



MEMORIA DE CÁLCULO DEL PLAN DE COMPENSACIÓN DE MP10

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ALTO MAIPO

NOVIEMBRE 2010

MEMORIA DE CÁLCULO DE DEL PLAN DE COMPENSACIÓN DE MP10 PROYECTO HIDROELÉCTRICO ALTO MAIPO

CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 2 |
| 2. OBJETIVO | 2 |
| 3. ANTECEDENTES | 3 |
| 3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO | 3 |
| 3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS DEL PHAM | 5 |
| 4. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES | 8 |
| 5. CÁLCULO DE LAS EMISIONES GENERADAS POR EL PROYECTO | 11 |
| 5.1 CONSIDERACIONES SOBRE LAS FUENTES DE EMISIÓN Y SU NIVEL DE ACTIVIDAD | 11 |
| 5.1.1 FUENTES DE EMISIÓN..... | 11 |
| 5.1.2 OBRAS Y ACTIVIDADES DEL PROYECTO | 13 |
| 5.2 CALCULO DE EMISIONES | 17 |
| 5.2.1 LEVANTAMIENTO DE POLVO (MP10) POR MOVIMIENTO DE TIERRAS..... | 17 |
| 5.2.2 LEVANTAMIENTO DE POLVO (MP10) POR EROSIÓN DEL VIENTO..... | 29 |
| 5.2.1 LEVANTAMIENTO DE POLVO (MP10) EN LAS PLANTAS DE HORMIGONADO | 32 |
| 5.2.2 LEVANTAMIENTO DE POLVO (MP10) POR USO DE CAMINOS..... | 34 |
| 5.2.3 EMISIONES DE VEHÍCULOS Y MAQUINARIAS MOTORIZADOS..... | 45 |
| 6. RESUMEN DE EMISIONES DEL PROYECTO | 52 |
| 7. MEDIDA DE COMPENSACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO (MP10) | 54 |
| 7.1 PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE MP10 | 54 |
| 7.2 REQUERIMIENTOS DE COMPENSACIÓN | 54 |
| 7.2.1 METODOLOGÍA DEL CÁLCULO..... | 55 |
| 7.2.2 RESULTADO | 56 |
| 8. PROGRAMA DE COMPENSACIÓN | 58 |
| 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 59 |

ANEXO: PLANILLA DE CÁLCULO DE EMISIONES

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a lo estipulado en el considerando 7.1.1.1 de la RE N° 256/09 de la COREMA de la Región Metropolitana de Santiago, de marzo de 2009, que calificó ambientalmente favorable el Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo: el Titular deberá presentar dentro de los 60 días previo al inicio de la fase de construcción del proyecto, el *Plan de Compensación de Emisiones (PCE) a la Dirección Regional de CONAMA RM, a fin de validar las estimaciones de las emisiones, las que tienen carácter preliminar. Para estos efectos, deberá adjuntar al PCE, la memoria de cálculo de dichas emisiones que incluya:*

- *Los factores de emisión empleados en la estimación.*
- *La referencia bibliográfica de los factores de emisión y de la metodología de estimación utilizada.*
- *Los supuestos involucrados en los cálculos.*
- *Los valores de los parámetros considerados en las estimaciones.*
- *Las hojas de cálculo.*

El presente documento corresponde a la Memoria de Cálculo del Plan de Compensación de MP10 del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo, la cual incluye una definición acabada de las obras a efectuar por el Proyecto, precisando el tipo de actividad y potencial generador de emisiones, su ubicación geográfica y nivel de actividad en el tiempo. En este sentido, la memoria incorpora una base de datos EXCEL que sintetiza toda la información relevante para el cálculo de emisiones para cada obra del Proyecto, acompañada de las hojas de cálculo de emisiones asociada a cada faena o actividad emisora.

2. OBJETIVO

El objetivo de la Memoria de cálculo de las emisiones del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo es validar las estimaciones de las emisiones que fundamentan el Plan de Compensación de emisiones y garantizar el cumplimiento del DS N° 66/2010, Plan de Prevención y Descontaminación para la Región Metropolitana.

3. ANTECEDENTES

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (PHAM) comprende la construcción y operación de dos centrales hidroeléctricas de pasada: Alfalfal II y Las Lajas, dispuestas en serie en el sector alto del río Maipo, para lo cual considera el aprovechamiento de las aguas provenientes de la zona alta del río Volcán, del río Yeso, de las aguas turbinadas provenientes de la actual Central Alfalfal y de la cuenca intermedia del río Colorado. Ambas centrales permitirán disponer en conjunto una potencia máxima de 531 MW, para ser despachada al Sistema Interconectado Central (SIC).

En síntesis el PHAM incluye la toma, conducción y aprovechamiento de las aguas por medio de un sistema de bocatomas, túneles y turbinas, empleando bajos caudales y alturas de caída elevadas.

La Central Alfalfal II, diseñada para un caudal de 27 m³/s, recibirá las aguas captadas desde esteros ubicados en la parte alta del río Volcán, las que se conducirán hasta el valle del río Yeso a través del túnel El Volcán. Por su parte, la Central Las Lajas se encuentra diseñada para un caudal de 65 m³/s; ésta recibirá las aguas generadas de las centrales Alfalfal y Alfalfal II, además de los aportes de la cuenca intermedia del río Colorado, ubicada entre las bocatomas de la Central Alfalfal (Colorado y Olivares) y la actual bocatoma de la Central Maitenes, y de la quebrada Aucayes.

Las características generales de estas centrales se muestran a continuación:

Tabla 1 Características generales de las centrales Alfalfal II y Las Lajas

| Características | Central Alfalfal II | Central Las Lajas |
|---|---------------------|-------------------|
| Potencia instalada (MW) | 264 | 267 |
| Caudal de diseño (m ³ /s) | 27 | 65 |
| Caudal promedio anual turbinado (m ³ /s) | 12,5 | 35,2 |
| Altura bruta de caída (m) | 1.146 | 485 |
| Longitud de túneles | 40 | 30 |
| Energía promedio anual generada (GWh/año) | 1.086 | 1.264 |
| Sistema de Transmisión 220 – 110 kV | 8 km | 23 km |

Fuente: AES Gener S.A.

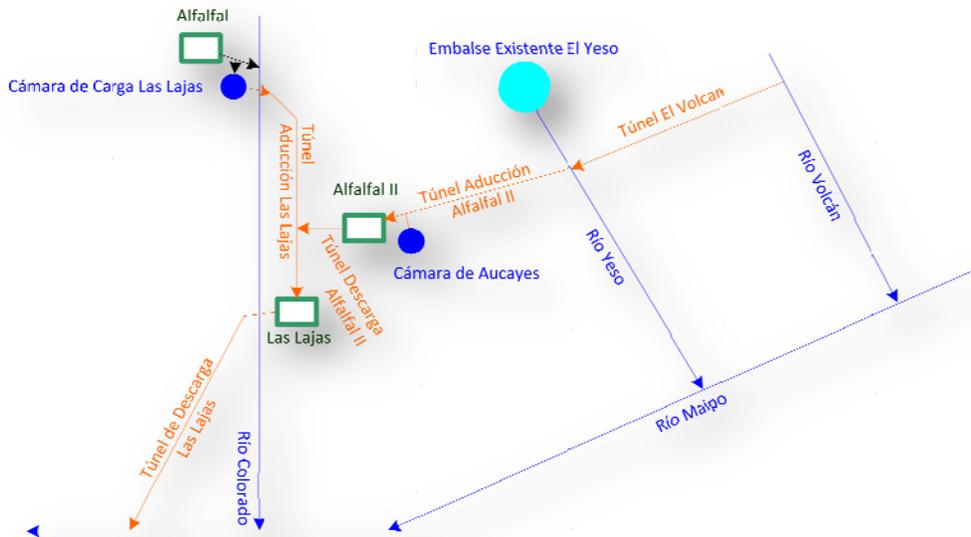
Figura 1 Emplazamiento general del PHAM



Fuente: AES Gener.

De manera esquemática, el PHAM contempla las siguientes obras generales:

Figura 2 Esquema general de las obras del PHAM



Fuente: AES Gener.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS DEL PHAM

Desde el punto de vista de la generación de emisiones, las principales fuentes de emisión se producirán durante la construcción del Proyecto debido al movimiento de tierras y el transporte de materiales y de trabajadores. En resumen, las obras y principales fuentes de generación de emisiones serán las siguientes:

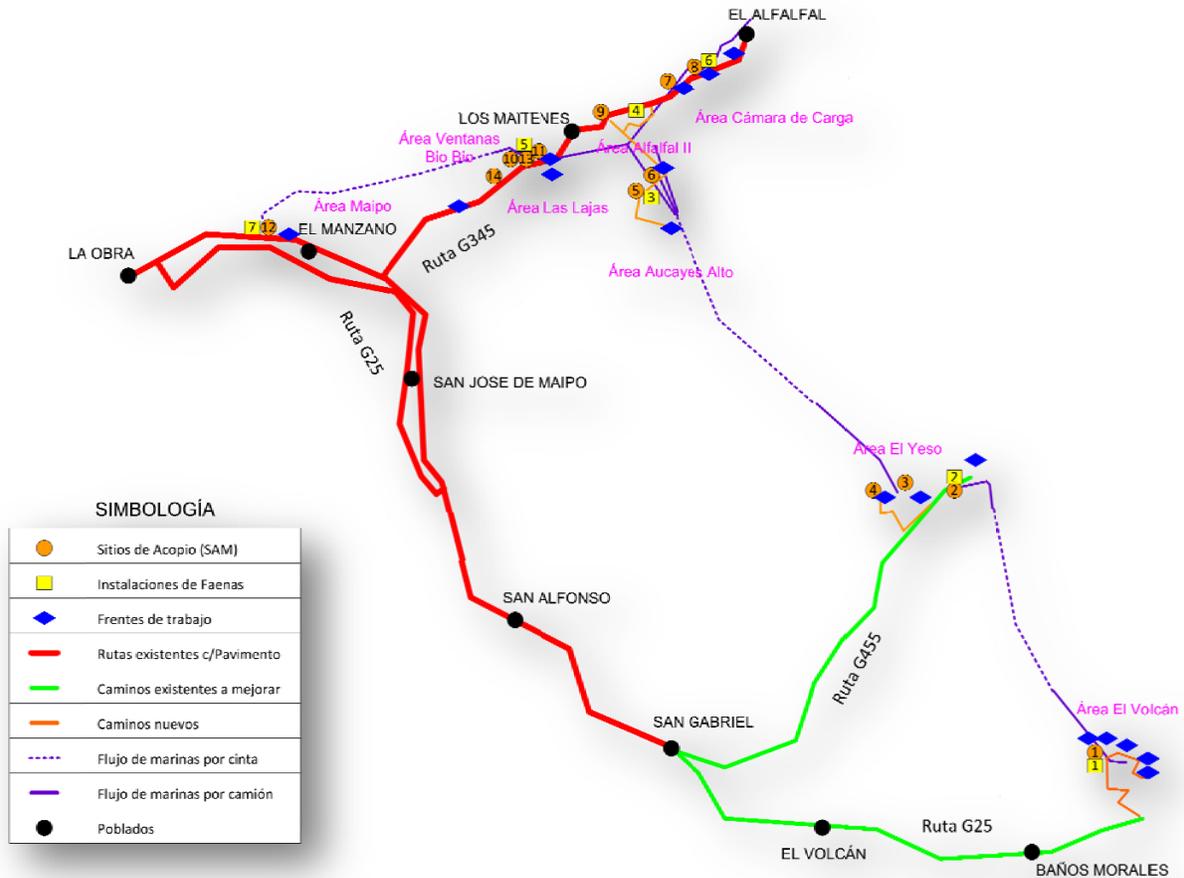
Tabla 2 Principales obras y fuentes de generación de emisiones del PHAM

| Obra/Instalación | Cantidad | Clasificación | Tipo de Fuente o actividad emisora | |
|-------------------------------------|----------|-----------------------------------|---|--|
| | | | Habilitación | Operación |
| Instalación de faenas y campamentos | 7 | Instalaciones de faenas (AAFF) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Escarpe superficial ▪ Carga y descarga de material | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Transporte de materiales y pasajeros |
| Nuevos Caminos | 4 | Caminos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Excavación ▪ Relleno ▪ Nivelación y Compactación | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Transporte de materiales y pasajeros |
| Nuevos Puentes | 4 | | | |
| Sifones | 3 | | | |
| Ductos de conexión captación-túnel | 5 | Ductos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Excavación ▪ Relleno ▪ Carga y descarga de material | - |
| Canales | 1 | | | - |
| Cámaras de carga | 2 | | | - |
| Sitios de acopio de marinas (SAM) | 14 | Sitios de acopio de marinas (SAM) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Escarpe superficial ▪ Nivelación ▪ Carga y descarga de material | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Descarga de material ▪ Relleno y Compactación |
| Túneles | 8 | Túneles | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Perforaciones en roca ▪ Tronaduras en roca ▪ Carga y descarga de material | - |
| Chimeneas de Equilibrio | 2 | | | - |
| Cavernas de Máquinas | 2 | | | - |
| Bocatomas | 5 | | | - |
| Obra de descarga | 3 | Obras Civiles (OCCC) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Escarpe superficial ▪ Carga y descarga de material | - |
| Subestación de 0,5 hás | 1 | | | - |

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por AES Gener.

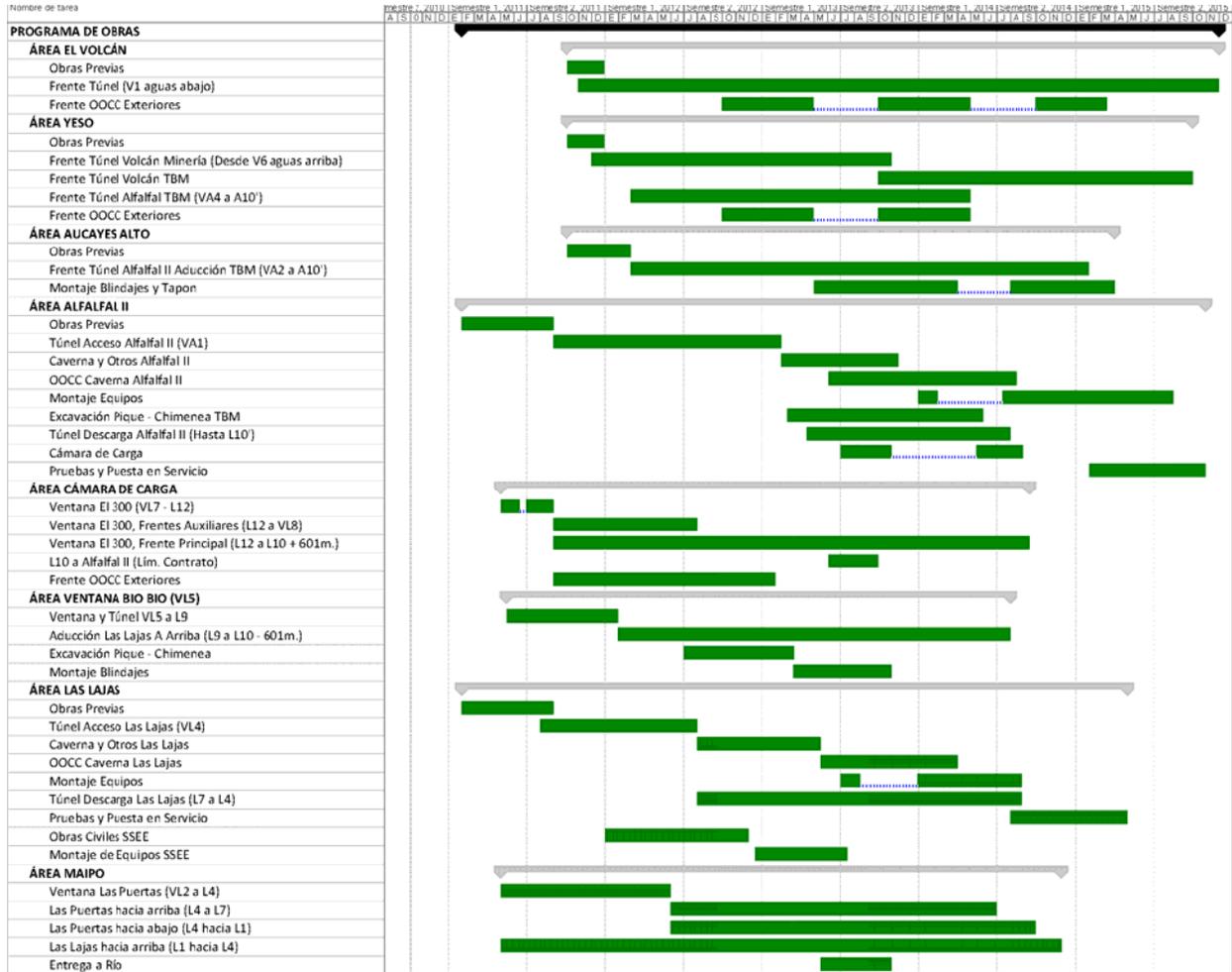
Geográficamente, estas obras se distribuirán como se indica en la Figura 3. Asimismo, desde un punto de vista temporal, la distribución de las obras se indica en el cronograma de la Figura 4.

Figura 3 Distribución geográfica de principales obras y fuentes de generación de emisiones del PHAM



Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por AES Gener.

Figura 4 Cronograma de principales obras del PHAM



Fuente: AES Gener.

4. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES

La ecuación general que permite estimar las emisiones atmosféricas generadas por el Proyecto de acuerdo a U.S. EPA, United State Environmental Protection Agency¹, es la siguiente:

Ecuación 1

$$E = e \times A \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

Donde:

- E: Emisión
- e: Factor de Emisión
- A: Actividad de la fuente
- ER: Eficiencia del Sistema de Control de emisiones, %

El Factor de Emisión “e” es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad, que depende del tipo de fuente y contaminante a considerar. Las ecuaciones que se muestran a continuación corresponden a las fórmulas de cálculo de los factores de emisión en función del tipo fuente y contaminante emitido.

Tabla 3 Factores de emisión de levantamiento de polvo (MP10) por movimiento de tierras

| Faena o actividad | Factor de emisión | Observación | Referencia |
|---------------------------------------|-------------------|--|---|
| Escarpe | Ecuación 2 | e: Factor en kg/VKT | [12] U.S. EPA, 1995 Sección 13.2.3, Tabla 13.2.3-1 |
| Excavación | Ecuación 3 | e: Factor en kg/h k: Factor de escala para MP10 s: Contenido de finos (%) M: Contenido de humedad (%) | [13] U.S. EPA, 1998 Sección 11.9, Tabla 11.9-2. |
| Perforaciones | Ecuación 4 | e: Factor en kg/Ton | [16] U.S. EPA, 2004b Sección 11.19, Tabla 11.19.2-1 |
| Tronaduras | Ecuación 5 | e: Factor en kg/tronadura | [20] U.S. EPA, 2009 Sección 15.9, Tabla 15.9.36-1 |
| Carga y descarga de materiales | Ecuación 6 | e: Factor en kg/T k: Constante empírica para MP10 U: Magnitud Promedio Viento (m/s) M: Contenido de humedad (%) | [17] U.S. EPA, 2006a Sección 13.2.4, Ecuación (1). |
| Transporte en correas transportadoras | Ecuación 7 | e: Factor en kg/Ton | [11] U.S. EPA, 1982 Sección 11.24, Tabla 11.24-1 |

¹ [1] AMBITRANS, 2008

| Faena o actividad | Factor de emisión | Observación | Referencia |
|---------------------------|-------------------|---|---|
| Nivelación y compactación | Ecuación 8 | e: Factor en g/VKT k: Constante empírica para MP10 S: Velocidad media del vehículo (km/h) | [13] U.S. EPA, 1998 Sección 11.9, Tabla 11.9-2. |

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

Tabla 4 Factores de emisión de levantamiento de polvo (MP10) por erosión del viento

| Actividad | Factor de emisión | Observación | Fuente |
|--|-------------------|---|-----------------|
| Erosión de zonas activas de los sitios de acopio de marina | Ecuación 9 | E: Emisión en (kg/día/ha) s: Contenido de finos (%) f: porcentaje de vientos cuya magnitud es superior a 5,36 m/s P: Días con precipitación mayor a 0,254 mm N: Días del período evaluado | [21] WRAP, 2006 |

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

Tabla 5 Factores de emisión de levantamiento de polvo (MP10) por Plantas de hormigonado

| Actividad | Factor de emisión | Observación | Fuente |
|--------------------------------|-------------------|--|--|
| Planta procesadora de hormigón | Ecuación 10 | E: Factor en kg/t k: Factor de escala MP10 a: Constante empírica para MP10 b: Constante empírica para MP10 c: Constante empírica para MP10 U: Viento promedio en la zona (m/s) M: Contenido mínimo de humedad insumos mezcla en% | [19] U.S. EPA, 2006c Ecuación 11.12-1. |

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

Tabla 6 Factores de levantamiento de polvo (MP10) por uso de caminos

| Actividad | Factor de emisión | Observación | Fuente |
|--------------------------------------|-------------------|--|--|
| Tránsito por caminos no pavimentados | Ecuación 11 | e: Factor en g/VKT k: Constante empírica para MP10 (lb/VMT) a: Constante empírica para MP10 b: Constante empírica para MP10 s: Contenido de finos (%) w: Peso medio del vehículo (Ton) P: Días con precipitación mayor a 0,254 mm durante período evaluado N: Días del período evaluado | [18] U.S. EPA, 2006b Sección 13.2.2, Ecuación 1a). |
| Tránsito por caminos pavimentados | Ecuación 12 | e: Factor en g/VKT k: Constante empírica para MP10 sL: Contenido de finos (g/m ²) W: Peso medio de los vehículos que transitan por la vía (T) C: Factor de emisión por desgaste (g/VKT) P: Días con precipitación mayor a 0,254 mm durante período evaluado N: Días del período evaluado | [18] U.S. EPA, 2006b Sección 13.2.1 Ecuación (2). |

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

Tabla 7 Factores de emisión de gases y partículas operación de vehículos y maquinarias motorizadas

| Actividad | Factor de emisión | Observación | Fuente |
|--|-------------------|--|--|
| Funcionamiento de motores de camiones | Ecuación 13 | e: Factor en gr/VKT V: Velocidad de recorrido (km/h) | [8] CONAMA RM, 2007 |
| Funcionamiento de motores de equipos y maquinarias | Ecuación 14 | e: Factor en gr/hp-hr EFss: Factor en estado estacionario gr/hp-hr TAF: Factor de ajuste por operación en régimen transiente DF: Factor de ajuste por deterioro del motor, adimensional | [15] U.S. EPA, 2004a página 6, ecuación 2. |

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

5. CÁLCULO DE LAS EMISIONES GENERADAS POR EL PROYECTO

Las principales emisiones generadas por el Proyecto corresponderán al material particulado respirable -MP10- producido por el levantamiento de polvo del movimiento de tierras, debido a las actividades de escarpe de las superficies a intervenir, excavaciones para caminos y ductos, rellenos y acopios de material. También se producirá levantamiento de polvo debido a las tronaduras y perforaciones de roca durante la construcción de túneles, cavernas y chimeneas, la exposición de pilas de acopio al viento, la operación de las plantas de hormigonado y el rodado de vehículos por caminos durante el transporte de materiales y trabajadores.

Además se generarán emisiones al aire de gases (hidrocarburos o compuestos orgánicos volátiles-HC-, monóxido de carbono – CO – y óxidos de nitrógeno – NO_x-), y de partículas – MP10 - desde los tubos de escape de las maquinarias y vehículos motorizados que operarán durante todo el período de construcción del Proyecto.

5.1 CONSIDERACIONES SOBRE LAS FUENTES DE EMISIÓN Y SU NIVEL DE ACTIVIDAD

Para efectos de caracterizar y dimensionar las distintas fuentes de emisión y su nivel de actividad se analizaron las obras del Proyecto, sus dimensiones, desarrollo en el tiempo y potencial generador de emisiones durante las faenas de construcción.

A continuación se resumen las principales consideraciones contempladas

5.1.1 Fuentes de emisión

En la siguiente tabla se distinguen las principales fuentes de emisión del Proyecto y el tipo de contaminante emitido.

Tabla 8 Fuentes de emisiones del Proyecto

| Fuente | Faena o actividad | Tipo de emisión |
|--|--|--|
| Movimiento de tierras | Escarpe de cubierta de suelo | Polvo (MP10) |
| | Excavación en suelo y roca | Polvo (MP10) |
| | Perforaciones en roca | Polvo (MP10) |
| | Tronaduras en roca | Polvo (MP10) |
| | Carga y descarga de materiales | Polvo (MP10) |
| Erosión del viento | Zonas activas de acopio en SAM | Polvo (MP10) |
| Uso de caminos | Transporte de insumos y excedentes en camiones | Polvo (MP10) |
| | Transporte de personal en camiones buses | Polvo (MP10) |
| | Tránsito de vehículos livianos de la obra | Polvo (MP10) |
| Operación de equipos y vehículos motorizados | Utilización de Equipos y maquinarias de faenas | Gases (CO, NO _x HCT) y MP10 |
| | Transporte de insumos y excedentes en camiones | Gases (CO, NO _x HCT) y MP10 |
| | Transporte de personal en camiones buses | Gases (CO, NO _x HCT) y MP10 |
| | Tránsito de vehículos livianos de la obra | Gases (CO, NO _x HCT) y MP10 |

Fuente: Elaboración propia.

La maquinaria y el detalle de a las faenas asociadas al levantamiento de polvo y se indican en las siguientes tablas:

Tabla 9 Maquinaria empleada para movimiento de suelo y rocas

| Maquinaria/equipo | N° | Faena | Obra o actividad asociada |
|---|----|--|--|
| Bulldozer  | 17 | Escarpe | <ul style="list-style-type: none"> Despeje de áreas de faenas Despeje de sitios de acopio de marinas Despeje de zonas de construcción de OCCC |
| Retroexcavadoras  | 7 | Excavación/Carga y Descarga | <ul style="list-style-type: none"> Excavación en caminos Excavación para instalación de ductos Excavación de cámara de carga |
| Cargador Frontal  | 20 | Carga y Descarga | <ul style="list-style-type: none"> Movimiento de excedentes de excavaciones Movimiento de rellenos para caminos Movimiento de marinas |
| Cintas transportadoras y carros  | 3 | Transporte de marinas al interior de los túneles | <ul style="list-style-type: none"> Movimiento de marinas |
| Motoniveladora  | 2 | Nivelación | <ul style="list-style-type: none"> Distribución de material de relleno en caminos y ductos |
| Rodillos Compactadores  | 2 | Compactación | <ul style="list-style-type: none"> Compactación de caminos Nivelación y compactación de sitios de acopios de marinas |

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por AES Gener S.A.

Tabla 10 Maquinaria empleada en perforación y tronaduras

| Maquinaria/equipo | N° | Faena | Obra o actividad relacionada |
|--|-----|--------------------------|--|
| Perforadoras manuales  | 32 | Perforación | <ul style="list-style-type: none"> Excavación de Túneles Excavación de cavernas Excavación de chimeneas |
| Perforadora sobre orugas  | 3 | Perforación | |
| Jumbo  | 12 | Perforación y excavación | |
| Maquinas tuneleras  | 3 | Perforación y excavación | |
| Explosivos  | n/d | Tronaduras | |

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por AES Gener S.A.

Tabla 11 Vehículos para transporte de materiales y trabajadores

| Vehículo | N° | Faena/Actividad |
|--|----|---|
| Camiones Tolva  | 18 | <ul style="list-style-type: none"> Transporte de excedentes de excavación Transporte de marinas Transporte de áridos |
| Camiones Betoneras  | 16 | <ul style="list-style-type: none"> Transporte de hormigón |
| Camiones Aljibes  | 2 | <ul style="list-style-type: none"> Transporte de agua |
| Camiones Tanque  | 2 | <ul style="list-style-type: none"> Transporte de combustible |

| Vehículo | N° | Faena/Actividad |
|---|----|--|
| Camiones Medianos  | 7 | ▪ Transporte de materiales (misceláneos) |
| Buses  | 9 | ▪ Transporte de trabajadores |
| Camionetas  | 7 | ▪ Transporte de trabajadores |

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por AES Gener S.A.

5.1.2 Obras y actividades del Proyecto

En el Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones de esta memoria, se incluye una base de datos con las especificaciones de cada obra a construir, indicándose: el sector de ubicación, el tipo y la obra a construir, el tiempo de construcción empleado, las dimensiones físicas de la obra, los volúmenes generados de movimiento de tierras y marinas (roca fracturada), el tiempo involucrado en este tipo de faenas, sí como los niveles de actividad de las otras faenas de construcción para cada obra.

Las obras consideradas y su distribución en el tiempo se muestran a continuación:

Tabla 12 Obras y actividades del PHAM

| Obra | Duración (meses) | | | | | |
|---|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 10 | 12 | 12 | 12 | 11 | |
| Obras Previas | 5 | | | | | |
| Camino a Obras Sector Túnel Volcán | 3 | | | | | |
| Habilitación SAM N°1 | 1 | | | | | |
| Instalación AAFF 1 | 1 | | | | | |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 5 | 12 | 12 | 12 | 11 | |
| Operación SAM N°1 | 3 | 12 | 12 | 12 | 11 | |
| Túnel (V1 aguas abajo) | 2 | 12 | 12 | 12 | 11 | |
| Obras Civiles | | 3 | 7 | 7 | 3 | |
| Acueducto El Volcán (Incluye Tramo La Engorda -Colina Y Sifón Morado) | | 3 | 7 | 7 | 3 | |
| Bocatomas (El morado, Colina, La Engorda, Las Placas) | | 3 | 7 | 7 | 3 | |
| Desarenador El Volcán | | 3 | 7 | 7 | 3 | |
| Operación Planta de Hormigón | | 3 | 7 | 7 | 3 | |
| Área Yeso | 10 | 12 | 12 | 12 | 9 | |
| Obras Previas | 5 | 1 | | | | |
| Camino Acceso a VA4 (Entrada Túnel Alfalfal II) | 3 | | | | | |
| Habilitación SAM N°2 | 1 | | | | | |
| Habilitación SAM N°3 | | 1 | | | | |
| Habilitación SAM N°4 | | 1 | | | | |
| Instalación AAFF 2 | 1 | | | | | |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 2 | 12 | 12 | 12 | 9 | |
| Operación SAM N°2 | 1 | 12 | 10 | | | |
| Operación SAM N°3 | | 3 | 12 | 4 | | |
| Operación SAM N°4 | | 10 | 12 | 4 | | |
| Sifón río Yeso | | 3 | 12 | 4 | | |
| Túnel Alfalfal TBM (VA4 a A10') | | 10 | 12 | 4 | | |
| Túnel Volcán Minería (Desde V6 aguas arriba) | 1 | 12 | 10 | | | |
| Túnel Volcán TBM | | | 3 | 12 | 9 | |
| Obras Civiles | 3 | 3 | 7 | 4 | | |
| Bocatoma El Yeso | | 3 | 7 | 4 | | |
| Conducción Captación Río Yeso A Conducción El Volcán | | 3 | 7 | 4 | | |
| Obras de descarga al Río Yeso | | 3 | 7 | 4 | | |
| Operación Planta de Hormigón | | 3 | 7 | 4 | | |

| Obra | Duración (meses) | | | | | |
|--|------------------|-----------|-----------|-----------|----------|------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Puente Manzanito | 3 | | | | | |
| Puente Río Yeso | | 3 | 7 | 4 | | |
| Área Aucayes Alto | 33 | 12 | 12 | 12 | 1 | |
| Obras Previas | 5 | 2 | | | | |
| Camino Acceso a VA2 (Aucayes Alto) | 3 | 2 | | | | |
| Habilitación SAM N°5 | 1 | | | | | |
| Habilitación SAM N°6 | 1 | | | | | |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 14 | 12 | 12 | 12 | 1 | |
| Operación SAM N°5 | 11 | 12 | 12 | 12 | 1 | |
| Operación SAM N°6 | 3 | 2 | | | | |
| Túnel Alfalfal II Aducción TBM (VA2 a A10') | | 10 | 12 | 12 | 1 | |
| Obras Cíviles | 14 | 12 | 12 | 12 | 1 | |
| Operación Planta de Hormigón | 11 | 12 | 12 | 12 | 1 | |
| Puente Aucayes | 3 | 2 | | | | |
| Área Alfalfal II | 30 | 12 | 12 | 12 | 1 | |
| Obras Previas | 22 | | | | | |
| Camino a Cámara de Carga Alfalfal II | 7 | | | | | |
| Camino Acceso a Deposito de Marina desde VA1 | 7 | | | | | |
| Camino Acceso Central Alfalfal II (VA1) | 7 | | | | | |
| Habilitación SAM N°9 | 1 | | | | | |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 8 | 12 | 12 | 12 | 1 | |
| Cámara de Carga | | | 5 | 4 | | |
| Caverna y Otros Alfalfal II | | | 9 | | | |
| Excavación Pique - Chimenea TBM | | | 10 | 5 | | |
| Obras Cíviles Caverna Alfalfal II | | | 7 | 8 | | |
| Operación SAM N°9 | 4 | 12 | 12 | 12 | 1 | |
| Túnel Acceso Alfalfal II (VA1) | 4 | 12 | 2 | | | |
| Túnel Descarga Alfalfal II (Hasta L10') | | | 9 | 7 | | |
| Área Las Lajas-Maipo | 158 | 12 | 12 | 11 | | |
| Obras Previas | 20 | 1 | | | | |
| Camino Acceso a Central Las Lajas | 7 | | | | | |
| Camino Acceso a VL5 | 7 | | | | | |
| Habilitación SAM N°10 | 1 | | | | | |
| Habilitación SAM N°11 | 1 | | | | | |
| Habilitación SAM N°12 | | 1 | | | | |
| Habilitación SAM N°13 | 1 | | | | | |
| Habilitación SAM N°14 | 1 | | | | | |
| Habilitación SAM N°7 | 1 | | | | | |
| Habilitación SAM N°8 | | 1 | | | | |
| Instalación AAFF 7 | 1 | | | | | |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 79 | 12 | 12 | 11 | | |
| Aducción Las Lajas A Arriba (L9 a L10 - 601m.) | | 11 | 12 | 7 | | |
| Caverna y Otros Las Lajas | | 5 | 5 | | | |
| Excavación Pique - Chimenea L10 a Alfalfal II | | 6 | 3 | | | |
| Las Lajas hacia arriba (L1 hacia L4) | 8 | 12 | 12 | 11 | | |
| Las Puertas hacia abajo (L4 hacia L1) | | 7 | 12 | 9 | | |
| Las Puertas hacia arriba (L4 a L7) | | 7 | 12 | 6 | | |
| Operación SAM N°10 | 8 | 1 | | | | |
| Operación SAM N°11 | 8 | 7 | | | | |
| Operación SAM N°12 | | 5 | 12 | 8 | | |
| Operación SAM N°13 | 11 | 7 | | | | |
| Operación SAM N°14 | 8 | 7 | | | | |
| Operación SAM N°7 | 4 | | | | | |
| Operación SAM N°8 | | 11 | 12 | 7 | | |
| Túnel Acceso Las Lajas (VL4) | 5 | 7 | | | | |
| Túnel Descarga Las Lajas (L7 a L4) | | 5 | 12 | 8 | | |
| Ventana El 300 (VL7 - L12) | 3 | | | | | |
| Ventana El 300, Frente Principal (L12 a L10 + 601m.) | 4 | 12 | 12 | 8 | | |
| Ventana El 300, Frentes Auxiliares (L12 a VL8) | 4 | 7 | | | | |
| Ventana Las Puertas (VL2 a L4) | 8 | 5 | | | | |

| Obra | Duración (meses) | | | | | |
|--|------------------|-----------|-----------|-----------|------|------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Ventana y Túnel VL5 a L9 | 8 | 1 | | | | |
| Obras Civiles | 59 | 12 | 12 | 11 | | |
| Montaje Torres y Líneas | | 11 | 12 | | | |
| Obra De Descarga Y Defensas Fluviales En Río Maipo | | | 6 | | | |
| Obras Civiles Cámara Carga Las Lajas | 4 | 12 | 1 | | | |
| Obras Civiles Caverna Las Lajas | | | 8 | 3 | | |
| Obras Civiles sector Río Colorado | | | 8 | 3 | | |
| Obras Civiles SSEE | | 11 | | | | |
| Planta Hormigón Portal acceso a Central Las Lajas VL4 | 8 | 12 | 12 | 11 | | |
| Planta Hormigón Portal Túnel Las Lajas L1 (Descarga río Maipo) | 8 | 12 | 12 | 11 | | |
| Planta Hormigón Portal Túnel Las Lajas VL7 | 8 | 12 | 12 | 11 | | |
| Planta Hormigón Portal Túnel Las Lajas VL8 | 8 | 12 | 12 | 11 | | |
| Planta Hormigón Portal Ventana Las Puertas VL2 | 8 | 12 | 12 | 11 | | |
| Planta Hormigón Portal Ventana Túnel Las Lajas VL5 | 8 | 12 | 12 | 11 | | |
| Puente Río Colorado | 7 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por AES Gener S.A.

i) Generación de excedentes del movimiento de tierras

El nivel de actividad del movimiento de tierras está determinado por los volúmenes de suelo y roca necesarios de extraer para las obras, la utilización de parte de éstos para rellenos y la disposición de los excedentes que se generen como resultado de estos trabajos.

Las principales obras que influyen en el volumen del movimiento de tierras son la construcción de caminos y ductos, y la construcción de túneles y cavernas, en el caso de las marinas. En menor medida se producirán movimientos de tierra asociados al despeje superficial (escarpe) para la habilitación de áreas de faenas, sitios de acopio de marinas y construcción de obras civiles.

El balance de movimientos de tierra y marinas del Proyecto se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 13 Balance general de generación de excedentes y marinas

| Movimiento | Área Volcán | Área Yeso | Área Aucayes Alto | Área Alfalfa II | Área Las Lajas | Total |
|------------------------------|----------------|----------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Escarpe | 4.418 | 14.763 | 13.611 | 13.468 | 34.732 | 80.992 |
| Excavaciones | 133.998 | 99.997 | 164.997 | 405.687 | 25.186 | 829.865 |
| Rellenos | -32.000 | -40.000 | -5.000 | -32.000 | -4.000 | -113.000 |
| Carpetas granulares | -10.811 | -7.900 | -7.100 | -29.314 | -1.290 | -56.415 |
| Marinas | 107.765 | 293.690 | 287.619 | 461.755 | 946.700 | 2.097.529 |
| Excedentes a disponer | 203.370 | 360.550 | 454.127 | 819.596 | 1.001.328 | 2.838.971 |

Fuente: Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por AES Gener S.A. y [3] ARCADIS, 2008b.

ii) Insumos para las obras

La demanda de insumos para las obras tiene su principal influencia en las emisiones derivadas de su transporte desde los lugares de abastecimiento hasta las áreas de faenas y frentes de trabajo. Los insumos corresponden principalmente a combustible para la maquinaria y vehículos, y materiales para la construcción de las obras civiles.

Las cantidades de insumos requeridos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 14 Insumos requeridos para las obras

| Insumo | Área Volcán | Área Yeso | Área Aucayes Alto | Alfalfal II | Área Las Lajas | Total |
|---------------------------|-------------|-----------|-------------------|-------------|----------------|---------|
| Combustibles | 400 | 400 | 200 | 1.200 | 800 | 3.000 |
| Acero y pernos de anclaje | 1.000 | 1.000 | 300 | 1.600 | 900 | 4.800 |
| Cemento | 12.000 | 10.000 | 12.000 | 24.000 | 28.000 | 86.000 |
| Áridos Complementarios | 0 | 0 | 5.000 | 20.000 | 80.000 | 105.000 |
| Madera | 300 | 700 | 50 | 900 | 250 | 2.200 |
| Tubos de Acero | 200 | 1.600 | 0 | 3.000 | 1.200 | 6.000 |
| Tubos de Hormigón | 5.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.000 |
| Otras Cargas Varias | 1.750 | 1.200 | 1.300 | 3.000 | 2.750 | 10.000 |

Fuente: [1] AMBITRANS, 2008.

iii) Número de trabajadores

El número de trabajadores que se emplearán durante la construcción del Proyecto demandará la provisión de facilidades de transporte desde los puntos de acercamiento a los campamentos en el sitio de Proyecto, produciendo emisiones de los buses y vehículos de trabajo en obra.

La demanda de transporte de trabajadores y flujo de vehículos livianos en la obra se presentan a continuación:

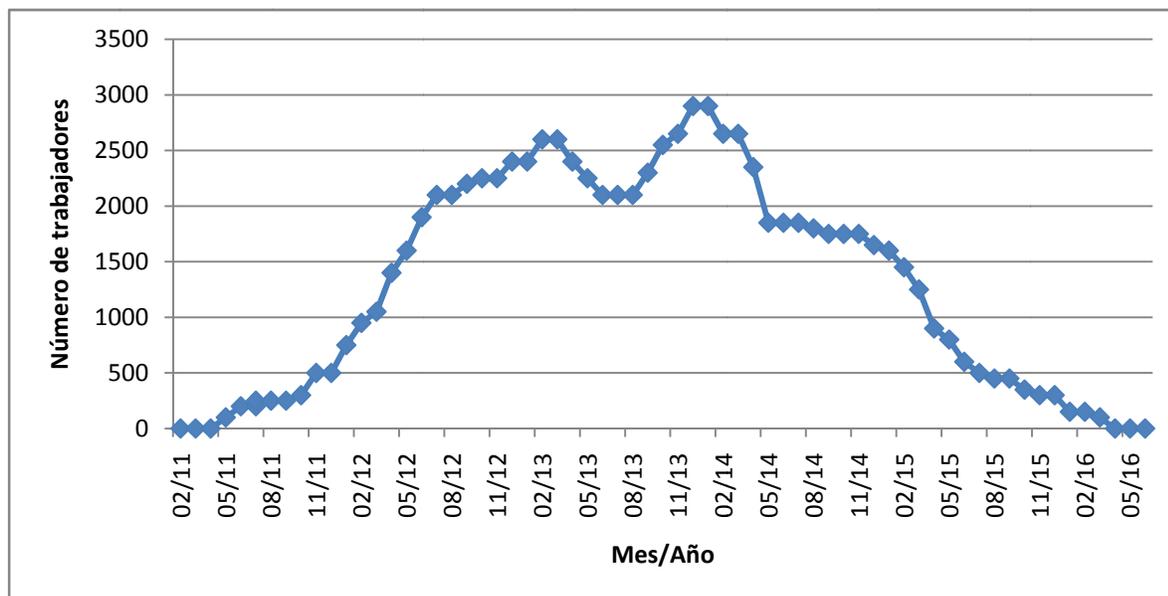
Tabla 15 Demanda de transporte de trabajadores y flujo de vehículos livianos del Proyecto

| Demanda de transporte | Área Volcán | Área Yeso | Área Aucayes Alto | Área Alfalfal II | Área Las Lajas |
|---------------------------------------|-------------|-----------|-------------------|------------------|----------------|
| Pasajeros (pasajero/mes) | 267 | 587 | 160 | 960 | 880 |
| Flujo de buses (bus/mes) | 7 | 15 | 4 | 24 | 22 |
| Flujo de vehículos livianos (veh/mes) | 60 | 60 | 60 | 60 | 120 |

Fuente: Elaboración propia en base a [1] AMBITRANS, 2008.

Por su parte, el número de trabajadores para todo el período de construcción se indica a continuación:

Figura 5 Curva ocupacional del Proyecto.



Fuente: Figura 4. Adenda 1[3] ARCADIS, 2008b

5.2 CALCULO DE EMISIONES

5.2.1 Levantamiento de polvo (MP10) por Movimiento de Tierras

Para estimar las emisiones asociadas al movimiento de tierras se emplearán los correspondientes factores de emisión que se presentan en las ecuaciones de la Tabla 3, y el nivel de actividad a calcular para cada faena específica.

La estimación del nivel de actividad y el cálculo de los factores de emisión para cada faena o fuente y las correspondientes emisiones se presentan a continuación.

i) Escarpe de áreas a intervenir

Las faenas de escarpe corresponden a la remoción de material superficial del terreno donde se construirán las obras civiles superficiales, se emplazarán las áreas de faenas y se habilitarán los sitios de acopio de marinas.

A continuación se expone el cálculo del nivel de actividad asociado y de las emisiones respectivas.

ia) *Nivel de actividad*

El nivel de actividad de esta faena está determinado por los kilómetros totales recorridos (VKT) por la maquinaria al desempeñar esta labor.

Para calcular los VKT se empleó la superficie a escarpar y el ancho efectivo de escarpe, que depende de la capacidad de arrastre de la maquinaria. En este caso, se ha considerado que el ancho de la pala del bulldozer es de 3 metros con una capacidad efectiva de arrastre de 2,5 metros de ancho².

De acuerdo a lo anterior, y resumiendo los cálculos que se presentan en detalle en el Anexo de esta Memoria, continuación se indica el nivel de actividad de las faenas de escarpe y su distribución en el tiempo.

Figura 6 Nivel de actividad de faenas de escarpe

| Sector/Tipo obra | Nivel de actividad VKT | Duración faenas de escarpe (meses) | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|------|----------|------|------|------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 31,6 | 1 | 1 | | | | |
| Obras Previas | 18,8 | 1 | | | | | |
| Obras Civiles | 12,9 | | 1 | | | | |
| Área Yeso | 74,7 | 1 | 1 | | | | |
| Obras Previas | 46,4 | 1 | 1 | | | | |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 17,0 | | 1 | | | | |
| Obras Civiles | 11,4 | | 1 | | | | |
| Área Aucayes Alto | 37,7 | 1 | | | | | |
| Obras Previas | 37,7 | 1 | | | | | |
| Área Alfalfa II | 44,5 | 1 | | | | | |
| Obras Previas | 44,5 | 1 | | | | | |
| Área Las Lajas-Maipo | 190,9 | 1 | | 1 | | | |
| Obras Previas | 83,7 | 1 | 1 | | | | |
| Obras Civiles | 107,2 | 1 | 1 | 1 | | | |
| Total general | 379,3 | 1 | | 1 | | | |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Escarpe” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

ib) Factor de emisión

De acuerdo a la Ecuación 2 de la Tabla 3, el factor de emisión de escarpes es de **5,7 kilogramos de material particulado por VKT**.

ic) Cálculo de emisiones

Con el nivel de actividad calculado y el factor de emisión correspondiente se estimó la emisión asociada al escarpe en toneladas por año. Los resultados se observan en la siguiente tabla.

² La dimensión de la pala varía normalmente entre 100 y 450 cm de ancho, dependiendo del modelo de la máquina. Se ha supuesto que la capacidad efectiva de remoción de la máquina considera un factor de pérdida de arrastre de un 17% respecto del ancho de la pala.

Tabla 16 Emisiones por levantamiento de polvo (MP10) de faenas de escarpe en toneladas por año

| Sector/Tipo obra | E(ton) | E (ton/año) | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|------|------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,11 | 0,11 | | | | | |
| Obras Civiles | 0,07 | | 0,07 | | | | |
| Área Yeso | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,26 | 0,13 | 0,13 | | | | |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 0,10 | | 0,10 | | | | |
| Obras Civiles | 0,06 | | 0,06 | | | | |
| Área Aucayes Alto | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,21 | 0,21 | | | | | |
| Área Alfalfal II | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,25 | 0,25 | | | | | |
| Área Las Lajas-Maipo | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,48 | 0,24 | 0,24 | | | | |
| Obras Civiles | 0,61 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | | | |
| Total general | 2,16 | 0,25 | 0,24 | 0,20 | | | |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Escarpe” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

ii) Excavación en suelo y roca

Las faenas de excavación se producirán durante la construcción de caminos y para la instalación de ductos y construcción de la cámara de carga Las Lajas. A continuación se presentan los resultados y las consideraciones de los cálculos efectuados.

iii) *Nivel de actividad*

La principal maquinaria que se empleará serán retroexcavadoras cuyo rendimiento de extracción promedio será de 100 m³ de material por hora³. Considerando este factor y la cantidad de material a remover, se estimó el nivel de actividad para las faenas de excavación, en horas requeridas mensuales (Tabla 17).

³ Dato proporcionado por el Titular. Dependiendo del tamaño y modelo de la retroexcavadora, las tasas de productividad varían entre 50 m³/h y 1000 m³/h. En este sentido, el valor adoptado es conservador.

Tabla 17 Niveles de actividad de las excavaciones

| Sector/Tipo obra | Tiempo de excavación (h) | | Duración de las faenas de excavación (meses) | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|--------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| | En Suelo | En Roca | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 1.805 | 140 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Obras Previas | 1.200 | 140 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 0 | 0 | | | | | | |
| Obras Civiles | 605 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Área Yeso | 2.521 | 100 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Obras Previas | 900 | 100 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 952 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Obras Civiles | 669 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Área Aucayes Alto | 1.450 | 200 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Obras Previas | 1450 | 200 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 0 | 0 | | | | | | |
| Obras Civiles | 0 | 0 | | | | | | |
| Área Alfalfal II | 2.597 | 1.460 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Obras Previas | 2597 | 1460 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 0 | 0 | | | | | | |
| Área Las Lajas-Maipo | 5.188 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Obras Previas | 251 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 0 | 0 | | | | | | |
| Obras Civiles | 4938 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Total general | 13.561 | 1.901 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Excavación” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

ii) Factor de emisión

Los parámetros de cálculo del factor de emisión para excavaciones (ver “excavación” en la Tabla 3, página 8) son los siguientes:

Tabla 18 Información base para el cálculo del factor de emisión para excavaciones

| Parámetro | Descripción | Unidad | Valor | Referencia |
|-----------|---------------------------------------|--------|-------|----------------------------------|
| k | Factor de escala para MP10 | - | 0,75 | [13] U.S. EPA, 1998 Tabla 11.9-2 |
| s | Contenido de finos (suelo) | % | 10 | [8] CONAMA RM, 2007 |
| | Contenido de finos (roca) | % | 4 | [14] U.S. EPA, 2003 |
| M | Contenido de humedad material (suelo) | % | 2,5 | [8] CONAMA RM, 2007 |
| | Contenido de humedad material (roca) | % | 1,8 | [14] U.S. EPA, 2003, tabla 1 |

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

Utilizando esta información en la fórmula de cálculo de la Ecuación 3 (Tabla 3, página 8), se obtiene el factor de emisión para las faenas de excavación, equivalente a **3,0 y 1,2 kilogramos de material particulado por hora, para suelo y roca, respectivamente.**

iii) Cálculo de emisiones

Empleando la información anterior, los resultados de la estimación de las emisiones producidas durante las faenas de excavación se presentan a continuación en la Tabla 19.

Tabla 19 Emisiones producidas por levantamiento de polvo (MP10) de faenas de excavación, en toneladas por año

| Sector/Tipo obra | E(ton) | E (ton/año) | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|------|------|------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | | | | | | | |
| Obras Previas | 3,7 | 3,7 | | | | | |
| Obras Civiles | 1,8 | | 1,8 | | | | |
| Área Yeso | | | | | | | |
| Obras Previas | 2,8 | 1,4 | 1,4 | | | | |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 2,8 | | 2,8 | | | | |
| Obras Civiles | 2,0 | | 2,0 | | | | |
| Área Aucayes Alto | | | | | | | |
| Obras Previas | 4,5 | 4,5 | | | | | |
| Área Alfalfal II | | | | | | | |
| Obras Previas | 9,4 | 9,4 | | | | | |
| Área Las Lajas-Maipo | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,7 | 0,4 | 0,4 | | | | |
| Obras Civiles | 14,6 | 4,9 | 4,9 | 4,9 | | | |
| Total general | 42,4 | 24,3 | 13,2 | 4,9 | | | |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Excavación” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

iii) Perforación y voladura de roca

En la construcción de túneles se utilizará el método de perforación dadas las características de composición del material rocoso. El método de perforación utilizado será en avanzada con barrenos y voladuras controladas.

Es importante señalar que la perforación se efectuará en forma subterránea y no tendrá un efecto significativo en las emisiones al aire. Sin embargo, puesto que no es posible precisar el nivel de levantamiento de polvo que efectivamente se transferirá a la superficie, de manera conservadora se ha considerado este ítem como si las emisiones de la totalidad de las faenas de perforación se produjesen en superficie.

iiia) *Nivel de actividad*

El nivel de actividad de la perforación mediante barrenos se ha estimado a partir del volumen de material rocoso extraído de los túneles, chimeneas y cavernas usando este método. En el caso de las voladuras, el nivel de actividad está dado por el número de tronaduras empleadas para la perforación.

La proporción de roca excavada mediante barrenos y voladuras se ha estimado, a partir de las longitudes y áreas de perforación de estas obras en los distintos sectores⁴.

A partir de esta información y considerando la cantidad de marinas generadas por sector (ver Tabla 13, página 15) se calcularon los volúmenes generados por cada uno de estos métodos y su distribución en el tiempo en cada obra involucrada.

⁴ Ver [2] ARCADIS, 2008a: Tabla 2.2.5 del EIA y Tabla 15 del Adenda 2

En el caso de la perforación por voladura, se ha calculado el rendimiento teórico de remoción de material en cada tronadura, tomado como referencia la perforación del túnel Las Lajas que se efectuará únicamente utilizando este método. Para ello, se ha considerando que cada uno de estos eventos permite efectuar una perforación de diámetro equivalente al de, al menos, la mitad de la sección del túnel, con un avance correspondiente a dicha distancia. La siguiente tabla muestra los resultados de este cálculo.

Tabla 20 Rendimiento de tronaduras a ejecutar para perforación por voladura controlada

| Parámetro | Unidad | Valor | Referencia |
|--|---------------------|-----------|--|
| Área sección Túnel Las Lajas | m ² | 30 | [2] ARCADIS, 2008a: Tabla 15 del Adenda 2. |
| Avance =diámetro ½ sección de túnel | m/tronadura | 3 | Estimación propia |
| Longitud Túnel Las Lajas | km | 10,6 | [2] ARCADIS, 2008a: Tabla 15 del Adenda 2. |
| Nº tronaduras totales | un | 3.430 | Estimación propia |
| Marinas generadas por perforación del Túnel Las Lajas(2) | m ³ | 175.643 | [3] ARCADIS, 2008b |
| Rendimiento adoptado | m3/tronadura | 51 | |

Fuente: Elaboración propia en base a referencias citadas.

A partir de estas consideraciones, el cálculo del nivel de actividad de la perforación mediante barrenos y voladuras se presenta a continuación. El detalle de este cálculo puede ser consultado en el Anexo de esta Memoria.

Tabla 21 Nivel de actividad de la perforación mediante barrenos expresado en toneladas, y de voladuras controladas, expresadas en N° de tronaduras.

| Sector | Perforación voladura (N° de Tronaduras) | Volumen de Perforación barreno (t) | Duración de las faenas de perforación (meses) | | | | | |
|----------------------|---|------------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 2.105 | - | 2 | 12 | 12 | 12 | 11 | - |
| Área Yeso | 1.514 | 562.007 | 1 | 12 | 12 | 12 | 9 | - |
| Área Aucayes Alto | - | 710.993 | - | 10 | 12 | 12 | 1 | - |
| Área Alfalfa II | 5.865 | - | 4 | 12 | 10 | 7 | - | - |
| Área Las Lajas-Maipo | 21.921 | - | 8 | 12 | 12 | 11 | - | - |
| Total general | 31.405 | 1.273.000 | 8 | 12 | 12 | 12 | 11 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Perforación” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

iiib) Factor de emisión

De acuerdo a la fórmula de cálculo de la Ecuación 4 (Tabla 3, página 8), se obtiene el factor de emisión para las faenas de perforación por barreno, equivalente a **4*10⁻⁵ kilogramos de material particulado por tonelada de material generado.**

Por su parte, de la Ecuación 6 (Tabla 3, página 8), se obtiene el factor de emisión para las faenas de perforación por voladura controlada, equivalente a **$2 \cdot 10^{-4}$ kilogramos de material particulado por tronadura ejecutada.**

iii) *Cálculo de emisiones*

A partir de esta información se calcularon las emisiones correspondientes a cada método de perforación, con los siguientes resultados:

Tabla 22 Emisiones por levantamiento de polvo (MP10) de faenas de perforación en toneladas/año

| Sector | E(ton) | | E ambos métodos(ton/año) | | | | | |
|----------------------|---------------|---------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|
| | Voladura | Barreno | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 0,0004 | - | 0,0000 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | - |
| Área Yeso | 0,0003 | 0,0225 | 0,0005 | 0,0059 | 0,0059 | 0,0059 | 0,0044 | - |
| Área Aucayes Alto | - | 0,0284 | - | 0,0081 | 0,0098 | 0,0098 | 0,0008 | - |
| Área Alfalfa II | 0,0010 | - | 0,0001 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0002 | - | - |
| Área Las Lajas-Maipo | 0,0037 | - | 0,0007 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0009 | - | - |
| Total general | 0,0053 | 0,0509 | 0,0013 | 0,0155 | 0,0171 | 0,0169 | 0,0053 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Perforación” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

iv) Carga y Descarga de material

La carga y descarga de material se generará por la carga y descarga de excedentes del movimiento de tierras y marinas en el origen (frentes de trabajo) y en el destino (sitios de acopio de marinas). Estos movimientos de material dependerán de cada obra y su ejecución en el tiempo.

iva) *Nivel de actividad*

El nivel de actividad de las faenas de carga y descarga de material corresponde al volumen de material a remover en cada una de las obras, expresado en toneladas. De acuerdo a los volúmenes indicados en la Tabla 13 (página 15) y el cronograma de la figura anterior, se calculó el nivel de actividad considerando una densidad⁵ del suelo 1,6 de t/m³, y de marinas y roca de 2,6 ton/m³.

Los resultados de este cálculo se muestran a continuación:

⁵ Estos valores corresponden a datos proporcionados por el Titular y consignados en [4] ARCADIS, 2008c.

Tabla 23 Cantidad de material a remover en las faenas de movimiento de tierras (excedentes), expresado en toneladas.

| Sector/tipo de obra | Excedentes a remover (t) | Duración de las faenas de Carga y Descarga de excedentes (meses) | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 85.940 | 1 | 1 | - | - | - | - |
| Obras Previas | 9.631 | 1 | - | - | - | - | - |
| Obras Civiles | 76.309 | - | 1 | - | - | - | - |
| Área Yeso | 158.480 | 1 | 1 | - | - | - | - |
| Obras Previas | 28.171 | 1 | 1 | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 64.732 | - | 1 | - | - | - | - |
| Obras Civiles | 65.578 | - | 1 | - | - | - | - |
| Área Aucayes Alto | 21.037 | 1 | - | - | - | - | - |
| Obras Previas | 21.037 | 1 | - | - | - | - | - |
| Área Alfalfal II | 24.880 | 1 | - | - | - | - | - |
| Obras Previas | 24.880 | 1 | - | - | - | - | - |
| Área Las Lajas-Maipo | 161.392 | 1 | 1 | 1 | - | - | - |
| Obras Previas | 53.739 | 1 | 1 | - | - | - | - |
| Obras Civiles | 107.653 | 1 | 1 | 1 | - | - | - |
| Total general | 451.729 | 1 | 1 | 1 | - | - | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “C&D” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Tabla 24 Cantidad de material a remover en las faenas de perforación de roca (marinas), expresado en toneladas.

| Sector | Marinas a remover (t) | Duración de las faenas de Carga y Descarga de marinas (meses) | | | | | |
|----------------------|-----------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 280.189 | 2 | 12 | 12 | 12 | 11 | - |
| Área Yeso | 763.594 | 1 | 12 | 12 | 12 | 9 | - |
| Área Aucayes Alto | 710.993 | - | 10 | 12 | 12 | 1 | - |
| Área Alfalfal II | 780.707 | 4 | 12 | 10 | 7 | - | - |
| Área Las Lajas-Maipo | 2.918.092 | 8 | 12 | 12 | 11 | - | - |
| Total general | 5.453.575 | 8 | 12 | 12 | 12 | 11 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “C&D” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

inv) Factor de emisión

Los parámetros de cálculo del factor de emisión para carga y descarga de materiales (ver “carga y descarga” en la Tabla 3, página 8) son los siguientes:

Tabla 25 Información base para el cálculo del factor de emisión para carga y descarga de material

| Parámetro | Descripción | Unidad | Valor | Referencia |
|-----------|------------------------------------|--------|-------|--|
| k | Factor de Escala para MP10 | - | 0,35 | [17] U.S. EPA, 2006a Tabla 13.2.4-3 |
| M | Contenido de humedad de excedentes | % | 2,5 | [8] CONAMA RM, 2007 |
| | Contenido de humedad de marinas | % | 1,8 | [14] U.S. EPA, 2003, tabla 1 |
| U | Velocidad media del viento | m/s | 3,36 | Promedio datos estación El Manzano de la Red del CENMA, período 2000-2009 ⁽¹⁾ |

Nota (1): Esta velocidad promedio es representativa de la zona evaluada, no presentando variaciones significativas entre las estaciones de la red CENMA de la Región Metropolitana (<http://www.conama.cl/rm/airviro/redcenma/>).

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

Utilizando esta información en la fórmula de cálculo de la Ecuación 6 (Tabla 3, página 8), se obtiene el factor de emisión para las faenas de carga y descarga, equivalente a $7 \cdot 10^{-4}$ y $1,1 \cdot 10^{-3}$ kilogramos de material particulado por tonelada de material cargado o descargado, de excedentes y marinas, respectivamente.

iv) Cálculo de emisiones

Empleando la información anterior, los resultados de estimación de las emisiones producidas durante las faenas de carga y descarga de material se presentan a continuación.

Tabla 26 Emisiones por levantamiento de polvo (MP10) de las faenas de carga y descarga de material en t/año

| Obra | E (ton) | | E ambos materiales (ton/año) | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| | Excedentes | Marinas | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,01 | | 0,01 | - | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | | 0,30 | 0,01 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | - |
| Obras Civiles | 0,05 | | - | 0,05 | - | - | - | - |
| Área Yeso | | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,02 | | 0,01 | 0,01 | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 0,04 | 0,81 | 0,02 | 0,25 | 0,21 | 0,21 | 0,16 | - |
| Obras Civiles | 0,04 | | - | 0,04 | - | - | - | - |
| Área Aucayes Alto | | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,01 | | 0,01 | - | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | | 0,75 | - | 0,21 | 0,26 | 0,26 | 0,02 | - |
| Área Alfalfal II | | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,02 | | 0,02 | - | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | | 0,82 | 0,10 | 0,30 | 0,25 | 0,17 | - | - |
| Área Las Lajas-Maipo | | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,04 | | 0,02 | 0,02 | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | | 3,08 | 0,57 | 0,86 | 0,86 | 0,79 | - | - |
| Obras Civiles | 0,07 | | 0,02 | 0,02 | 0,02 | - | - | - |
| Total general | 0,30 | 5,76 | 0,79 | 1,85 | 1,67 | 1,50 | 0,25 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “C&D” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

v) Transporte de marinas en correas transportadoras

Para extraer el material desde el interior de los túneles se emplearán correas transportadoras, cuando la perforación se realice mediante máquinas tuneleras. Las correas movilizarán las marinas desde la zona de extracción hasta los portales, de modo que la mayor parte de su trayecto se efectuará de manera subterránea, sin embargo, al igual que en el caso de las faenas de perforación, se ha incluido esta actividad como una potencial fuente de emisión de material particulado.

va) *Nivel de actividad*

El nivel de actividad asociado al transporte de marinas por correas transportadoras se asocia al volumen del material a transportar, expresado en toneladas. Para su estimación se han considerado el volumen de extracción de aquellos tramos de túnel que únicamente se perforarán con máquinas tuneleras, vale decir, los tramos del Túnel el Volcán y Aducción de Alfalfal II, empleando una densidad del material a extraer de 2,6 m³/t.

Los resultados de esta estimación se muestran a continuación:

Tabla 27 Cantidad de material (marinas) a transportar por correas transportadoras, expresado en toneladas.

| Sector | Marinas a transportar (t) | Duración de las faenas de transporte de marinas por correas (meses) | | | | | |
|----------------------|---------------------------|---|------|------|------|------|------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área Yeso | 562.007 | - | 10 | 12 | 12 | 9 | - |
| Área Aucayes Alto | 710.993 | - | 10 | 12 | 12 | 1 | - |
| Total general | 1.273.000 | - | 10 | 12 | 12 | 9 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Correas” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

vb) *Factor de emisión*

De acuerdo a la Ecuación 2 de la Tabla 3, el factor de emisión desde las correas transportadoras es de **0,03 kilogramos de material particulado por tonelada transportada.**

vc) *Estimación de emisiones*

Empleando la información anterior, los resultados de estimación de las emisiones producidas durante el transporte de marinas por correas transportadoras se presentan a continuación.

Tabla 28 Emisiones por levantamiento de polvo (MP10) durante el transporte de marinas por correas transportadoras en t/año

| Sector | E(ton) | E (ton/año) | | | | | |
|----------------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área Yeso | 17 | - | 4 | 5 | 5 | 4 | - |
| Área Aucayes Alto | 21 | - | 6 | 7 | 7 | 1 | - |
| Total general | 38 | - | 10 | 12 | 12 | 4 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Correas” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

vi) Nivelación de superficies

La nivelación de superficies se ejecutará principalmente en dos actividades, la construcción de caminos y la disposición de marinas y excedentes del movimiento de tierras en los sitios de acopio de marinas (SAM).

Ambas actividades consideran la disposición del material en capas (rellenos y marinas, respectivamente), sobre la superficie a nivelar, mediante el empleo de una motoniveladora y su posterior compactación con rodillo compactador.

vii) *Nivel de actividad*

El nivel de actividad de las faenas de nivelación se expresa en VKT, es decir en la distancia total recorrida por la maquinaria empleada para estos efectos.

Para estimar el nivel de actividad de la nivelación de caminos, se consideraron las dimensiones superficiales proyectadas para cada una de estas obras, suponiendo un ancho efectivo de colocación del material de 2,5 m de ancho por cada pasada de la maquina y un total de 4 pasadas sobre toda la superficie.

En el caso de los sitios de acopio de marinas se calculó el número de capas a disponer a partir de la superficie y volumen total a depositar en cada SAM, considerando un espesor de 50 cm por cada capa. Los VKT se calcularon suponiendo igual rendimiento superficial de la máquina (2,5 m por pasada) y un total de 8 pasadas por capa. Los resultados de este cálculo se resumen a continuación:

Tabla 29 Nivel de actividad de las faenas de nivelación se expresada en VKT

| Sector/Tipo de Obra | Distancia recorrida por máquina (VKT) | Duración de las faenas de nivelación (meses) | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|--|-----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 144 | 2 | 2 | 7 | 7 | 3 | - |
| Obras Previas | 114 | 2 | - | - | - | - | - |
| Obras Civiles | 31 | - | 2 | 7 | 7 | 3 | - |
| Área Yeso | 1.611 | 2 | 12 | 12 | 4 | - | - |
| Obras Previas | 67 | 2 | - | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 1.516 | - | 12 | 12 | 4 | - | - |
| Obras Civiles | 27 | - | 2 | 7 | 4 | - | - |
| Área Aucayes Alto | 1.232 | 2 | 2 | - | - | - | - |
| Obras Previas | 106 | 2 | 2 | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 1.126 | 2 | 2 | - | - | - | - |
| Área Alfalfal II | 194 | 6 | - | - | - | - | - |
| Obras Previas | 194 | 6 | - | - | - | - | - |
| Área Las Lajas-Maipo | 6.594 | 3 | 12 | 1 | - | - | - |
| Obras Previas | 13 | 6 | - | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 6.306 | 10 | 10 | 12 | 8 | - | - |
| Obras Civiles | 275 | 3 | 12 | 1 | - | - | - |
| Total general | 9.775 | 3 | 12 | 1 | - | - | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Nivelación” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

vib) Factor de emisión

Los parámetros de cálculo del factor de emisión de las faenas de nivelación (ver “Nivelación y compactación” en la Tabla 3, página 8) son los siguientes:

Tabla 30 Parámetros de cálculo del factor de emisión por levantamiento de polvo (MP10) de faenas de nivelación

| Parámetro | Descripción | Unidad | Valor | Referencia |
|-----------|--|--------|-------|---|
| k | Factor de escala para MP10 | - | 0,6 | [3] ARCADIS, 2008b Tabla 11,9-2 |
| S | Velocidad media motoniveladora/Rodillo | Km/h | 3 | Estimación propia en base a las características del área a nivelar y la maquinaria a utilizar |

Fuente: Elaboración propia en base a referencias indicadas.

Utilizando esta información en la fórmula de cálculo de la Ecuación 8 (Tabla 3, página 8), se obtiene el factor de emisión para las faenas de carga y descarga, equivalente a **0,03 kilogramos de material particulado por VKT recorrido por las máquinas de nivelación.**

vic) *Estimación de emisiones*

Empleando la información anterior, los resultados de estimación de las emisiones producidas durante las faenas de nivelación se presentan a continuación.

Tabla 31 Emisiones por levantamiento de polvo (MP10) por faenas de nivelación en t/año

| Sector/Tipo de Obra | E(ton) | E (ton/año) | | | | | |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,003 | 0,003 | - | - | - | - | - |
| Obras Civiles | 0,001 | - | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | - |
| Área Yeso | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,002 | 0,002 | - | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 0,046 | - | 0,020 | 0,020 | 0,007 | - | - |
| Obras Civiles | 0,001 | - | 0,000 | 0,000 | 0,000 | - | - |
| Área Aucayes Alto | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,003 | 0,002 | 0,002 | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 0,034 | 0,017 | 0,017 | - | - | - | - |
| Área Alfalfal II | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,006 | 0,006 | - | - | - | - | - |
| Área Las Lajas-Maipo | | | | | | | |
| Obras Previas | 0,000 | 0,000 | - | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 0,191 | 0,048 | 0,048 | 0,057 | 0,038 | - | - |
| Obras Civiles | 0,008 | 0,002 | 0,006 | 0,001 | - | - | - |
| Total general | 0,296 | 0,080 | 0,092 | 0,078 | 0,045 | 0,000 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Nivelación” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

5.2.2 *Levantamiento de Polvo (MP10) por Erosión del Viento*

El levantamiento de polvo derivado de la acción del viento sobre los acopios de material tendrá su principal fuente de generación en los sectores de acopio de marinas. El PHAM contempla la habilitación de 14 sitios de acopio donde se dispondrán los excedentes de los movimientos de tierras y las marinas extraídas desde los túneles.

Los sitios de acopio de marinas se emplazarán próximos a las ventanas de túneles y otros frentes de trabajo en superficie, en zonas sin riesgo de avalanchas ni planos de deslizamiento, por ello se estima que el viento podrá actuar directamente sobre las zonas activas de estos sitios, vale decir en la superficie donde se irán acumulando las pilas de material para su posterior nivelación y compactación.

i) Nivel de actividad

El nivel de actividad de la erosión del viento sobre las pilas de acopio, corresponde a la superficie de éstas, expuesta al viento diariamente. Su estimación dependerá del número y tamaño de las pilas.

El primer supuesto empleado para estimar el número de pilas es considerar que la cantidad de material acumulado y expuesto al viento sobre la superficie de las SAM corresponde a los excedentes

y marinas que se generen durante un día de faenas. El segundo supuesto considerado es que las pilas tendrán una altura máxima de 5 metros y un talud de 45° (1:1 h/v), formando cúmulos de forma cónica.

A partir de estos supuestos se estimó el volumen de las pilas que a continuación se indica:

Ecuación 15: Volumen de la Pila

Ecuación 16: Área expuesta de la Pila

Donde:

V: Volumen de las pilas en m³

h: Altura de las pilas en metros = 5m

Los resultados de este cálculo se entregan continuación:

Tabla 32 Volumen de las pilas de acopio en la superficie de los SAM.

| Parámetro | Valor | Unidad |
|--------------------------|-------|----------------|
| Altura de pilas | 5 | m |
| Talud pilas | 45 | ° |
| Volumen pila acopio | 393 | m ³ |
| Área expuesta de la pila | 12,5 | m ² |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Erosión” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Por su parte, se calculó el volumen de rellenos a disponer en los sitios de acopio como la suma de los excedentes y marinas y su distribución en el tiempo, a fin de estimar el volumen diario a disponer y, en consecuencia el número de pilas activas diariamente. El resultado de este cálculo se presenta en las siguientes tablas.

Tabla 33 Volumen total a disponer en SAM

| Sector | Volumen total a disponer en SAM (m3) | Duración de las faenas de disposición (meses) | | | | | |
|----------------------|--------------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 157.644 | 2 | 12 | 12 | 12 | 11 | - |
| Área Yeso | 385.671 | - | 12 | 12 | 4 | - | - |
| Área Aucayes Alto | 592.310 | 10 | 12 | 12 | 12 | 1 | - |
| Área Alfalfal II | 571.814 | 3 | 12 | 12 | 12 | 1 | - |
| Área Las Lajas-Maipo | 1.047.871 | 10 | 10 | 12 | 8 | - | - |
| Total general | 2.755.310 | 10 | 12 | 12 | 12 | 11 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Erosión” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Tabla 34 Número de pilas que se generarán durante todo el período de construcción del Proyecto

| Sector | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| Área El Volcán | 16 | 98 | 98 | 98 | 90 | - |
| Área Yeso | - | 421 | 421 | 140 | - | - |
| Área Aucayes Alto | 321 | 385 | 385 | 385 | 32 | - |
| Área Alfalfal II | 109 | 437 | 437 | 437 | 36 | - |
| Área Las Lajas-Maipo | 667 | 667 | 801 | 534 | - | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Erosión” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

ii) Factor de emisión

Los parámetros de cálculo del factor de emisión por erosión del viento sobre pilas de acopio (ver Tabla 4, página 9) son los siguientes:

Tabla 35 Parámetros de cálculo del factor de emisión por levantamiento de polvo (MP10) de erosión de pilas

| Parámetro | Descripción | Unidad | Valor | Referencia |
|-----------|--|----------------|-------|---|
| s: | Contenido de finos | % | 4 | [14] U.S. EPA, 2003 |
| f | Porcentaje de vientos cuya magnitud es superior a 5,36 m/s | % | 19,7 | Datos de estación El Manzano de la Red del CENMA, período 2000-2009 corregidos a 5m de altura según ecuación (1) de [21] WRAP, 2006 |
| P: | Días con precipitación mayor a 0,254 mm | días/año | 43 | Datos de estación DGA Mapocho Los Almendros, período 2000-2009* |
| N: | Días del período evaluado | días/año | 365 | - |
| A | Área expuesta pila | m ² | 12,5 | Calculado de Ecuación 16 |
| T | Tiempo de exposición | día/pila | 1 | Supuesto de cálculo |

*Nota: Estación pluviométrica más cercana en la zona precordillerana con datos horarios disponibles.

Fuente: Elaboración propia en base a referencias indicadas.

Utilizando esta información en la fórmula de cálculo de la Ecuación 9 (Tabla 4, página 9), se obtiene el factor de emisión para las faenas de carga y descarga, equivalente a **2,94 kilogramos de material particulado por hectárea de pilas expuestas al viento diariamente**.

iii) Estimación de emisiones

Empleando la información anterior, los resultados de estimación de las emisiones producidas por la erosión del viento sobre las pilas de acopio activas en la superficie de los SAM, se presentan a continuación.

Tabla 36 Emisiones por levantamiento de polvo (MP10) estimadas por erosión del viento sobre pilas de acopio de material.

| Sector | E (ton/año) | | | | | |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 0,0001 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0003 | - |
| Área Yeso | - | 0,0015 | 0,0015 | 0,0005 | - | - |
| Área Aucayes Alto | 0,0012 | 0,0014 | 0,0014 | 0,0014 | 0,0001 | - |
| Área Alfalfal II | 0,0004 | 0,0016 | 0,0016 | 0,0016 | 0,0001 | - |
| Área Las Lajas-Maipo | 0,0025 | 0,0025 | 0,0029 | 0,0020 | - | - |
| Total general | 0,0041 | 0,0074 | 0,0079 | 0,0059 | 0,0006 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Erosión” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

5.2.1 Levantamiento de Polvo (MP10) en las Plantas de Hormigonado

El proyecto contempla la habilitación de 9 plantas de hormigonado para suplir las necesidades de hormigón de las obras. Estas plantas se establecerán en los campamentos y áreas de faenas ocupando una superficie de 1 hectárea cada una capacidad de procesamiento total de 36.800 toneladas de mezcla por planta.

Las plantas incluyen básicamente mezcladoras y lugares de acopio (canchas, silos y estanques) de los insumos principales: áridos, cemento y agua⁶.

i) Nivel de actividad

El nivel de actividad de las Plantas de Hormigonado está representado por la capacidad de producción de mezcla en toneladas. El número de plantas por sector y su ocupación en el tiempo se presenta a continuación:

⁶ [6] ARCADIS, 2008e

Tabla 37 Número de plantas de hormigonado y su ocupación por sector

| Sector | Número de plantas | Ocupación de la plantas de hormigonado (meses) | | | | | |
|----------------------|-------------------|--|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 1 | - | 3 | 7 | 7 | 3 | - |
| Área Yeso | 1 | - | 3 | 7 | 4 | - | - |
| Área Aucayes Alto | 1 | 11 | 12 | 12 | 12 | 1 | - |
| Área Las Lajas-Maipo | 6 | 8 | 12 | 12 | 11 | - | - |
| Total general | 9 | 11 | 12 | 12 | 12 | 3 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Plantas de Hormigón” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

ii) Factor de emisión

Los parámetros de cálculo del factor de emisión por operación de las plantas de hormigón (ver Tabla 5, página 9) son los siguientes:

Tabla 38 Parámetros de cálculo del factor de emisión por levantamiento de polvo (MP10) desde plantas de hormigonado

| Parámetro | Descripción | Unidad | Valor | Referencia |
|-----------|--|--------|-------|---|
| k | Factor de escala MP10 | ad | 1,92 | [19] U.S. EPA, 2006c |
| a | Constante empírica para MP10 | ad | 0,4 | [19] U.S. EPA, 2006c |
| b | Constante empírica para MP10 | ad | 1,3 | [19] U.S. EPA, 2006c |
| c | Constante empírica para MP10 | ad | 0,04 | [19] U.S. EPA, 2006c |
| U | Viento promedio en la zona | m/s | 3,2 | Datos de estación El Manzano de la Red del CENMA, período 2000-2009 |
| M | Contenido mínimo de humedad insumos mezcla | % | 1,8 | [14] U.S. EPA, 2003 |

Fuente: Elaboración propia en base a referencias indicadas.

Utilizando esta información en la fórmula de cálculo de la Ecuación 9 (Tabla 5, página 9), se obtiene el factor de emisión para las faenas de carga y descarga, equivalente a **0,026 kilogramos de material particulado por tonelada de mezcla producida.**

iii) Estimación de emisiones

Empleando la información anterior, los resultados de la estimación de las emisiones producidas por la operación de las plantas de hormigón se presentan a continuación en la Tabla 19.

Tabla 39 Emisiones producidas por levantamiento de polvo (MP10) de la operación de las plantas de hormigón, en toneladas por año

| Sector | E(ton) | E (ton/año) | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 0,95 | - | 0,14 | 0,33 | 0,33 | 0,14 | - |
| Área Yeso | 0,95 | - | 0,20 | 0,48 | 0,27 | - | - |
| Área Aucayes Alto | 0,95 | 0,22 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,02 | - |
| Área Las Lajas-Maipo | 5,71 | 0,91 | 1,37 | 1,37 | 1,26 | - | - |
| Total general | 8,57 | 1,13 | 1,96 | 2,42 | 2,10 | 0,16 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Plantas de Hormigón” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

5.2.2 Levantamiento de polvo (MP10) por Uso de Caminos

El levantamiento de polvo producido por el tránsito vehicular tendrá su origen en tres actividades fundamentalmente: el traslado de las marinas y excedentes desde los frentes de trabajo hacia los sitios de acopio de marinas, el transporte de insumos para las obras desde sus lugares de abastecimiento en Santiago hasta las áreas de faenas; y el flujo de vehículos para transportar trabajadores desde los lugares de acercamiento hasta los campamentos en las obras.

El transporte de insumos considera que la fuente de abastecimiento de cemento estará localizada en Quilicura, la de materiales misceláneos en La Florida y la de áridos en la Obra. En el caso del transporte de trabajadores, se considera que el punto de acercamiento será desde el centro de Puente Alto. Las rutas empleadas en estos trayectos se indican a continuación:

Tabla 40 Rutas externas empleadas para el transporte de insumos para las obras

| Ruta | Calle/camino | Origen | Destino | Longitud (km) | Tipo Carpeta | Uso en transporte de |
|---------|-------------------------|------------------------|------------------------|---------------|--------------|---|
| Tramo 1 | Autopista Vespucio | Quilicura/Vespucio | Departamental/Vespucio | 23 | Pavimento | Cemento |
| Tramo 2 | Autopista Vespucio | V.Mackena/Vespucio | Departamental/Vespucio | 1,6 | Pavimento | Materiales misceláneos |
| Tramo 3 | Av. La Florida-Ruta G25 | Departamental/Vespucio | La Obra | 15,5 | Pavimento | Cemento Materiales misceláneos |
| Tramo 4 | Ruta G25 | La Obra | Descarga Río Maipo | 7,5 | Pavimento | Cemento Materiales misceláneos Áridos |

| Ruta | Calle/camino | Origen | Destino | Longitud (km) | Tipo Carpeta | Uso en transporte de |
|---------|--------------|--------------------------|--------------------------|---------------|--------------|---|
| Tramo 5 | Ruta G25 | Descarga Río Maipo | Río Colorado/ G25 | 5,6 | Pavimento | Cemento Materiales misceláneos Áridos |
| Tramo 6 | Ruta G345 | Río Colorado/ G25 | Los Maitenes | 13,7 | Pavimento | Excedentes y marinas Cemento Materiales misceláneos Áridos |
| Tramo 7 | Ruta G25 | Río Colorado/ G25 | G25/G455 (cruce El Yeso) | 28 | Pavimento | Cemento Materiales misceláneos Áridos |
| Tramo 8 | Ruta G455 | G25/G455 (cruce El Yeso) | Bocatoma El Yeso | 19,5 | Ripio | Cemento Materiales misceláneos Áridos |
| Tramo 9 | Ruta G25 | Bocatoma El Yeso | Bocatoma El Volcán | 29,5 | Ripio | Cemento Materiales misceláneos Áridos |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Transporte de insumos” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

El volumen de insumos a transportar será el siguiente⁷:

Tabla 41 Insumos a transportar a las obras en toneladas

| Sector | Cantidad a transportar (t) | | | Duración de la actividad de transporte de insumos a la obras (meses) | | | | | |
|----------------------|----------------------------|---------|------------------|--|------|------|------|------|------|
| | Cemento | Áridos | Mat. Misceláneos | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 12.000 | - | 8.650 | 3 | 12 | 12 | 12 | 11 | - |
| Área Yeso | 12.000 | - | 5.200 | 3 | 12 | 12 | 12 | 9 | - |
| Área Aucayes Alto | 56 | 28 | 9 | 11 | 12 | 12 | 12 | 1 | - |
| Área Alfalfal II | 9.944 | 4.972 | 1.541 | 7 | 12 | 12 | 12 | 1 | - |
| Área Las Lajas-Maipo | 52.000 | 100.000 | 15.600 | 11 | 12 | 12 | 11 | - | - |
| Total general | 86.000 | 105.000 | 31.000 | 11 | 12 | 12 | 12 | 11 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Transporte de insumos” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Por su parte, el transporte de trabajadores, empleará las siguientes rutas:

Tabla 42 Rutas externas empleadas para el transporte de trabajadores

| Ruta | Calle/camino | Origen | Destino | Longitud (km) | Tipo Carpeta |
|----------|-------------------------|--------------------------|---------------------|---------------|--------------|
| Tramo 1' | Eyzaguirre | Concha y Toro/Eyzaguirre | Ruta G25/Eyzaguirre | 5,0 | Pavimento |
| Tramo 2' | Av. La Florida-Ruta G25 | Ruta G25/Eyzaguirre | La Obra | 3,9 | Pavimento |
| Tramo 4 | Ruta G25 | La Obra | Descarga Río Maipo | 7,5 | Pavimento |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Transporte de insumos” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

⁷ Tabla 2.3.11 [3] ARCADIS, 2008b

El flujo mensual de buses (con capacidad para 40 pasajeros/bus) para el transporte de trabajadores durante el período de construcción del proyecto será el indicado en la Tabla 43. A este se suma el flujo de vehículos livianos que tendrá un flujo diario de 2 veh/día por sector.

Tabla 43 Flujo mensual de buses por transporte de trabajadores

| Año | Buses (veh/mes) | | | | | | |
|----------------------|-----------------|------------|-----------|---------|-----------------|------------|-----------|
| | Área El Volcán | Área Yeso | Área Alto | Aucayes | Área Alfalfa II | Las Lajas | Maipo |
| 2011 | 2 | 10 | - | | 18 | 12 | - |
| 2012 | 43 | 101 | 24 | | 168 | 126 | 24 |
| 2013 | 61 | 142 | 34 | | 237 | 179 | 34 |
| 2014 | 54 | 120 | 29 | | 202 | 151 | 29 |
| 2015 | 15 | 41 | 7 | | 69 | 50 | 7 |
| 2016 | - | - | - | | 2 | - | - |
| Total general | 175 | 414 | 94 | | 696 | 518 | 94 |

Fuente: Elaboración propia (ver nota 7, página 35). Mayor detalle ver hoja “Transporte de trabajadores” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Por su parte, el transporte de marinas y excedentes desde los frentes de trabajo hacia los SAM empleará principalmente los caminos nuevos proyectados de conexión entre las obras y con las rutas existentes. Los caminos tendrán carpetas de tierra estabilizadas con bischofita. Sus características generales serán las siguientes:

Tabla 44 Caminos nuevos proyectados de conexión entre las obras y con las rutas existentes

| Sector | Ancho Franja (m) | Longitud (km) | Acceso a | Conexión con |
|----------------------|------------------|---------------|-------------------------------------|--------------|
| Área El Volcán | 10 | 7,1 | AAFF1, SAM1 | G25 |
| Área Yeso | 10 | 4,2 | AAFF2, SAM2,3 y4 | G455 |
| Área Aucayes Alto | 10 | 18,7 | AAFF3 y 4, SAM5, 6 y 9 | G345 |
| Área Las Lajas-Maipo | 10 | 0,7 | AAFF5 y 6, SAM7, 8, 10, 11, 13 y 14 | G345 |

Fuente: Elaboración propia en base a [2] ARCADIS, 2008a: Tabla 2.3.2 EIA, Tabla 23 Adenda 1; y [3] ARCADIS, 2008b

Además, este transporte empleará como ruta principal para el traslado de las marinas y excedentes en el sector del Colorado, la Ruta G-345 que empalma con los caminos hacia las instalaciones de faenas 5, 6 y 7, y los sitios de acopio de marinas 7, 8, 10, 11, 13, 14 y 12 (ver Figura 3, página 6).

i) Tránsito por caminos no pavimentados

Los caminos no pavimentados corresponderán a los tramos de las rutas G-25 hacia el sector El Volcán (tramo 9 de la Tabla 40) y G-455 hacia el sector El Yeso (tramo 10 de la Tabla 40), las que darán servicio en parte del trayecto para el transporte de insumos y trabajadores. A esto se suman los caminos internos indicados en la Tabla 44 que darán principal servicio al transporte de marinas y excedentes.

Es importante señalar que estos últimos, contarán con un tratamiento superficial de estabilización con bischofita que permitirá reducir un 85% el levantamiento de polvo, según los antecedentes entregados por el Titular ([5] ARCADIS, 2008d).

ia) *Nivel de actividad*

El nivel de actividad del tránsito por caminos no pavimentados corresponde a la distancia recorrida por los vehículos generados por el Proyecto en los trayectos de caminos y rutas existentes con carpeta de tierra, expresadas en VKT.

En el caso del transporte de excedentes y marinas, los kilómetros recorridos se calcularon empleando el volumen a transporte por cada camino, considerando un camión de 14 m³ (equivalente a 30 t aprox.) de capacidad, y las distancias correspondientes de cada tramo considerado. La tabla siguiente muestra los resultados de este cálculo, el detalle puede ser consultado en el Anexo de esta Memoria.

Tabla 45 Kilómetros recorridos por transporte de excedentes y marinas en caminos no pavimentados

| Sector/Tipos de obra | Distancia recorrida por camiones (un sentido) VKT | Duración de la actividad de transporte de excedentes y marinas a SAM (meses) | | | | | |
|-------------------------------|---|--|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 13.521 | 3 | 3 | 7 | 7 | 3 | 0 |
| Obras Previas | 7.980 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Obras Civiles | 5.541 | 0 | 3 | 7 | 7 | 3 | 0 |
| Área Yeso | 41.801 | 1 | 3 | 12 | 12 | 9 | 0 |
| Obras Previas | 78 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 37.570 | 0 | 3 | 12 | 12 | 9 | 0 |
| Obras Civiles | 4.153 | 0 | 3 | 7 | 4 | 0 | 0 |
| Área Aucayes Alto | 63.817 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Obras Previas | 63.817 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Área Alfalfa II | 217.272 | 7 | 12 | 9 | 7 | 0 | 0 |
| Obras Previas | 68.504 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 148.768 | 4 | 12 | 9 | 7 | 0 | 0 |
| Área Las Lajas-Maipo | 140.136 | 8 | 12 | 12 | 7 | 0 | 0 |
| Obras Previas | 418 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 137.135 | 8 | 11 | 12 | 7 | 0 | 0 |
| Obras Civiles | 2.583 | 4 | 12 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Total general | 476.547 | 8 | 12 | 12 | 12 | 9 | 0 |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Transporte de marinas y excedentes” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Por su parte, el transporte de insumos, se calculó en base al cuadro de distancias indicado en la Tabla 42 y los flujos generados por el Proyecto, estimados en base a los volúmenes de insumos a emplear (ver Tabla 41) y una capacidad promedio de carga de los camiones de 6 toneladas.

Asimismo, el transporte de pasajeros, se calculó en base al cuadro de distancias indicado en la Tabla 41, los flujos de buses generados por el Proyecto y estimados en base a la curva ocupacional del proyecto⁷ (ver Tabla 43), y los flujos de vehículos livianos para este fin (2 veh/día/sector en un sentido).

ib) Factor de emisión

Los parámetros de cálculo del factor de emisión por caminos no pavimentados (ver “Tránsito por caminos no pavimentados” en la Tabla 6, página 9) son los siguientes:

Tabla 46 Información base para el cálculo del factor de emisión para caminos no pavimentados

| Parámetro | Descripción | Unidad | Valor | Referencia |
|-----------|---|----------|-------|---|
| k | Constante empírica para MP10 | (lb/VMT) | 1,5 | [18] U.S. EPA, 2006b |
| a | Constante empírica para MP10 | ad | 0,9 | [18] U.S. EPA, 2006b |
| b | Constante empírica para MP10 | ad | 0,45 | [18] U.S. EPA, 2006b |
| s | Contenido de finos | % | 10,0 | [8] CONAMA RM, 2007 |
| w | Peso medio del vehículo | t | - | Estimación propia en base a [3] ARCADIS, 2008b (Ver Tabla 47) |
| P | Días con precipitación mayor a 0,254 mm | días/año | 43 | Datos de estación DGA Mapocho Los Almendros, período 2000-2009* |
| N | Días del período evaluado | días/año | 365 | - |

*Nota: Estación pluviométrica más cercana en la zona precordillerana con datos horarios disponibles.

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

Utilizando esta información en la fórmula de cálculo de la Ecuación 11 (Tabla 6, página 9), se obtienen los siguientes

Tabla 47 Factor de emisión de levantamiento de polvo (MP10) por tránsito por calles no pavimentadas (sin medida de mitigación)

| Parámetro | Unidad | Tte marinas | | Tte insumos | | Tte. Trabajadores | | |
|----------------------|--------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------------|----------------|------------|
| | | C.Cargado | C:Descargado | C.Cargado | C:Descargado | Bus cargado | Bus descargado | V. Liviano |
| W: Peso vehículo (t) | t | 30,0 | 9,0 | 10,0 | 3,0 | 15,0 | 3,0 | 1,2 |
| e: Factor de emisión | g/VKT | 893 | 519 | 545 | 317 | 654 | 317 | 210 |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas de Transporte en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Considerando que se efectuará una estabilización de los caminos internos del proyecto empleando bischofita como supresor de polvo con una eficiencia del 85% (ER), se ha recalculado el factor de

emisión del transporte de marinas y excedentes empleando la corrección indicada en la Ecuación 1. Los resultados son los siguientes:

Tabla 48 Factor de emisión de levantamiento de polvo (MP10) por tránsito de marinas y excedentes en caminos no pavimentados (con medida de mitigación)

| Parámetro | Unidad | TTe marinas | |
|--------------------------------------|--------|-------------|--------------|
| | | C.Cargado | C.Descargado |
| ER: Eficiencia medida de abatimiento | % | 85 | 85 |
| e: Factor de emisión corregido | g/VKT | 134 | 78 |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas de Transporte en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

ic) *Estimación de emisiones*

Empleando la información anterior, los resultados de la estimación de las emisiones producidas por levantamiento de polvo por tránsito por calles y caminos no pavimentados, incluyendo la medida de abatimiento y considerando ambos sentidos de tránsito, se presentan a continuación.

Tabla 49 Emisión de levantamiento de polvo (MP10) por tránsito de marinas y excedentes en caminos no pavimentados (con medida de mitigación)

| Sector/Tipo de Obra | E (ton/año) | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | | | | | | |
| Obras Previas | 2 | - | - | - | - | - |
| Obras Civiles | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| Área Yeso | | | | | | |
| Obras Previas | 0 | - | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | - | 1 | 3 | 3 | 2 | - |
| Obras Civiles | - | 0 | 0 | 0 | - | - |
| Área Aucayes Alto | | | | | | |
| Obras Previas | 8 | 5 | - | - | - | - |
| Área Alfalfal II | | | | | | |
| Obras Previas | 15 | - | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 4 | 12 | 9 | 7 | - | - |
| Área Las Lajas-Maipo | | | | | | |
| Obras Previas | 0 | - | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 6 | 8 | 9 | 5 | - | - |
| Obras Civiles | 0 | 0 | 0 | - | - | - |
| Total general | 35 | 27 | 22 | 16 | 2 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Transporte de marinas y excedentes” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Tabla 50 Emisión de levantamiento de polvo (MP10) por transporte de insumos en caminos no pavimentados

| Sector | E (ton/año) | | | | | |
|----------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 5 | 21 | 21 | 21 | 19 | - |
| Área Yeso | 3 | 12 | 12 | 12 | 9 | - |
| Total general | 8 | 33 | 33 | 33 | 28 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Transporte insumos” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Tabla 51 Emisión de levantamiento de polvo (MP10) por transporte de trabajadores en buses por caminos no pavimentados

| Sector | E (ton/año) | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 0,06 | 1,23 | 1,75 | 1,55 | 0,43 | - |
| Área Yeso | 0,19 | 1,91 | 2,69 | 2,27 | 0,78 | - |
| Total general | 0,25 | 3,14 | 4,43 | 3,82 | 1,21 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Transporte de trabajadores” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Tabla 52 Emisión de levantamiento de polvo (MP10) por transporte de trabajadores en vehículos livianos por caminos no pavimentados

| Sector | E (ton/año) | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 2,2 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,2 | - |
| Área Yeso | 1,5 | 5,9 | 5,9 | 5,9 | 4,4 | - |
| Total general | 3,7 | 14,8 | 14,8 | 14,8 | 12,6 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Transporte de trabajadores” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

ii) Tránsito por calles pavimentadas

De acuerdo a las rutas indicadas para el transporte de insumos (Tabla 40) y trabajadores (Tabla 42), y el traslado de las marinas y excedentes en los tramos de la Ruta G-345 en el sector del Colorado (conexiones hacia instalaciones de faenas 5, 6 y 7, y los sitios de acopio de marinas 7, 8, 10, 11, 13, 14 y 12), se calculó el nivel de actividad y las emisiones asociadas al tránsito inducido por dichas rutas, tal como se señala a continuación:

iii) *Nivel de actividad*

El nivel de actividad del tránsito por caminos pavimentados corresponde a la distancia recorrida por los vehículos generados por el Proyecto en los trayectos de las rutas pavimentadas existentes que empleará el proyecto para movilizar carga y personal de obras, expresadas en VKT. Sin embargo, para efectos de este cálculo se ha recurrido a determinar primero el flujo vehicular involucrado, como nivel de actividad principal, excepto en el caso del traslado de excedentes y marinas por la ruta G-345, como se explica más adelante.

En el caso del transporte de excedentes y marinas, los kilómetros recorridos se calcularon empleando el volumen a transporte por la ruta G-345, considerando un camión de 14 m³ (equivalente a 30 t aprox.) de capacidad, y las distancias correspondientes de cada tramo considerado. La tabla siguiente muestra los resultados de este cálculo, el detalle puede ser consultado en el Anexo de esta Memoria.

Tabla 53 Kilómetros recorridos por transporte de excedentes y marinas en caminos no pavimentados

| Sector/Tipo de Obra | Distancia recorrida por camiones (un sentido) VKT | Duración de la actividad de transporte de excedentes y marinas a SAM (meses) | | | | | |
|-------------------------------|---|--|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área Las Lajas-Maipo | 155.737 | 8 | 12 | 12 | 8 | 0 | 0 |
| Obras Previas | 4.735 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 131.076 | 8 | 12 | 12 | 8 | 0 | 0 |
| Obras Civiles | 19.926 | 0 | 0 | 8 | 3 | 0 | 0 |
| Total general | 155.737 | 8 | 12 | 12 | 8 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “Transporte de marinas y excedentes” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Por su parte, el transporte de insumos, se calculó en base al cuadro de distancias indicado en la Tabla 42 y los flujos generados por el Proyecto, estimados en base a los volúmenes de insumos a emplear (ver Tabla 41) y una capacidad promedio de carga de los camiones de 6 toneladas.

Asimismo, el transporte de pasajeros se calculó en base al cuadro de distancias indicado en la Tabla 41, los flujos de buses generados por el Proyecto y estimados en base a la curva ocupacional del proyecto⁷ (ver Tabla 43), y los flujos de vehículos livianos para este fin (2 veh/día/sector en un sentido).

iib) *Factor de emisión*

Se ha procedido a estimar la “emisión por tramo de ruta por vehículo” como la multiplicación del parámetro e (factor de emisión en g/VKT) de cada tramo y la distancia recorrida correspondientemente (L en km) en cada trayecto considerado. Esto puesto que cada tramo de ruta (calle) tiene características particulares, como el peso promedio del flujo total por la vía (W) y el

contenidos de finos (sL), que dependen del volumen de flujo total que transita por ellas, independientemente del aporte del Proyecto.

Los parámetros de cálculo del factor de emisión por caminos no pavimentados (ver “Tránsito por caminos no pavimentados” en la Tabla 6, página 9) son los siguientes:

Tabla 54 Información base para el cálculo del factor de emisión para calles pavimentadas

| Parámetro | Descripción | Unidad | Valor | Referencia |
|-----------|--|------------------|--------|---|
| k | Constante empírica para MP10 | | 4,6 | [18] U.S. EPA, 2006b |
| C | Factor de emisión por desgaste para MP10 | g/VKT | 0,1317 | [18] U.S. EPA, 2006b |
| sL | Contenido de finos | g/m ² | - | Ver Tabla 55 y nota (a) |
| W | Peso medio de los vehículos que transitan por la vía | t | - | Ver Tabla 55 |
| P | Días con precipitación mayor a 0,254 mm | días/año | 43 | Datos de estación DGA Mapocho Los Almendros, período 2000-2009* |
| N | Días del período evaluado | días/año | 365 | - |

*Nota: Estación pluviométrica más cercana en la zona precordillerana con datos horarios disponibles.
Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

Utilizando esta información, los datos de flujo necesario de las rutas para estimar los parámetros sL y W, y la fórmula de cálculo de la Ecuación 12 (Tabla 6, página 9), se obtienen los siguientes resultados en la determinación del “el factor de emisión por tramo de ruta”

Tabla 55 Factor emisión de levantamiento de polvo (MP10) por tránsito por calles pavimentadas

| Ruta | Tramo | Veh Livianos | Camiones | Buses | W (t) | sL ^(a) (g/m ²) | e (g/VKT) |
|---|--------------------------|--------------|----------|-------|-------|---------------------------------------|------------|
| Flujos Horarios Máximos Base 2010 (veq/h)^(b) | | | | | | | |
| G-25 | Las Vizcachas - La Obra | 1.058 | 121 | 68 | 3 | 0,18 | 0,9 |
| G-25 | La Obra - Puente El Yeso | 474 | 52 | 28 | 3 | 0,96 | 2,7 |
| G-345 | Acceso Los Maitenes | 26 | 1 | 1 | 2 | 4,23 | 4,0 |
| Eyzaguirre | Concha y Toro - G-25 | 491 | 256 | | 6 | 0,96 | 8,1 |
| Factor equivalencia (veq/veh) | | 1,0 | 2,5 | 2,5 | | | |
| Transito Medio Diario Anual 2000 (veh/día)^(c) | | | | | | | |
| Autopista Vespucio (l) | | 40.928 | 13.876 | 1.072 | 9 | 0,18 | 5 |
| Peso vehículo (t/veh) | | 1,2 | 30,0 | 30,0 | | | |

Fuente: Elaboración propia y (a) [8] CONAMA RM, 2007; (b) [1] AMBITRANS, 2008; (c) censo de flujos MOP (www.vialidad.cl)

Tabla 56 “Emisión por tramo de ruta por vehículo” de levantamiento de polvo (MP10) por calles pavimentadas agregada a nivel de sector

| Sector | Distancia trayecto (L) en km | | | | Factor de emisión por ruta e*L g/veh | | | |
|----------------------|------------------------------|--------|-------------|--------------|--------------------------------------|--------|-------------|--------------|
| | Cemento | Áridos | Misceláneos | Trabajadores | Cemento | Áridos | Misceláneos | Trabajadores |
| Área El Volcán | 80 | 41 | 58 | 50 | 230 | 110 | 131 | 153 |
| Área Yeso | 80 | 41 | 58 | 50 | 230 | 110 | 131 | 153 |
| Área Aucayes Alto | 65 | 27 | 44 | 36 | 210 | 90 | 111 | 134 |
| Área Alfalfal II | 65 | 27 | 44 | 36 | 210 | 90 | 111 | 134 |
| Área Las Lajas-Maipo | 65 | 27 | 44 | 36 | 210 | 90 | 111 | 134 |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Transporte...” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

iiic) Estimación de emisiones

Empleando la información anterior, los resultados de la estimación de las emisiones producidas por levantamiento de polvo por calles pavimentadas se presentan a continuación. Mayor detalle del cálculo puede ser consultado en el Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones.

Tabla 57 Emisión de levantamiento de polvo (MP10) por transporte de merinas y excedentes en calles pavimentadas

| Sector | E (ton/año) | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área Las Lajas-Maipo | | | | | | |
| Obras Previas | 0,04 | - | - | - | - | - |
| Túneles, cavernas y chimeneas | 0,21 | 0,32 | 0,32 | 0,21 | - | - |
| Obras Civiles | - | - | 0,12 | 0,04 | - | - |
| Total general | 0,25 | 0,32 | 0,43 | 0,25 | - | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Transporte merinas y excedentes” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Tabla 58 Emisión de levantamiento de polvo (MP10) por transporte de insumos en calles pavimentadas

| Sector | E (ton/año) | | | | | |
|----------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | - |
| Área Yeso | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | - |
| Área Aucayes Alto | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| Área Alfalfal II | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | - |
| Área Las Lajas-Maipo | 10 | 11 | 11 | 10 | - | - |
| Total general | 12 | 16 | 16 | 15 | 3 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Transporte insumos” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Tabla 59 Emisión de levantamiento de polvo (MP10) por transporte de trabajadores por bus en calles pavimentadas

| Sector | E (ton/año) | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | - |
| Área Yeso | 0,00 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,01 | - |
| Área Aucayes Alto | - | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | - |
| Área Alfalfal II | 0,00 | 0,04 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | 0,00 |
| Área Las Lajas-Maipo | 0,00 | 0,04 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | - |
| Total general | 0,01 | 0,14 | 0,19 | 0,16 | 0,05 | 0,00 |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Transporte de trabajadores” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Tabla 60 Emisión de levantamiento de polvo (MP10) por transporte de trabajadores en vehículos livianos por calles pavimentadas

| Sector | E (ton/año) | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Área El Volcán | 0,06 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,20 | - |
| Área Yeso | 0,06 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,17 | - |
| Área Aucayes Alto | 0,18 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,02 | - |
| Área Alfalfal II | 0,11 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,02 | - |
| Área Las Lajas-Maipo | 0,18 | 0,19 | 0,19 | 0,18 | - | - |
| Total general | 0,58 | 1,02 | 1,02 | 1,00 | 0,40 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Transporte de trabajadores” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

5.2.3 Emisiones de vehículos y maquinarias motorizados

Las emisiones desde los motores de combustión de fuentes móviles y maquinarias comprenden gases (HC, CO y NO_x) y partículas (MP10). En este caso la maquinaria considerada se refiere a la empleada en las faenas de movimiento de tierras y otras faenas, y los vehículos a los asociados al transporte de marinas y excedentes, insumos y trabajadores.

i) Motores de vehículos

Los vehículos considerados en la estimación de gases y partículas de motores de fuentes móviles corresponden a los camiones que transportarán marinas y excedentes desde los frentes de trabajo a los SAM, los camiones que transportarán insumos desde los centros de abastecimientos hacia las áreas de faenas y los buses y vehículos livianos que transportarán trabajadores durante todo el período de construcción.

ia) *Nivel de actividad*

El nivel de actividad corresponde al estimado para el tránsito por caminos no pavimentados (punto 5.2.2ia) , página 37) y pavimentados (punto 5.2.2iia) , página 41).

ib) *Factor de emisión*

Los parámetros de cálculo del factor de emisión de motores para cada tipo de vehículo y contaminante, de acuerdo a las ecuaciones indicadas en [8] CONAMA RM, 2007 (ver Tabla 7, página 10) son los siguientes:

Tabla 61 Factores de emisión de vehículos empleados en las obras

| Parámetro | Unidad | Valor | | | |
|--|--------|---|---|--|------|
| | | Transporte Marinas | Transporte Insumos | Transporte de trabajadores | |
| V: Velocidad media de recorrido* | Km/h | 35 | 45 | 45 | 50 |
| Tipo de vehículo según [8] CONAMA RM, 2007 | - | Camiones Pesados Diesel Tipo 3 (Euro III) | Buses Interurbanos Diesel Tipo 3 (Euro III) | Vehículos Comerciales Catalíticos Tipo 2 | |
| eHC | g/km | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,02 |
| eCO | g/km | 1,0 | 0,7 | 0,8 | 1,20 |
| eNOX | g/km | 4,1 | 1,9 | 2,9 | 0,08 |
| eMP | g/km | 0,2 | 0,2 | 0,1 | - |

*Nota: Estimada en base a [1] AMBITRANS, 2008

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Transporte...” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

ic) *Estimación de emisiones*

Empleando la información anterior, los resultados de la estimación de las emisiones producidas por el funcionamiento de motores de maquinarias y vehículos a continuación. Mayor detalle del cálculo puede ser consultado en el Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones.

Tabla 62 Emisión anual de hidrocarburos (HC) de motores de maquinaria

| Fuente | HC (ton/año) | | | | | |
|------------------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Transporte de Marinas y Excedentes | 0,11 | 0,14 | 0,12 | 0,08 | 0,01 | - |
| Transporte de Insumos | 0,45 | 0,62 | 0,62 | 0,58 | 0,13 | - |
| Transporte de trabajadores | 0,01 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,00 |
| Total | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,2 | 0,0 |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Operación Maquinaria” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Tabla 63 Emisión anual de monóxido de carbono (CO) de motores de maquinaria

| Fuente | CO (ton/año) | | | | | |
|------------------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Transporte de Marinas y Excedentes | 0,20 | 0,24 | 0,22 | 0,14 | 0,02 | - |
| Transporte de Insumos | 0,40 | 0,44 | 0,44 | 0,40 | - | - |
| Transporte de trabajadores | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,00 | - |
| Total | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,0 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Operación Maquinaria” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Tabla 64 Emisión anual de óxidos de nitrógeno (NOx) de motores de maquinaria

| Fuente | NOx (ton/año) | | | | | |
|------------------------------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Transporte de Marinas y Excedentes | 0,83 | 0,99 | 0,88 | 0,57 | 0,10 | - |
| Transporte de Insumos | 0,09 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,01 | - |
| Transporte de trabajadores | 0,01 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,01 | 0,00 |
| Total | 0,9 | 1,2 | 1,1 | 0,8 | 0,1 | 0,0 |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Operación Maquinaria” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Tabla 65 Emisión anual de material particulado (MP) de motores de maquinaria

| Fuente | Material Particulado (ton/año) | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Transporte de Marinas y Excedentes | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | - |
| Transporte de Insumos | 0,11 | 0,15 | 0,15 | 0,14 | 0,03 | - |
| Transporte de trabajadores | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 0,0 |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Operación Maquinaria” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

ii) Motores de Maquinarias

La maquinaria considerada y su destino en ocupación es la siguiente:

Tabla 66 Asignación de maquinaria según tipo de obra

| Equipos /maquinaria | Nº de equipos | Objetivo |
|--------------------------|---------------|--------------------------------|
| Bulldozer 1 | 2 | Escarpe |
| Retroexcavadoras | 7 | Excavación |
| Cargador Frontal | 20 | Carga/Descarga |
| Bulldozer 2 | 15 | Carga/Descarga |
| Jumbo | 12 | Perforación |
| Perforadora sobre orugas | 3 | Perforación |
| Perforadoras manuales | 32 | Perforación |
| Maquinas tuneleras | 3 | Perforación |
| Motoniveladora | 2 | Nivelación |
| Rodillos Compactadores | 2 | Nivelación |
| Compresores diesel | 32 | Energía y apoyo a faenas Obras |
| Bombas de inyección | 6 | Energía y apoyo a faenas Obras |

Fuente: Elaboración propia en base a Tabla 8 y [3] ARCADIS, 2008b: Tabla 4, Adenda 1

iii) *Nivel de actividad*

El nivel de actividad asociado a este tipo de fuentes de emisión está representado por su ocupación expresada en horas y la potencia asociada a cada maquinaria.

A partir de la distribución de las actividades en el tiempo y tipo de obra que se indica en la Tabla 12 (ver página 13) y considerando que para el caso de la excavación y el escarpe, la ocupación de maquinaria para el movimiento de tierras se realizaría durante el primer mes de faenas, se estimaron los meses de ocupación por faena de construcción para cada obra del Proyecto. El resumen de este resultado se indica a continuación:

Tabla 67 Meses de ocupación efectiva de la maquinaria en obra

| Faena/Actividad | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Escarpe | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Excavación suelo | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Excavación roca | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Perforación | 8 | 12 | 12 | 12 | 11 | - |
| Carga/Descarga | 6 | 12 | 12 | 7 | 3 | |
| Nivelación | 10 | 12 | 12 | 8 | 10 | 12 |
| Energía y apoyo a faenas Obras | 7 | 10 | 8 | 3 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Operación Maquinaria” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Las horas de ocupación total de la maquinaria se presentan a continuación, indicándose los distintos supuestos empleados en su cálculo. Asimismo se presenta la potencia de cada máquina o equipo y la referencia de estos datos.

Tabla 68 Horas totales de ocupación de la maquinaria

| Equipos /maquinaria | Potencia (hp) | Operación (h) | Supuesto de cálculo de horas |
|--------------------------|---------------|---------------|--|
| Bulldozer 1 | 180(a) | 126 | Estimada considerando una capacidad de la pala 3m ³ de material a remover |
| Retroexcavadoras | 250(a) | 15.463 | Estimada según lo indicado en punto 5.2.1iia) , página 19 |
| Cargador Frontal | 250(a) | 74.926 | Estimada en base a una duración de 0,17h por cada operación de carga /descarga |
| Bulldozer 2 | 180(a) | 56.194 | Estimada en base a una ocupación de 8 horas diarias |
| Jumbo | 150(a) | 49.440 | Estimada en base a una ocupación de 8 horas diarias |
| Perforadora sobre orugas | 170(a) | 49.440 | Estimada en base a una ocupación de 8 horas diarias |
| Perforadoras manuales | 24(a) | 49.440 | Estimada en base a una ocupación de 8 horas diarias |
| Maquinas tuneleras | 490(a) | 49.440 | Estimada en base a una ocupación de 8 horas diarias |
| Motoniveladora | 155(b) | 3.258 | Estimada según lo indicado en punto 5.2.1via) , página 27 |
| Rodillos Compactadores | 85(b) | 3.258 | Estimada según lo indicado en punto 5.2.1via) , página 27 |
| Compresores diesel | 15(c) | 30.000 | Estimada en base a una ocupación de 8 horas diarias |
| Bombas de inyección | 40(d) | 6.000 | Estimada en base a una ocupación de 8 horas diarias |

Fuente: Elaboración propia y (a) www.miningandconstruction.sandvik.com (b) <http://www.volvo.com> (c) <http://www.petersonpower.com> (d) <http://www.chemacinc.com>

iiib) *Factor de emisión*

Los parámetros de cálculo del factor de emisión asociado a la operación de maquinarias (ver “Funcionamiento de motores de equipos y maquinarias” en la Tabla 7, página 10) son los siguientes:

Tabla 69 Información base para el cálculo del factor de emisión de motores de maquinarias

| Parámetro | Descripción | Unidad | Referencia |
|-----------|--|----------|--------------------------------|
| EFss | Factor de emisión en estado estacionario | gr/hp-hr | [15] U.S. EPA, 2004a, Tabla A2 |
| TAF | Factor de ajuste por operación en régimen transiente | ad | [15] U.S. EPA, 2004a, Tabla A3 |
| DF | Factor de ajuste por deterioro del motor, adimensional | ad | [15] U.S. EPA, 2004a, Tabla A4 |

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

Los valores asociados a los parámetros EFss, TAF y DF se muestran en la siguiente tabla, para cada contaminante y maquinaria empleada.

Tabla 70 Valores de parámetros empleados en el cálculo del factor de emisión de gases y partículas de motores por maquinaria

| Equipos /maquinaria | Efss g/hp-h | | | | TAF | | | | DF | | | |
|--------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | HC | CO | NOx | PM | HC | CO | NOx | PM | HC | CO | NOx | PM |
| Bulldozer 1 | 0,31 | 0,75 | 5,58 | 0,25 | 1,05 | 1,53 | 0,95 | 1,23 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 0,47 |
| Retroexcavadoras | 0,31 | 0,75 | 5,58 | 0,25 | 1,05 | 1,53 | 0,95 | 1,23 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 0,47 |
| Cargador Frontal | 0,31 | 0,75 | 5,58 | 0,25 | 1,05 | 1,53 | 0,95 | 1,23 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 0,47 |
| Bulldozer 2 | 0,31 | 0,75 | 5,58 | 0,25 | 1,05 | 1,53 | 0,95 | 1,23 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 0,47 |
| Jumbo | 0,34 | 0,87 | 5,65 | 0,28 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 0,47 |
| Perforadora sobre orugas | 0,34 | 0,87 | 5,65 | 0,28 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 0,47 |
| Perforadoras manuales | 0,44 | 2,16 | 4,44 | 0,27 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 0,47 |
| Maquinas tuneleras | 0,20 | 1,31 | 6,02 | 0,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 0,47 |
| Motoniveladora | 0,34 | 0,87 | 5,65 | 0,28 | 1,05 | 1,53 | 0,95 | 1,23 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 0,47 |
| Rodillos Compactadores | 0,52 | 2,37 | 5,60 | 0,47 | 1,05 | 1,53 | 0,95 | 1,23 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 0,47 |
| Compresores diesel | 0,44 | 2,16 | 4,44 | 0,27 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 0,47 |
| Bombas de inyección | 0,28 | 1,53 | 4,73 | 0,34 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,04 | 0,10 | 0,02 | 0,47 |

Fuente: Elaboración propia en base a [15] U.S. EPA, 2004a

iii) Estimación de emisiones

Utilizando esta información y la fórmula de cálculo de la Ecuación 14 (Tabla 7, página 10), se obtienen las siguientes emisiones totales de la operación de maquinaria.

Tabla 71 Emisión total de gases y partículas de motores de cada maquinaria

| Equipos /maquinaria | Potencia (hp) | E (ton) | | | |
|---------------------|---------------|---------|------|------|------|
| | | HC | CO | NOx | PM |
| Bulldozer 1 | 180 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Retroexcavadoras | 250 | 0,05 | 0,45 | 0,49 | 0,57 |
| Cargador Frontal | 250 | 0,22 | 2,16 | 2,38 | 2,75 |
| Bulldozer 2 | 180 | 0,12 | 1,17 | 1,29 | 1,48 |
| Jumbo | 150 | 0,09 | 0,65 | 1,01 | 0,98 |

| Equipos /maquinaria | Potencia (hp) | E (ton) | | | |
|--------------------------|---------------|---------|------|------|------|
| | | HC | CO | NOx | PM |
| Perforadora sobre orugas | 170 | 0,10 | 0,74 | 1,14 | 1,11 |
| Perforadoras manuales | 24 | 0,02 | 0,26 | 0,13 | 0,15 |
| Maquinas tuneleras | 490 | 0,18 | 3,20 | 3,50 | 2,30 |
| Motoniveladora | 155 | 0,01 | 0,07 | 0,07 | 0,08 |
| Rodillos Compactadores | 85 | 0,01 | 0,10 | 0,04 | 0,08 |
| Compresores diesel | 15 | 0,01 | 0,10 | 0,05 | 0,06 |
| Bombas de inyección | 40 | 0,00 | 0,04 | 0,03 | 0,04 |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Operación Maquinaria” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Empleando la distribución de la ocupación de la maquinaria durante todo el período de construcción, se obtienen las siguientes emisiones en toneladas anuales por tipo de faena y contaminante.

Tabla 72 Emisión anual de hidrocarburos (HC) de motores de maquinaria

| Faena | HC (ton/año) | | | | | |
|-----------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Escarpe | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | - | - |
| Excavación | 0,02 | 0,02 | - | - | - | - |
| Carga/ Descarga | 0,34 | - | - | - | - | - |
| Perforación | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | - |
| Nivelación | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | - |
| Energía OOC | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | - |
| Total HC | 0,42 | 0,12 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Operación Maquinaria” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Tabla 73 Emisión anual de óxidos de nitrógeno (NOx) de motores de maquinaria

| Faena | NOx (ton/año) | | | | | |
|------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Escarpe | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | - | - |
| Excavación | 0,25 | 0,25 | - | - | - | - |
| Carga/ Descarga | 3,67 | - | - | - | - | - |
| Perforación | 0,84 | 1,26 | 1,26 | 1,26 | 1,15 | - |
| Nivelación | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | - | - |
| Energía OOC | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | - | - |
| Total NOx | 4,80 | 1,57 | 1,32 | 1,29 | 1,15 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Operación Maquinaria” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Tabla 74 Emisión anual de óxidos de monóxido de carbono (CO) de motores de maquinaria

| Faena | CO (ton/año) | | | | | |
|-----------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Escarpe | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | - | - |
| Excavación | 0,22 | 0,22 | - | - | - | - |
| Carga/ Descarga | 3,33 | - | - | - | - | - |
| Perforación | 0,70 | 1,06 | 1,06 | 1,06 | 0,97 | - |
| Nivelación | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | - | - |
| Energía OOCC | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | - | - |
| Total CO | 4,35 | 1,39 | 1,16 | 1,11 | 0,97 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Operación Maquinaria” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

Tabla 75 Emisión anual de material particulado (MP10) de motores de maquinaria

| Faena | MP10 (ton/año) | | | | | |
|-------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Escarpe | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | - | - |
| Excavación | 0,28 | 0,28 | - | - | - | - |
| Carga/ Descarga | 4,23 | - | - | - | - | - |
| Perforación | 0,66 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,91 | - |
| Nivelación | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | - | - |
| Energía OOCC | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,01 | - | - |
| Total MP10 | 5,25 | 1,37 | 1,07 | 1,04 | 0,91 | - |

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hojas “Operación Maquinaria” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones

6. RESUMEN DE EMISIONES DEL PROYECTO

El resumen de los cálculos de estimación de emisiones del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo es el siguiente:

Tabla 76 Resumen de emisiones de MP10 por levantamiento de Polvo

| Faena/fuente | | E (ton/año) | | | | | |
|------------------------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Movimiento de Tierras | Escarpe | 0,3 | 0,2 | 0,2 | - | - | - |
| | Excavaciones | 42,4 | 24,3 | 13,2 | 4,9 | - | - |
| | Perforación | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | - |
| | Carga y Descarga de material | 0,8 | 1,8 | 1,7 | 1,5 | 0,2 | - |
| | Correas transportadoras | - | 10,0 | 12,0 | 12,0 | 4,1 | - |
| | Nivelación de superficies | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | - |
| Erosión del Viento | | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Plantas de Hormigonado | | 1,13 | 1,1 | 2,0 | 2,4 | 2,1 | 0,2 |
| Uso de Caminos | No pavimentados | 46,8 | 78,0 | 73,8 | 67,2 | 44,2 | - |
| | Pavimentados | 13,0 | 17,8 | 18,0 | 16,8 | 3,6 | 0,0 |
| Total | | 104,4 | 134,3 | 121,5 | 104,6 | 52,4 | 0,0 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 77 Resumen de emisiones de fuentes de combustión del proyecto (vehículos y maquinarias)

| Contaminante | E (ton/año) | | | | | |
|--------------|-------------|------|------|------|------|------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| HC | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,2 | 0,0 |
| CO | 5,0 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,0 | - |
| NOx | 5,7 | 2,7 | 2,4 | 2,1 | 1,3 | 0,0 |
| MP10 | 5,4 | 1,6 | 1,3 | 1,2 | 0,9 | 0,0 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 78 Emisiones totales estimadas de todas las fuentes del Proyecto

| Contaminante | E (ton/año) | | | | | |
|--------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| HC | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| CO | 5 | 2 | 2 | 2 | 1 | - |
| NOx | 6 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| MP10 | 110 | 136 | 123 | 106 | 53 | 0 |

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa del resumen final de emisiones, el Proyecto emitirá como máximo 136 toneladas al año de material particulado (MP10), considerando todas las potenciales fuentes emisoras que se generen durante el período de construcción.

El nivel de emisiones superará los límites establecidos en el DS 66/10 de MINSEHPRES, Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana para material particulado respirable (MP10) entre los años 2011 y 2015, verificándose la necesidad de compensar estas emisiones en un 150%.

De acuerdo a lo anterior, el proyecto deberá compensar los montos anuales que se señalan a continuación:

Tabla 79 Montos de emisión de material particulado (MP10) a compensar por el Proyecto

| | Material Particulado (ton/año) | | | | | |
|--------------------------|--------------------------------|------------|------------|------------|-----------|------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Emisiones del Proyecto | 110 | 136 | 123 | 106 | 53 | 0 |
| Monto a compensar | 165 | 204 | 184 | 159 | 80 | |

Fuente: Elaboración Propia

7. MEDIDA DE COMPENSACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO (MP10)

7.1 PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE MP10

Para efectos de compensar el 150% de las emisiones de material particulado del Proyecto se llevará a cabo el programa de mejoramiento de caminos del PHAM, consistente en la reconstitución de la carpeta de rodado granular de las rutas G-455 y G-25, con nivelación, compactación y riego con Cloruro de Magnesio (Bischofita), que se estima tendrá una eficiencia reducción de emisiones de PM10 del 85%, de acuerdo a al estudio de aplicación del Cloruro de Magnesio desarrollado por DICTUC⁸.

Los tramos de ruta considerados en este mejoramiento son los siguientes:

Tabla 80 Tramos de ruta considerados en el programa de mejoramiento de caminos del PHAM

| Ruta | Tramo | Longitud (km) | Disponibilidad para la compensación (km) | Observación |
|-------|--|---------------|--|---|
| G-455 | Entre la ruta G-25 y el embalse El Yeso | 22 | 21,8 | 215 m destinado a la compensación del proyecto “Líneas de Transmisión Eléctrica S/E Maitenes – S/E Alfalfal y Central Alfalfal II – S/E Alfalfal” |
| G-25 | Entre el Puente El Yeso y el área de faenas del PHAM | 21 | 21 | - |

Fuente: Anexo 5 del EIA del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (PHAM): “Programa de Compensación de Emisiones”

7.2 REQUERIMIENTOS DE COMPENSACIÓN

El requerimiento de compensación de Material Particulado (MP10) del asciende a un total de 791 toneladas, considerando todo el período de construcción (2011 a 2016), tal como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 81 Requerimiento de compensación de MP10 del Proyecto

| | MP10(ton/año) | | | | | | Total (t) |
|-------------------------------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | |
| Emisión total | 110 | 136 | 123 | 106 | 53 | 0 | 528 |
| Requerimiento de compensación | 165 | 204 | 184 | 159 | 80 | 0 | 791 |

Fuente: Elaboración propia.

⁸ ARCADIS (2008) Estudio de Impacto Ambiental “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo” Provincia Cordillera Región Metropolitana. Anexo 21 Programa de Aplicación de Controlador de Polvo. Mayo

De acuerdo a los antecedentes sobre el flujo vehicular existente en las vías a mejorar y la eficiencia del tratamiento superficial de la carpeta de rodado establecido en el programa de mejoramiento de caminos del PHAM, se calculó la reducción de emisiones de la medida de compensación.

El resultado de este cálculo se presenta a continuación:

7.2.1 Metodología del cálculo

La ecuación general que permite estimar las emisiones atmosféricas generadas por una fuente de emisión de acuerdo a U.S. EPA, United States Environmental Protection Agency⁹, es la siguiente:

Donde:

- E: Emisión
- e: Factor de Emisión
- A: Actividad de la fuente
- ER: Eficiencia del Sistema de Control de emisiones, %

El Factor de Emisión “e” es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad, que depende del tipo de fuente y contaminante a considerar. En el caso del levantamiento de polvo derivado del tránsito por caminos no pavimentados, el factor de emisión de material particulado queda dado por la siguiente ecuación¹⁰:

Ecuación 17

Donde:

- e: Factor en g/VKT
- k: Constante empírica para MP10 (lb/VMT)
- a: Constante empírica para MP10
- b: Constante empírica para MP10
- s: Contenido de finos (%)
- w: Peso medio del vehículo (Ton)
- P: Días con precipitación mayor a 0,254 mm durante período evaluado
- N: Días del período evaluado

⁹ U.S. EPA (1995) AP 42, Fifth Edition, Volume I. Introduction to AP 42. January 1995.

¹⁰ U.S. EPA (2006). AP 42, Fifth Edition, Volume I. Chapter 13: Miscellaneous Sources. November 2006. Sección 13.2.2, Ecuación 1a).

En este caso, el nivel de actividad “A” de la primera ecuación, corresponde al flujo vehicular (f), expresado en vehículos por unidad de tiempo, multiplicado por la distancia recorrida (d) por dicho flujo.

A partir de esto, la reducción de emisiones requerida mediante la aplicación de una medida de abatimiento de eficiencia “ER”, queda expresada de la siguiente manera:

y por lo tanto la distancia (d) necesaria a considerar para producir dicha reducción será:

7.2.2 Resultado

De acuerdo a información levantada en el área de proyecto con ocasión del Estudio de Impacto Vial del PHAM¹¹, los flujos horarios por las rutas G-455 y G-25 representativos de los tramos a mejorar son los siguientes:

Tabla 82 Flujos vehiculares horarios por las rutas G-455 y G-25, Base 2006 y 2011

| Ruta | Flujo vehicular en Veh/hr | | | |
|----------------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| | Base 2006 (veh/h) | Vehículos Livianos | Camiones de 2 ejes | Camiones + de 2 ejes |
| Ruta G-455 | 34 | 3 | 8 | 0 |
| Ruta G-25 | 73 | 43 | 27 | 1 |
| Tasa de crecimiento anual | 4% | 2% | 2% | 2% |
| Base proyectado al 2011 (veh/h) | | | | |
| Ruta G-455 | 41 | 3 | 9 | 0 |
| Ruta G-25 | 89 | 47 | 30 | 1 |

Fuente: AMBITRANS (2008)

Por su parte, los parámetros de cálculo del factor de emisión (e) por caminos no pavimentados según son los siguientes:

¹¹ AMBITRANS (2008). Estudio de Impacto Vial “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo” Provincia Cordillera Región Metropolitana. Informe. Mayo.

Tabla 83 Información base para el cálculo del factor de emisión para caminos no pavimentados

| Parámetro | Descripción | Unidad | Valor | Referencia |
|-----------|---|----------|-------|---|
| k | Constante empírica para MP10 | (lb/VMT) | 1,5 | U.S. EPA (2006). AP 42, Fifth Edition, Volume I. Chapter 13: Miscellaneous Sources. November 2006 |
| a | Constante empírica para MP10 | ad | 0,9 | |
| b | Constante empírica para MP10 | ad | 0,45 | |
| s | Contenido de finos | % | 10,0 | CONAMA RM (2007). Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios. Julio |
| w | Peso medio del vehículo | t | - | Ver Tabla 84 |
| P | Días con precipitación mayor a 0,254 mm | días/año | 43 | Datos de estación DGA Mapocho Los Almendros, período 2000-2009* |
| N | Días del período evaluado | días/año | 365 | - |

*Nota: Estación pluviométrica más cercana en la zona precordillerana con datos horarios disponibles.

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

El factor de emisión calculado para cada tipo de vehículo considerado en las rutas es el siguiente es el siguiente:

Tabla 84 Factores de emisión de MP10 por tipo de vehículo

| Parámetro | Vehículos Livianos | Camiones de 2 ejes | Camiones + de 2 ejes | Buses y Taxibuses |
|------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| w: Peso vehículos (t) | 1 | 22 | 30 | 30 |
| e: Factor emisión MP10 g/VKT | 210 | 777 | 893 | 893 |

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

Considerando la eficiencia de reducción de emisiones de material particulado derivado del mejoramiento de las rutas G-455 y G-25, esto es 85%, se calculó el factor de emisión de las rutas con la medida implementada y la correspondiente reducción de emisiones expresadas en gramos por VKT.

Tabla 85 Factores de emisión de MP10 de vías mejoradas y reducción de emisiones en g/VKT por tipo de vehículo

| Parámetro | Vehículos Livianos | Camiones de 2 ejes | Camiones + de 2 ejes | Buses y Taxibuses |
|------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| e: Factor emisión MP10 g/VKT | 31 | 116 | 134 | 134 |
| Δe (g/VKT) | 178 | 660 | 759 | 759 |

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

A partir de esta información y de los flujos y tramos disponibles de dichas rutas (Tabla 82 y Tabla 80, respectivamente), se calculó la reducción anual de emisiones de material particulado utilizables para compensar el Proyecto. Los resultados de este cálculo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 86 Reducción anual de emisiones de material particulado utilizables para compensar el Proyecto

| Ruta | Distancia (km) | VKT/año | | | | ΔE t/año |
|---|----------------|--------------------|--------------------|----------------------|-------------------|------------|
| | | Vehículos Livianos | Camiones de 2 ejes | Camiones + de 2 ejes | Buses y Taxibuses | |
| G-455 | 21,8 | 328.924 | 26.337 | 70.233 | 0 | 129 |
| G-25 | 21 | 680.772 | 363.900 | 228.495 | 8.463 | 541 |
| Total Reducción de emisiones t/año | | | | | | 671 |

Fuente: Elaboración propia.

A partir de este monto se verificó el requerimiento de compensación del Proyecto, tal como se resume en la siguiente tabla. El detalle de este cálculo puede ser consultado en el Anexo Planilla de Cálculo de Emisiones (hoja “Compensación MP10”).

Tabla 87 Verificación del requerimiento de compensación de MP10 del Proyecto

| Parámetro | Valor | Unidad |
|---|-------|--------|
| Requerimiento compensación (construcción 2011-2016) | 791 | t |
| Reducción anual medida compensación | 671 | t/año |
| Duración compensación | 1,2 | años |
| Vida útil de la medida | 5 | años |
| Excedente de reducción de emisiones | 2.562 | t |

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, la reducción anual de 671 t/año producida al aplicar el programa de mejoramiento de caminos del PHAM en los tramos de las rutas G-455 y G-25 indicados (ver Tabla 80), cubrirá el requerimiento de compensación del PHAM de toda su etapa de construcción (791t) al año 1,2. De este modo, considerando que la vida útil de este mejoramiento alcanzaría los 5 años, la aplicación de esta medida producirá un excedente de reducción de emisiones de 2.562 t, que corresponderá a un beneficio neto adicional del compromiso de compensación.

8. PROGRAMA DE COMPENSACIÓN

El programa de compensación de material particulado MP10 del “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo”, se ejecutará en el marco de las siguientes obras y acciones:

Tabla 88 Programa de mejoramiento de la ruta G-455, entre ruta G -25 y Embalse El Yeso del PHAM

| Obras y acciones | Descripción | Sector | Plazo de ejecución | Medida de seguimiento | Frecuencia |
|---------------------------------------|--|--|---|---|---------------------------------|
| Reposición de Carpeta Rodada Granular | CBR > 60 % desde Pk 17,8 al Pk 18,3 en un ancho de 7 m y un espesor de 15 cm. | Desde el km 17,8 al km 18,3 | Octubre 2011 a Marzo 2012 | Verificación visual en los tramos de mejoramiento de caminos, siguiendo el Protocolo de Medición de polvo y cuantificar de manera objetiva las emisiones de polvo, evaluar la eficiencia del tratamiento supresor de polvo. | Marzo – Abril de cada año |
| Riego anual de bischofita | Efecto supresor de polvo. Se estima un riego por temporada, en toda la extensión del camino. | Desde el km 0 (intersección con ruta G-25) al km 22 | Octubre 2011 a Marzo 2012 Octubre a Diciembre Años 2012, 2013, 2014 y 2015 | | Agosto – Septiembre de cada año |
| Construcción de badenes | Construcción de dos badenes en piedra natural. | Sector km 18 | Octubre 2011 a Marzo 2012 | Verificación visual | Abril – Mayo de cada año |
| Construcción muro mampostería menor | Muro de 1 m de altura para delimitar borde y contener derrames para dar tiempo al despeje manual y/o con maquinaria. | En sectores 40 m en km 3,6, 80 m km 4,2 y 300 m entre el km 17,8 al km 18,8. | Octubre 2011 a Marzo 2012 | | |
| Alargamiento de alcantarillas | Alargar tres alcantarillas cajón Tipo losa de 4 a 7 m. | En cruce de quebradas mayores en estero Aucayes | Octubre 2011 a Marzo 2012 | | |

Fuente: ARCADIS (2008) Estudio de Impacto Ambiental, Adendas 1 y 2 del “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo” Provincia Cordillera Región Metropolitana, Anexo 5 del EIA.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] AMBITRANS, 2008. *Estudio de Impacto Vial “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo” Provincia Cordillera Región Metropolitana. Informe. Mayo.*

[2] ARCADIS, 2008a. *Estudio de Impacto Ambiental, Adendas 1 y 2 del “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo” Provincia Cordillera Región Metropolitana.*

[3] ARCADIS, 2008b. *Estudio de Impacto Ambiental “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo” Provincia Cordillera Región Metropolitana. Apéndice 1, Anexo 6 Balance Preliminar de Movimientos de Tierras y Marinas. Mayo.*

[4] ARCADIS, 2008c. *Estudio de Impacto Ambiental “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo” Provincia Cordillera Región Metropolitana. Apéndice 1, Anexo 4 Informe de Estimación de Emisiones. Mayo*

- [5] ARCADIS, 2008d. *Estudio de Impacto Ambiental “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo” Provincia Cordillera Región Metropolitana. Anexo 21 Programa de Aplicación de Controlador de Polvo. Mayo.*
- [6] ARCADIS, 2008e. *Estudio de Impacto Ambiental “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo” Provincia Cordillera Región Metropolitana. Adenda 1, Anexo 5 Requisitos para el Otorgamiento del Permiso Ambiental Sectorial del PAS 94 Calificación Industrial Planta de Producción de Hormigón” . Noviembre*
- [7] CARB, 2002. *Area Source Methodologies. Sección 7.7: Building Construction Dust. September 2002.*
- [8] CONAMA RM, 2007. *Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios. Julio.*
- [9] CONAMA, 2009. *Guía metodológica para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes.*
- [10] MINSEGPRES, 2010. *Decreto 66. Revisa, Reformula y Actualiza Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA).*
- [11] U.S. EPA, 1982. *AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 11: Mineral Products Industry Section 11.24 Metallic Minerals Processing. August.*
- [12] U.S. EPA, 1995. *AP 42, Fifth Edition, Volume I. Introduction to AP 42. January 1995.*
- [13] U.S. EPA, 1998. *AP 42, Fifth Edition, Volume I. Chapter 11: Mineral Products Industry. October 1998.*
- [14] U.S. EPA, 2003. *“Background Information for Revised AP-42 Section 11.19.211.19.2, Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing”.* May.
- [15] U.S. EPA, 2004a. *Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling--Compression-Ignition. EPA420-P-04-009 Revised April.*
- [16] U.S. EPA, 2004b. *AP 42, Fifth Edition, Volume I. Chapter 11: Mineral Products Industry Section 11.19.2 Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing. April, 2004.*
- [17] U.S. EPA, 2006a. *AP 42, Fifth Edition, Volume I. Chapter 13: Miscellaneous Sources. Section 13.2.4 Aggregate Handling and Storage Piles. November 2006.*
- [18] U.S. EPA, 2006b. *AP 42, Fifth Edition, Volume I. Chapter 13: Miscellaneous Sources. November 2006.*
- [19] U.S. EPA, 2006c *AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 11: Mineral Products Industry. Section 11.12 Concrete Batching. June.*
- [20] U.S. EPA, 2009. *AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 15: Ordnance Detonation. Section 15.9 Blasting Caps, Demolition Charges, and Detonators. July*
- [21] WRAP, 2006. *Fugitive Dust Handbook*

ANEXO
PLANILLA DE CÁLCULO DE EMISIONES

Se adjunto en DC