones sólo circularán con la tolva cubierta con una lona impermeable en buenas condiciones, sujetas firmemente y cubriendo la totalidad de la carga;
- Las maquinarias utilizadas contarán con tecnología adecuada (TIER III, TIER IV y TIER IV interim), de manera de minimizar las emisiones a la atmósfera.
- En relación a la flota de camiones, se exigirá a los contratistas el empleo de camiones que cumplan con la norma Euro V o superior para el traslado de material de excavación y hormigón.
- Se exigirá al contratista, que el tránsito de camiones sea por áreas urbanas con carga cubierta.
- Se exigirá a los contratistas que sus vehículos y camiones cuenten con sus revisiones técnicas y mantenciones al día.
- Se exigirá al contratista que presente al inicio del contrato un programa de mantención para cada tipo de maquinaria y vehículo que contemple su contrato.
- Se contempla el lavado de ruedas de los camiones para eliminar el exceso de tierra o barro a la salida del sector de obras, siempre y cuando sea necesario y las condiciones climáticas lo ameriten. Se debe considerar que el camino interno de la IF se encontrará pavimentado, por lo tanto, se minimizará la acumulación de tierra o barro en las ruedas.
- Mantención periódica de grupos electrógenos según recomendación del fabricante en la ficha técnica. Se utilizarán equipos que cuenten con las autorizaciones correspondientes.
- El camino interno de la IF se mantendrá limpio durante la jornada.

11. Bibliografía

- Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP 42, de la US Environmental Protection Agency, EPA.
- EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2023: Technical guidance to prepare national emission inventories, de la European Environment Agency (EEA). <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>
- Guía para la estimación de emisiones atmosféricas en la Región Metropolitana, SEREMI Medio Ambiente RM, 2020.
- Informe Final Servicio de Recopilación y Sistematización de Factores de Emisión al Aire para el SEIA, B.S Consultores, 2015.
- Ministerio del Medio Ambiente. Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA). sinca.mma.gob.cl.
- DEFRA. (2023). Factores de conversión 2023.
- IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 1, Volume 2
- IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 3, Volume 2.
- IPCC. (2023). Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

12. Apéndices

Apéndice 1 : Kmz Rutas y obras del Proyecto

Apéndice 2 : Planilla de cálculo emisiones atmosféricas