



**Corporación Nacional del Cobre de Chile**  
División Gabriela Mistral  
Gerencia de Sustentabilidad y Seguridad  
Avda. 11 Norte 1291 Villa Exótica-edificio institucional Calama  
Región de Antofagasta, Chile  
[www.codelco.com](http://www.codelco.com)

**GS DN 188/2024**

Señora  
Marie Claude Plumer Bodin  
Superintendente del Medio Ambiente  
Santiago

**Mat: Envía propuesta metodológica de cuantificación de emisiones anuales de material particulado respirable MP10**

De nuestra consideración:

Mediante Res. Ex. 204/2024 publicada el 12 de marzo del presente, el Ministerio de Medio Ambiente aprueba las medidas provisionales en conformidad con el Art. 43 BIS de la ley 19.300 y medidas complementarias para la zona saturada de la ciudad de Calama y su área circundante.

El Art. 1.ii de la mencionada resolución indica que CODELCO debe presentar ante la Superintendencia del Medio Ambiente, en el plazo de un mes, una propuesta metodológica de cuantificación de emisiones anuales de material particulado respirable MP10 en ton/año.

Para cumplir con lo anterior, se adjunta a la presente carta, las propuestas metodológicas de estimación de emisiones y todos sus anexos, para las divisiones Ministro Hales, Chuquicamata y Radomiro Tomic, junto con Tranque Talabre, dando cumplimiento a lo requerido.

Sin otro particular, le saluda atentamente,

**Cristhian de la Piedra Raval**  
Gerente Sustentabilidad y Asuntos Externos  
CODELCO Distrito Norte



# METODOLOGÍA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MP<sub>10</sub> PARA TRANQUE TALABRE

RES. EX. N°204/2024

MEDIDAS PROVISIONALES CALAMA

**GERENCIA SUSTENTABILIDAD DISTRITO NORTE**

Abril 2024

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento, tiene por objetivo presentar la propuesta metodológica de estimación de emisiones anuales de material particulado respirable MP<sub>10</sub> en ton/año, asociadas a las fuentes emisoras del Tranque de Relaves Talabre (TT) de Codelco, ubicado a 12 kilómetros de la ciudad de Calama, a la Superintendencia del Medio Ambiente con la finalidad de dar cumplimiento al Art 1.ii de la Res. Ex. 204/2024 que aprueba las medidas provisionales para la zona saturada de Calama.

Este documento entrega una metodología de cálculo de emisiones basada en:

- Factores de Emisión de las Guías vigentes del Ministerio del Medioambiente.
- Factores de Emisión basado en documentos oficiales US-EPA.

La propuesta incluye, además, una descripción detallada de los procesos de cada una de las fuentes emisoras de material particulado, descripción que considera los sistemas y equipos de abatimiento existentes. Finalmente, el documento también incorpora la interrelación entre Divisiones de procesos emisores de material particulado.

Cabe destacar que el contaminante incluido en esta metodología corresponde al MP<sub>10</sub> que es el que da origen a la zona saturada de Calama y sus alrededores y es el contaminante por el cual se solicita la metodología de estimación de emisiones.

El listado de fuentes emisoras consideradas para División Chuquicamata se muestra en las Tabla 1.

**Tabla 1: Resumen de Metodología para estimar emisiones de MP<sub>10</sub> de TT**

Item	Actividad emisora	Guía de Referencia
1	Carga / Descarga de Material	Guía MMA 2020
2	Excavación/Movimiento de Material por uso de Maquinaria Pesada	Guía MMA 2020
3	Erosión eólica	Guía MMA 2020
4	Tránsito por caminos no pavimentados industriales	Guía MMA 2020
5	Tránsito por caminos pavimentados	Guía MMA 2020
6	Combustión del motor de vehículos	Guía MMA 2020
7	Combustión del motor de maquinaria	Guía MMA 2020
8	Combustión Grupos Electrogenos	Guía MMA 2020

# CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES PARA EL TRANQUE TALABRE</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>FUENTES EMISORAS</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Carga/Descarga de Material</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Excavación/Movimiento de Material por uso de Maquinaria Pesada</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Erosión eólica Tranque Talabre</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Tránsito por caminos no pavimentados industriales</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1.5</b>	<b>Tránsito por caminos pavimentados</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1.6</b>	<b>Combustión del motor de vehículos</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1.7</b>	<b>Combustión del motor de maquinaria</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1.8</b>	<b>Combustión de grupos electrógenos</b> .....	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>IDENTIFICACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MP<sub>10</sub></b> .....	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>28</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

La Res. Ex. N°204/2024 del Ministerio de Medio Ambiente aprueba las medidas provisionales para la ciudad de Calama y establece el requerimiento para las fuentes mineras de la zona declarada como saturada, de presentar una metodología para cuantificar las emisiones máximas permitidas de MP<sub>10</sub>.

El Tranque de Relaves Talabre de Codelco Distrito Norte, se ubica en la zona saturada, por tanto, está sujeto a la obligación de presentar una metodología de cálculo de emisiones, la cual, una vez aprobada, deberá ser utilizada para estimar sus emisiones a partir del día primero del mes siguiente a dicha aprobación.

Para acreditar el cumplimiento de las emisiones máximas de MP<sub>10</sub>, CODELCO deberá entregar a la SMA, en marzo de cada año, un Informe Anual que dé cuenta del cumplimiento de las emisiones anuales máximas permitidas, respecto al año calendario anterior.

En el presente documento, se describen las metodologías propuestas para el cálculo de emisiones en cada uno de los tipos de fuentes emisoras identificadas abarcando la totalidad de las actividades desarrolladas en el Tranque de Relaves Talabre.

## 2 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES PARA EL TRANQUE TALABRE

Se presenta a continuación, una propuesta metodológica para estimar emisiones de MP<sub>10</sub> del Tranque Talabre (TT), de manera de satisfacer el requerimiento del artículo 25 del PDAC.

La metodología incluye los factores y ecuaciones necesarias para el cálculo, y también los requerimientos de información asociados a los niveles de actividad, eficiencias y parámetros. Se incluye como anexos, un protocolo para medición de parámetros locales y verificación de eficiencia para el tránsito de vehículos por caminos no pavimentados al interior del Tranque Talabre.

Los factores corresponden a los definidos por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (US-EPA) en el documento AP-42, además de otros documentos y estudios aprobados por la autoridad ambiental chilena. Entre ello se destaca la utilización de la Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana, MMA 2020.

Los factores de emisión pueden definirse como valores representativos que relacionan la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con la actividad asociada a la generación de ese contaminante. Estos factores se expresan generalmente como la masa del contaminante dividido por una unidad de masa, volumen, distancia, o duración de la actividad emisora.

Estos factores permiten la estimación de emisiones de diversas fuentes contaminantes. En la mayoría de los casos, estos factores son promedios de toda la información disponible de calidad aceptable, y se asumen generalmente como representativos de los promedios a largo plazo para todas las instalaciones en la categoría de la fuente emisora.

La ecuación general para la estimación de emisiones de una fuente dada es la siguiente:

$$E = NA * FE * \left(1 - \frac{RE}{100}\right)$$

Donde:

- E* : Tasa de emisión
- NA* : Nivel de actividad
- FE* : Factor de emisión
- RE* : Eficiencia global de reducción de emisiones, en %

Como ejemplo, el nivel de actividad (NA) corresponde para el caso de la erosión eólica, a la superficie expuesta al viento, a los kilómetros totales recorridos por vehículos, al consumo

total combustible, al tiempo de operación de maquinaria, entre otros, los cuales se especifican en este documento para cada fuente y proceso.

El factor de emisión (FE) se puede obtener de bibliografía como por ejemplo AP-42, Guías de la autoridad ambiental chilena, entre otras fuentes, previa conversión a unidades consistentes.

La eficiencia de abatimiento (RE) se considera como aquella medida mitigadora de la emisión del contaminante a la atmosfera, que disponga de algún estudio o documento que corrobore los niveles que se utilicen.

Cabe destacar que es importante que las metodologías indicadas a emplear en el presente documento para, la determinación de los distintos factores de emisión o determinación de parámetros claves como el % de fino (contenido de silt bajo malla 200) % de humedad y/o cálculo de % de eficiencia, pueden variar en función al avance tecnológico que pueda tener la industria y/o actualización de guías que se usaron como base para el presente documento. Por lo tanto, esta propuesta metodológica de estimación de emisiones podría ser complementada a través de la incorporación de levantamiento de información de factores de emisión locales, que aporten a consolidar a través de estudios científicos, la robustez de la información y/o en el futuro, en caso de que se desarrollen nuevas tecnologías de monitoreo y que estén disponibles, considerarlas para el mejoramiento de la estimación de los niveles de emisión.

En esta misma línea, las actividades de muestreo, medición, análisis, inspección y/o verificación, serán realizadas por Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFA), que cuenten con autorización vigente en los alcances correspondientes a la actividad que debe informar. En todos aquellos casos en que no exista un alcance autorizado por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), las actividades antes señaladas, relativas a alcances no autorizados serán ejecutadas por cualquier empresa que cuente con acreditación vigente con el Instituto Nacional de Normalización o la entidad que la suceda, o con algún organismo de acreditación internacional reconocido por la Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC) para las actividades correspondientes. De no existir ninguna entidad que cumpla con lo establecido en los párrafos precedentes, se ejecutarán tales actividades con alguna persona jurídica o natural, externa a Codelco, que preste el servicio, tal como lo establece la resolución exenta N° 574/2022.

## 2.1 FUENTES EMISORAS

Para Tranque Talabre (en adelante TT), se identificaron 8 “tipos de fuente” emisoras del contaminante MP<sub>10</sub>, las cuales se indican en la siguiente **Tabla II.1.** así como la referencia para estimar sus emisiones.

**Tabla II.1: Fuentes Emisoras - TT**

Item	Actividad emisora	Guía de Referencia
1	Carga / Descarga de Material	Guía MMA 2020
2	Excavación/Movimiento de Material por uso de Maquinaria Pesada	Guía MMA 2020
3	Erosión eólica	Guía MMA 2020
4	Tránsito por caminos no pavimentados industriales	Guía MMA 2020
5	Tránsito por caminos pavimentados	Guía MMA 2020
6	Combustión del motor de vehículos	Guía MMA 2020
7	Combustión del motor de maquinaria	Guía MMA 2020
8	Combustión Grupos Electrogenos	Guía MMA 2020

Como contexto, indicar que el Tranque Talabre, se ubica en el sector del Salar de Talabre, opera desde el año 1952, en la actualidad tiene una superficie aproximada de 6.500 hectáreas y permite hoy la disposición conjunta de los relaves provenientes de las plantas concentradoras de las División Ministro Hales y División Chuquicamata y en un futuro de la planta concentradora de División Radomiro Tomic. La cubeta se encuentra confinada por cinco muros principales, denominados Muros Norte, Oeste, Sur, Noroeste I y Noroeste II.

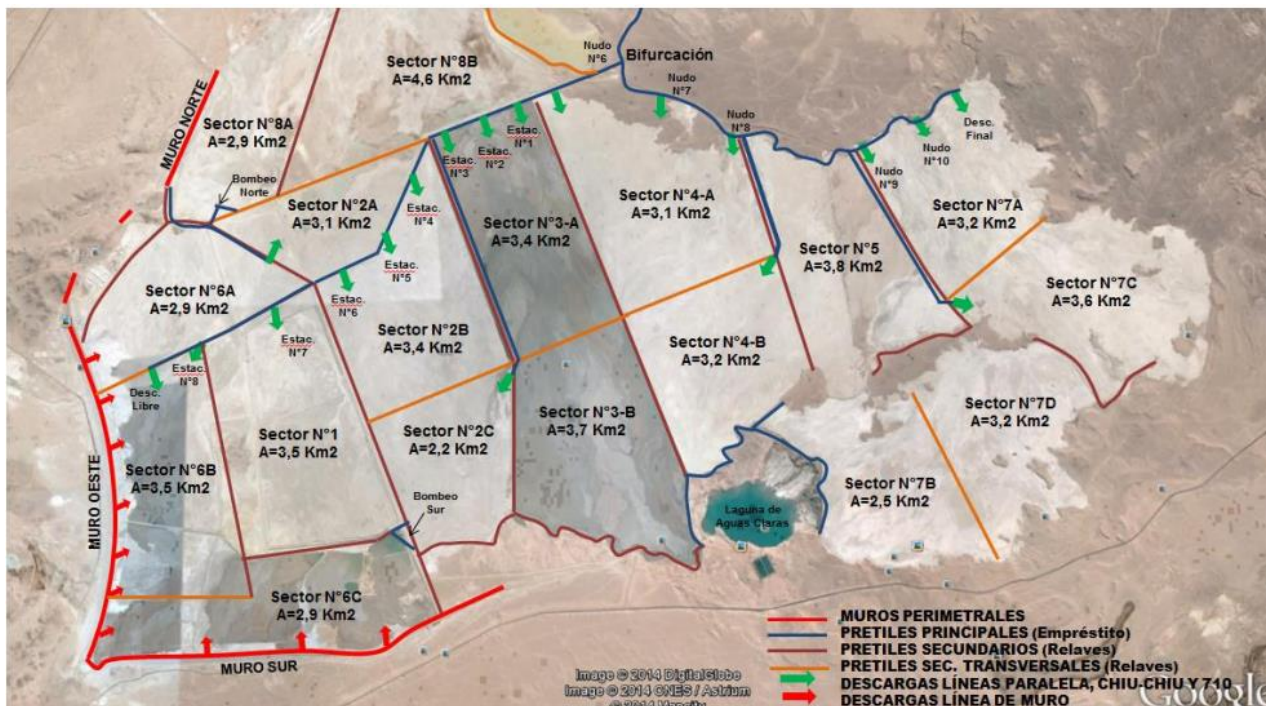
El llenado de la cubeta del depósito se realiza por sectores (parcelas y subparcelas) delimitadas mediante pretilas, estableciéndose pendientes preferenciales de depositación, convergentes hacia una laguna de captación de aguas claras. Esto permite reducir las superficies evaporantes y junto con un adecuado sistema de captación y regulación, aumentar el potencial de recuperación de aguas y con esto reducir el consumo de aguas frescas en el proceso productivo. En complemento, el sistema de llenado también permite mantener una mayor humedad y cobertura de la cubeta, lo cual reduce la emisión de material particulado por acción del viento (erosión eólica).

El relave es transportado desde División Chuquicamata y División Ministro Hales a través de un canal de relaves principal, en forma gravitacional, convergiendo en un punto denominado cámara de carga C-1, desde donde comienza el sistema de distribución de relaves, compuesto por un sistema de tuberías de distribución que incluye cuatro líneas de conducción de relaves: línea Chiu-Chiu, paralela, DMH (710) y muro, las cuales conducen los relaves directo hacia la cubeta (parcelas y subparcelas), mientras que la línea de muros, permite generar playas con el objeto de evitar el contacto directo del agua contenida en el relave con el talud interno de los muros perimetrales.



La depositación de relaves en el Tranque Talabre se realiza en función de un “Plan de Llenado” en sectores definidos (parcelas y subparcelas). Una vez que sedimentan los sólidos, el flujo escurre hacia los sectores bajos del tranque, conformando lagunas de aguas claras, las que son conducidas mediante canalizaciones y/o sistemas de bombeo móviles, hacia el sector sur de la cubeta, desde donde son recuperadas y recirculadas hacia las plantas concentradoras de División Ministro Hales y División Chuquicamata para ser utilizadas, principalmente en los procesos de concentración.

En la **Figura 2.1**, layout general del Tranque Talabre:



**Figura 2.1:** Layout General Tranque Talabre

Por otra parte, en la **Figura 2.2** se muestra un diagrama de proceso general del Tranque Talabre con sus operaciones unitarias principales: depositación de relaves en la cubeta y muros perimetrales y la recuperación de aguas claras y su envío a los procesos de concentración de sulfuros en División Ministro Hales y División Chuquicamata.

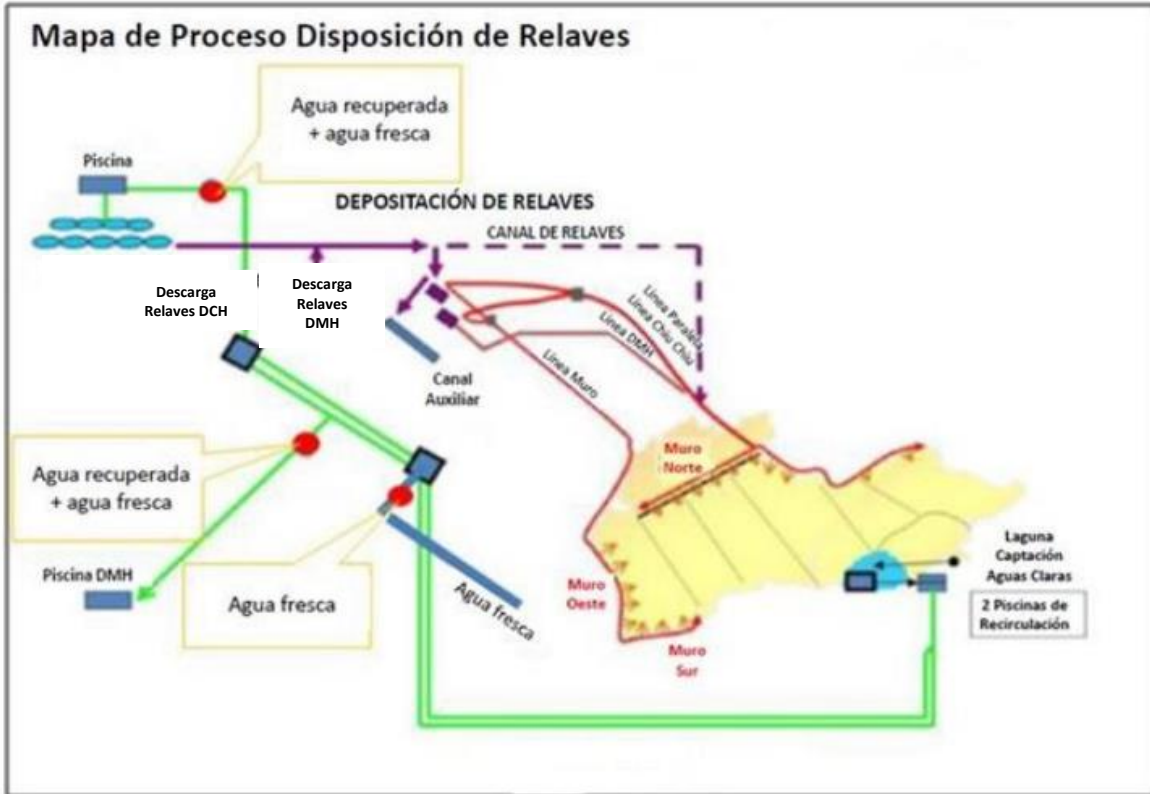


Figura 2.2: Diagrama de proceso general Tranque Talabre

Ambos procesos son húmedos por lo que no generan emisiones de material particulado. Siendo los procesos de construcción/operación de sectores de deposición de relaves junto con la erosión eólica de la cubeta, las que aportan la mayor cantidad del material particulado por la operación del tranque, y en menor medida el aporte de tránsito de vehículos por caminos no pavimentados y el funcionamiento de grupos electrógenos asociado a algunos pozos de la barrera hidráulica del tranque. En el siguiente recuadro se resume lo anterior:

Tabla II.2: Fuentes Emisoras - TT

Fuente emisora	Emisiones puntuales	Emisiones areales
Construcción de sectores deposición relaves	X	X
Erosión eólica desde cubeta		X
Tránsito de vehículos por caminos no pavimentados		X
Emisión de grupos electrógenos	X	

El objetivo de la sectorización por parcelas es reducir las áreas de deposición a menos de 400 hectáreas, para mantener en el sector una playa activa constante disminuyendo las pérdidas por concepto de mojado repetido (re-saturación de las áreas activas) y con ello aumentar la eficiencia de recuperación de agua en el TT.

La planificación generada entrega información de la secuencia de llenado para las etapas en curso, además identifica la siguiente información:

- Sector de depositación.
- Tonelaje de producción de material beneficiado proyectado.
- Fecha de ingreso al sector.
- Fecha de salida del sector.
- Días totales de descarga.
- Volumen de almacenamiento por periodo.
- Tasa de almacenamiento diario.

A modo de ejemplo se muestra imagen del plan de llenado 2022-2024 del tranque.

PLAN DE LLENADO TRANQUE TALABRE, SEPTIEMBRE 2022								
Plano N°	Sector	Tratamiento Total (TPD)	Tonelaje a sector (TPD)	Fecha de inicio	Fecha de término	Días de descarga	Volumen Almacenado sector	
							Periodo (Mm3)	Día (Mm3)
1	7D (Paralela / Chiu Chiu / 710)	169,063	164,329	30-03-22	23-04-22	24	2.72	0.113
	6A (Linea Muro) *Triangulo - PD3-PD4*	51,943	50,489	30-03-22	23-04-22		0.84	0.035
1	7D (Paralela / Chiu Chiu / 710)	159,142	154,686	24-04-22	28-06-22	65	6.93	0.107
	3C (Linea Muro)	61,378	59,659	24-04-22	28-06-22		2.67	0.041
2	7B (Paralela / Chiu Chiu / 710)	162,224	157,682	29-06-22	12-09-22	76	8.26	0.109
	3C (Linea Muro)	61,728	60,000	29-06-22	12-09-22	76	3.14	0.041
4	4	237,658	231,003	13-09-22	06-11-22	54	8.60	0.159
5	4	160,497	156,003	07-11-22	12-01-23	66	7.10	0.108
	8A	77,160	75,000	07-11-22	12-01-23	66	3.41	0.052
6	3B+Capt	241,537	234,774	13-01-23	08-04-23	86	13.92	0.162
	3B+Capt	179,809	174,774	09-04-23	08-05-23	30	3.62	0.121
	2D (Linea Muro)	66,872	65,000	09-04-23	08-05-23	30	1.34	0.045
7	2B+2C	175,183	170,278	09-05-23	09-06-23	32	3.76	0.117
	2D (Linea Muro)	66,872	65,000	09-05-23	09-06-23	32	1.43	0.045
8	2B+2C	164,895	160,278	10-06-23	26-08-23	78	8.62	0.111
	6 playas	77,160	75,000	10-06-23	26-08-23	78	4.03	0.052
9 ex 11	6 playas (norte muro Oeste)	80,000	77,760	27-08-23	02-11-23	69	3.69	0.054
	6C Ampl	163,320	158,747	27-08-23	02-11-23	69	7.55	0.109
10 ex 10	6 playas (norte muro Oeste)	77,160	75,000	03-11-23	24-11-23	22	1.13	0.052
	6 playas	77,160	75,000	25-11-23	06-01-24	43	2.22	0.052
	6 int	166,306	161,650	03-11-23	06-01-24	65	7.19	0.111
11 ex 9	6 playas	77,160	75,000	07-01-24	28-07-24	204	10.55	0.052
	S1	164,895	160,278	07-01-24	23-05-24	138	15.25	0.111
	8C+8B+8A(orient)	164,895	160,278	24-05-24	28-07-24	66	7.30	0.111
12 ex 12	8C+8B+8A(orient)	243,467	236,650	29-07-24	03-11-24	98	15.99	0.163

Figura 2.3: Plan de llenado Tranque Talabre Año 2022-2024

Cabe señalar que esta información es referencial y solo tiene por propósito mostrar cómo se trabaja la planificación de la actividad de depositación para obtener los resultados esperados de recuperación de aguas y reducción del material particulado en la cubeta por erosión eólica. Esta planificación puede variar en función de requerimientos operacionales.

En la siguiente **Tabla II.3** se detalla la información de superficie de los sectores de depositación:

**Tabla II.3: Superficie Parcelas y Subparcelas - TT**

Parcela	Subparcela	Superficie [Km2]
1	No tiene	2,7
2	2A Oeste	0,1
	2A Este	1,5
	2B	3,5
	2C	1,7
	2D Norte	0,2
	2D Sur	0,5
3	3A	3,4
	3B	3,2
	3C	0,9
4	4A	4,4
	4B Norte	2,3
	4B Sur	0,2
5	No tiene	3,8
6	6C	2,2
	6I	2,3
	6P	4,0
7	7A'	1,4
	7A	1,5
	7B	3,4
	7C	4,6
	7D	3,5
8	8A	4,1
	8B	7,2
	8C	2,6

Cabe mencionar que la sectorización y/o la superficie de las parcelas y subparcelas puede ser modificada en el tiempo en función de requerimientos operacionales del tranque.

Respecto a otras características de las parcelas y subparcelas, importante indicar lo siguiente:

- Tipo de suelo: relave convencional
- Pendiente: 0,003% pendiente media
- Cobertura Vegetacional: No posee
- Granulometría: el 50% de los relaves se encuentra bajo malla 200. Informe E700 remitido al SERNAGEOMIN.

En el siguiente recuadro se presenta el estado actual de las parcelas y subparcelas clasificadas en activas, inactivas y en preparación según informe de seguimiento del plan de llenado del tranque correspondiente al mes de septiembre de 2022.

**Tabla II.4: Estado Parcelas y Subparcelas - TT**

Parcela	Subparcela	Estado
1	No tiene	Activa
2	2A Oeste	Activa
	2A Este	Activa
	2B	Activa
	2C	Activa
	2D Norte	Activa
	2D Sur	Activa
3	3A	Inactiva
	3B	En preparación
	3C	Activa (en depositación)
4	4A	Activa

	4B Norte	Activa
	4B Sur	Activa
5	No tiene	Activa
6	6C	Activa
	6I	Activa
	6P	Activa
7	7A'	Activa
	7A	Activa
	7B	Activa (en depositación)
	7C	Activa
	7D	Activa
8	8A	Activa
	8B	Activa
	8C	Activa

Donde:

- Parcelas activas: En proceso de depositación o con depositación finalizada en un tiempo menor e igual a 3 años desde terminada la depositación.
- Parcelas inactivas: Sin proceso de depositación finalizada en un tiempo mayor a 3 años.
- Parcela en preparación: Sector en preparación para recibir relaves según el plan de llenado.

En **Anexo D**, se adjunta KMZ con el detalle de las parcelas y subparcelas del Tranque Talabre.

Mencionado lo anterior, a continuación se describe cada fuente emisora al interior del TT, su factor emisor y referencia, así como el nivel de actividad requerido para el cálculo.

### 2.1.1 Carga/Descarga de Material

Consiste en el manejo de material, en este caso relave o empréstitos al interior de la cubeta del TT para la construcción de muros y pretiles interiores. La transferencia del material se realiza por maquinaria pesada como Excavadoras, Cargadores Frontales, entre otros.

Durante el arrastre y la transferencia se generan emisiones de material particulado tanto por caída como por movimiento del material. Además, estas máquinas operan por combustión interna con petróleo.

Para el cálculo de emisiones se utiliza el factor de emisión obtenido en la “Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana, MMA 2020”.

$$FE_{MP10} = k * 0,0016 * \frac{\left(\frac{U}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}}$$

Donde:

FE : Factor de emisión (kg/ton).

k : Factor tamaño partícula MP<sub>10</sub> = 0,35

U : Velocidad media del viento (m/s). Datos de la estación Fundición.

M : Contenido de humedad del material (%).

El **nivel de actividad (NA)** corresponde a la cantidad de material (Toneladas) removido en el mes. El control se llevará de acuerdo a lo siguiente:

Fuente emisora	Nivel de Actividad (NA)	Ruta de Cálculo	Frecuencia	¿Cómo se registra?	Medio de Verificación	Área Operacional	Responsable
Carga y descarga de material	Toneladas de material cargadas y descargadas	N/A	Mensual	Reporte de avance	Estado de Pago Empresa Contratista	Gerencia Aguas y Relaves DCH	Jefe Relaves

**La actividad de Carga y Descarga de material tiene como medida de mitigación de material particulado la humectación de los frentes de trabajo.**

### 2.1.2 Excavación/Movimiento de Material por uso de Maquinaria Pesada

Al igual que con la actividad de Carga/Descarga el TT posee un plan de construcción y mantenimiento el cual comprende la sectorización del área de depositación de Relaves, mediante obras de contención de relaves (pretil) y obras de conducción y evacuación de aguas (canalización por medio de zanjas).

La sectorización de la cubeta se materializa por medio de: un pretil principal construido por etapas y corresponde a un relleno compactado, construido con material de relaves o de empréstito, sobre el cual se emplaza un tendido de tuberías (líneas Chiu-Chiu, Paralela, DMH y Muros) con sus respectivas descargas, pretil secundarios, los cuales pueden corresponder a un relleno no-compactado.

Por otra parte, en el extremo sur de cada sector (aguas abajo con respecto a la depositación de relaves) se proyectan obras de conducción de aguas en dirección a la laguna de aguas claras, estas consisten en canalizaciones materializada por zanjas en terreno y protegidas por un pretil de contención emplazados inmediatamente aguas arriba de éste.

La emisión de material particulado está dada por las operaciones de carga/descarga de material, excavaciones/compactación, tránsito y motores de combustión de los equipos utilizados. Siendo variables el tipo y cantidad de equipos utilizados, en función de las necesidades constructivas de los sectores de depositación y la disponibilidad de equipos por parte del contrato a cargo de su construcción y mantenimiento del tranque.

Para el cálculo de emisiones se utiliza el factor de emisión obtenido en la “Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana, MMA 2020”.

$$FE_{MP10} = \frac{0,75 * 0,45 * (s)^{1,5}}{(M)^{1,4}}$$

Donde:

- FE : Factor de emisión (kg/h).  
s : Contenido de finos del material a excavar o mover (%).  
M : Contenido de humedad del material a excavar o mover (%).

El **nivel de actividad (NA)** se define como el número de horas de operación de la excavadora o maquinaria pesada por mes. El registro de la actividad se lleva a través de la siguiente información:

Fuente emisora	Nivel de Actividad (NA)	Ruta de Cálculo	Frecuencia	¿Cómo se registra?	Medio de Verificación	Área Operacional	Responsable
Excavación / Movimiento Material	Horas de operación maquinaria	N/A	Mensual	Reporte avance	Estado de Pago Empresa Contratista	Gerencia Aguas y Relaves DCH	Jefe Relaves

El nivel de actividad se determina dividiendo el volumen a excavar por el rendimiento de la maquinaria utilizada en la excavación. Por defecto, se puede considerar que para una máquina con capacidad de palada de 0,9 (m<sup>3</sup>), se tiene un rendimiento igual a 54,27 (m<sup>3</sup>/h), aplicando una eficiencia del 67% (Caterpillar, 2017). Cabe señalar que dicho rendimiento hace referencia a metros cúbicos sueltos de tierra excavada, por lo tanto, al momento de determinar las horas de operación de la excavadora, se debe utilizar el volumen de tierra esponjado en un 20% (INN Chile, 2000).

La flota de maquinaria de apoyo para la operación del Tranque Talabre se detalla a continuación:

**Tabla II.3: Flota de Maquinaria de Apoyo - TT**

Equipos Pesados	Marca	Modelo	Cantidad
Excavadora	JCB	JC 200 LC	2
Excavadora	Hyundai	260 LC - 9	1
Excavadora	John Deere	210 GLC	2
Excavadora	New Holland	E 215 C	2
Excavadora	Caterpillar	313 DL	1
Excavadora	Komatsu	PC-200 LC	1
Retroexcavadora	Komatsu	WB 97 R	1
Cargador frontal	Komatsu	WA 470	2

Bulldozer	Komatsu	155	1
Bulldozer	Caterpillar	D8-T	2
Rodillo	Caterpillar	CS-533 E	1
Motoniveladora	Komatsu	GD 675	1

### 2.1.3 Erosión eólica Tranque Talabre

Esta fuente corresponde a la actividad de erosión eólica en sectores de acopio de material o áreas expuestas a erosión por acción del viento al interior de la cubeta del TT. Estas emisiones se generan dado que el viento alcanza velocidades considerables en la zona de Calama y el Tranque Talabre, especialmente en las tardes.



**Figura 2.4: Cubeta Tranque Talabre Expuesta a Erosión Eólica**

En relación con el Factor de Emisión, la presente propuesta metodológica utiliza la ecuación de la Guía MMA 2020, la cual considera el tamaño de la partícula, el contenido de finos del material, y el porcentaje de velocidad del viento mayor a un umbral.

Esta ecuación es:

$$FE_{MP10} = k * \frac{s}{1,5} * \frac{f}{15}$$

Donde:

FE : Factor de emisión (kg/ha-día).

k : Factor tamaño partícula  $MP_{10} = 0,953$

s : Contenido de fino del material (%).



f : Porcentaje del tiempo en que la velocidad del viento (Estación Talabre 3) no obstruido es mayor a 5,4 m/s a la altura media de la pila.

El **nivel de actividad (NA)** se obtiene tras la multiplicación de las hectáreas de acopio por parcela y sub parcela por los días al mes que se mantiene el relave depositado.

Por otra parte, en caso de eventos de lluvia el factor de emisión se debe ajustar de acuerdo con lo que establece el documento “WRAP Fugitive Dust Handbook”, base de la Guía del MMA 2020, donde el punto 9.3 se establece que el factor de corrección por lluvia aplicara cuando se registren precipitaciones correspondientes al menos a 0,254 mm de agua caída en un día.

Los factores de emisión entonces se ajustan de la siguiente manera:

$$FE_{ext} = FE * 1 - \left( \frac{P}{365} \right)$$

Donde:

FE<sub>ext</sub> : Factor de Emisión ajustado con mitigación natural.

P : Número de días con precipitación sobre 0,254 mm.

Para el cálculo del factor de emisión, se determinará el contenido de fino de la superficie del Tranque Talabre en las parcelas y sub parcelas que se encuentren activas, a través de 4 campañas de monitoreo de tipo estacional (una por cada estación del año) donde se tomara una muestra de % de fino y % de humedad por parcela con el objetivo de poder caracterizar la variación de estas variables. El protocolo para la toma de este tipo de muestra se detalla en el **Anexo A** del presente documento.

Cabe destacar que para el Tranque Talabre, se considera como **medida de mitigación**, la formación de una costra salina formada por la fuerte cohesión de las partículas del relave en la superficie de la cubeta, la cual, mantiene su integralidad por períodos extensos de tiempo después de la última descarga (períodos iguales o incluso superiores 3 años).

Por lo tanto, para la determinación de la presencia de la costra salina, se define como criterio un periodo de 3 años como máximo de depositación de relave en las parcelas y sub parcelas, lo anterior, de acuerdo a estudio realizado por MYMA para el Tranque Talabre en el año 2014 el cual se adjunta en **Anexo E**.

En resumen, esto quiere decir que, la superficie de las parcelas expuestas a la erosión eólica, que tengan una costra salina menor a tres años desde la última depositación de relave en

su superficie, poseen una eficiencia de 100% dado que el relave, estaría contenido bajo esta costra salina por lo tanto no estaría en contacto con el viento.

Por otra parte, indicar que este criterio de mitigación también fue utilizado por el DICTUC al momento de realizar la estimación de emisiones para el Tranque Talabre cuando determino la línea de base para el año 2016 en el marco de la confección del PDAC.



**Figura 2.5: Costra Salina en Cubeta Tranque Talabre**

Dicho lo anterior, la medida de mitigación incorporada en la presente metodología será corroborada anualmente a través del plan de llenado del Tranque Talabre indicado en la **Figura 2.3** del presente documento.

#### **2.1.4 Tránsito por caminos no pavimentados industriales**

Esta fuente corresponde a la actividad de resuspensión de partículas en caminos no pavimentados producto del tránsito de vehículos livianos y pesados en el Tranque Talabre.

Para el cálculo de emisiones se utiliza el factor de emisión obtenido en la “Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana, MMA 2020”.

$$FE_{MP10} = k * 281,9 * \left(\frac{s}{12}\right)^{0,9} * \left(\frac{W}{2,72}\right)^{0,45}$$

Donde:

- FE : Factor de emisión (g/km-vehículo).
- k : Factor tamaño partícula  $MP_{10} = 1,5$
- s : Contenido de finos presentes en el camino no pavimentado (%).
- W : Peso promedio de la flota que transita por el camino no pavimentado (ton).

El peso W que se utiliza en la fórmula, corresponde al peso promedio de la flota de vehículos que circula por un arco de la red vial. El cálculo considera el peso de cada tipo de vehículo, ponderado por el flujo vehicular de ese tipo de vehículo, y dividido por el flujo total.

El peso promedio de la flota (W), para un determinado camino no pavimentado, se calcula con la siguiente ecuación:

$$W = \frac{\sum_i^n [\bar{P}_i x Nv_i]}{\sum_j^n Nv_j}$$

Donde:

W : Peso promedio de la flota que transita por un determinado camino no pavimentado y mes (ton).

$\bar{P}_i$  : Promedio entre el peso con y sin carga (ton) del vehículo que hace un determinado tipo de viaje i

$Nv_i$  : Número de viajes del tipo de viaje i, en el mes.

$Nv_j$  : Número de viajes del tipo de viaje j, en el mes.

n : Cantidad de tipos de viajes en el mes.

Por otro lado, el factor de emisión se debe ajustar cuando existen días con precipitaciones mayores a 0,254 mm ya que se considera un abatimiento natural.

Los factores de emisión entonces se ajustan de la siguiente manera:

$$FE_{ext} = FE * 1 - \left( \frac{P}{365} \right)$$

Donde:

FEext : Factor de Emisión ajustado con mitigación natural.

P : Número de días con precipitación sobre 0,254 mm.

Para el **nivel de actividad (NA)**, el cual corresponde a los kilómetros totales recorridos totales por cada tipo de vehículo que circula por una ruta, se considera el número de viajes de ida y vuelta de cada vehículo o la obtención del dato de informes operacionales de acuerdo con el siguiente detalle:

Fuente emisora	Nivel de Actividad (NA)	Ruta de Cálculo	Frecuencia	¿Cómo se registra?	Medio de Verificación	Área Operacional	Responsable
Tránsito por caminos no pavimentados industriales	Kilómetros recorridos de cada tipo de vehículo	N/A	Mensual	Reporte movimiento flota contratista	Estado Pago Empresa Contratista	Gerencia Aguas y Relaves	Jefe Relaves

En caso de determinar el nivel de actividad por el número de viajes, el cálculo se obtiene de la siguiente manera:

- En primer lugar, se divide el volumen de material a transportar, por la capacidad en metros cúbicos del camión que lo transporta, luego, este resultado se debe redondear al entero superior.

- De forma paralela, se dividen las toneladas de material a transportar, por la capacidad en toneladas del camión que lo transporta, y al igual que en el caso anterior, este resultado se redondea al entero superior.
- Finalmente, el número de viajes de ida corresponde al máximo entre los dos resultados obtenidos anteriormente, puesto que de esta manera se asegura que no se sobrepase la capacidad de los vehículos, tanto en volumen como en peso. Para obtener los viajes de ida y vuelta, se debe multiplicar el valor obtenido por dos.

Por otra parte, para el cálculo del número de viajes de tierra y escombros se debe considerar un esponjamiento del 20% y 40%, respectivamente, acorde a lo señalado en la Tabla 2 de (INN Chile, 2000).

En **Anexo C** se detalla KMZ con las principales rutas correspondientes al Tranque Talabre. Cabe destacar que se determinara el contenido de fino en los caminos, a través de 4 campañas de monitoreo de tipo estacional (una por cada estación del año) con el objetivo de poder caracterizar la variación del contenido de fino en los caminos no pavimentados. El protocolo para la toma de muestra se detalla en el **Anexo A**.

La actividad de Transporte por caminos no pavimentados tiene como **medida de mitigación** control de velocidad en ruta por GPS y un Programa de Humectación con agua en los siguientes caminos:

**Tabla II.4: Caminos Principales Tranque Talabre**

Área Operacional	Tipo de camino	km
Camino Principal Acceso Tranque - Instalaciones de Faena	No pavimentado (con programa de riego)	3,7
Camino Principal Coronamiento Muro	No pavimentado (con programa de riego)	21,6
Camino Principal Interior Tranque (Parcelas y Subparcelas)	No pavimentado (con programa de riego)	86,6
Camino Principal Acceso Sector Norte Tranque	No pavimentado (con programa de riego)	11,8
Camino Principal Mantenimiento Sector Muro Norte Tranque	No pavimentado (con programa de riego)	2,7
Camino Principal Mantenimiento Sector Muro Oeste Tranque	No pavimentado (con programa de riego)	13,2
Camino Principal Mantenimiento Sector Muro Sur Tranque	No pavimentado (con programa de riego)	0,3
Camino Principal Acceso Pozos Barrera Hidráulica	No pavimentado (con programa de riego)	3,9

Es importante tener en consideración que los caminos señalados están sujetos a modificaciones por condiciones propias de operación del tranque.

### 2.1.5 Tránsito por caminos pavimentados

Esta fuente corresponde a la actividad de resuspensión de partículas en caminos pavimentados producto del tránsito de vehículos en TT. Para el cálculo de emisiones se utiliza el factor de emisión obtenido en la “Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana, MMA 2020”.

$$FE_{MP10} = k * (sL)^{0,91} * (W * 1,1023)^{1,02}$$

Donde:

- FE : Factor de emisión (g/km-vehículo).  
k : Factor tamaño partícula MP<sub>10</sub> = 0,62  
sL : Carga superficial de finos en camino no pavimentado(g/m<sup>2</sup>).  
W : Peso promedio de la flota que transita por el camino pavimentado (ton).

El peso W que se utiliza en la fórmula, corresponde al peso promedio de la flota de vehículos que circula por un arco de la red vial. El cálculo considera el peso de cada tipo de vehículo, ponderado por el flujo vehicular de ese tipo de vehículo, y dividido por el flujo total.

El peso promedio de la flota (W), para un determinado camino no pavimentado, se calcula con la siguiente ecuación:

$$W = \frac{\sum_i^n [\bar{P}_i x Nv_i]}{\sum_j^n Nv_j}$$

Donde:

- W : Peso promedio de la flota que transita por un determinado camino pavimentado y mes (ton).  
 $\bar{P}_i$  : Promedio entre el peso con y sin carga (ton) del vehículo que hace un determinado tipo de viaje i  
Nv<sub>i</sub> : Número de viajes del tipo de viaje i, en el mes.  
Nv<sub>j</sub> : Número de viajes del tipo de viaje j, en el mes.  
n : Cantidad de tipos de viajes en el mes.

Por otro lado, el factor de emisión se debe ajustar cuando existen días con precipitaciones mayores a 0,254 mm ya que se considera un abatimiento natural.

Los factores de emisión entonces se ajustan de la siguiente manera:

$$FE_{ext} = FE * 1 - \left( \frac{P}{4x365} \right)$$

Donde:

FEext : Factor de Emisión ajustado con mitigación natural.

P : Número de días con precipitación sobre 0,254 mm.

Para el **nivel de actividad (NA)**, el cual corresponde a los kilómetros totales recorridos totales por cada tipo de vehículo que circula por una ruta, se considera el número de viajes de ida y vuelta de cada vehículo o la obtención del dato de informes operacionales de acuerdo con el siguiente detalle:

Fuente emisora	Nivel de Actividad (NA)	Ruta de Cálculo	Frecuencia	¿Cómo se registra?	Medio de Verificación	Área Operacional	Responsable
Tránsito por caminos pavimentados	Kilómetros recorridos de cada tipo de vehículo	N/A	Mensual	Reporte movimiento flota contratista	Estado Pago Empresa Contratista	Gerencia Aguas y Relaves	Jefe Relaves

En caso de determinar el nivel de actividad por el número de viajes, el cálculo se obtiene de la siguiente manera:

- En primer lugar, se divide el volumen de material a transportar, por la capacidad en metros cúbicos del camión que lo transporta, luego, este resultado se debe redondear al entero superior.
- De forma paralela, se dividen las toneladas de material a transportar, por la capacidad en toneladas del camión que lo transporta, y al igual que en el caso anterior, este resultado se redondea al entero superior.
- Finalmente, el número de viajes de ida corresponde al máximo entre los dos resultados obtenidos anteriormente, puesto que de esta manera se asegura que no se sobrepase la capacidad de los vehículos, tanto en volumen como en peso. Para obtener los viajes de ida y vuelta, se debe multiplicar el valor obtenido por dos.

Cabe señalar, que para el cálculo del número de viajes de tierra y escombros se debe considerar un esponjamiento del 20% y 40%, respectivamente, acorde a lo señalado en la Tabla 2 de (INN Chile, 2000).

Importante indicar que se determinara el contenido de fino en los caminos, a través de 4 campañas de monitoreo de tipo estacional (una por cada estación del año) con el objetivo de poder caracterizar la variación del contenido de fino en los caminos. El protocolo para la toma de muestra se detalla en el **Anexo A**.

**La actividad de Transporte por Caminos pavimentados no tiene medidas de mitigación de material particulado adicionales.**

### 2.1.6 Combustión del motor de vehículos

Esta fuente corresponde a la combustión interna de vehículos en el Tranque Talabre. Para el cálculo de emisiones se utilizan factores de emisión que dependen de la categoría vehicular, del tipo de combustible, cilindrada, peso y de la normativa de emisiones, lo cuales son obtenidos de la “Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana, MMA 2020”.

En la **Tabla II.5** se presentan las categorías señaladas.

**Tabla II.5: Categorías de los factores de emisión de combustión de vehículos**

Categoría vehicular	Subcategoría	Tecnología
Vehículos livianos comerciales	Gasolina < 3,5 (t)	Convencional, Euro 1 - Euro 6
	Diésel < 3,5 (t)	Convencional, Euro 1 - Euro 6
Vehículos pesados	Gasolina > 3,5 (t)	Convencional
	Diésel > 3,5 (t)	Convencional, Euro I - Euro VI
Buses	Buses urbanos a GNC	Euro I, Euro II, Euro III, EEV
	Buses urbanos estándar	Convencional, Euro I - Euro VI
	Buses Interurbanos estándar ≤ 18(t)	Convencional, Euro I - Euro VI

Fuente: Guía MMA 2020

Los factores de emisión producto de la combustión interna de vehículos se presentan en la **Tabla II.6**.

**Tabla II.6: Factores de emisión por combustión de vehículos**

Categoría	Subcategoría	Tecnología	Factor de emisión MP10 (g/km)
Vehículos livianos comerciales	Diésel <3,5 (t)	Convencional	0,3560
Vehículo pesado	Diésel > 32 (t) (camiones)	Euro II	0,1940
Buses	Interurbanos estándar ≤18 (t)	Convencional	0,4700

Fuente: Guía MMA 2020

El **nivel de actividad (NA)** corresponde a los kilómetros al mes recorridos por cada tipo de vehículo para la operación del Tranque Talabre. Esto se resume a continuación:

Fuente emisora	Nivel de Actividad (NA)	Ruta de Cálculo	Frecuencia	¿Cómo se registra?	Medio de Verificación	Área Operacional	Responsable
Combustión del motor de vehículos	Kilómetros recorridos por tipo de vehículo	N/A	Mensual	Reporte movimiento flota contratista	Estado Pago Empresa Contratista	Gerencia Aguas y Relaves	Jefe Relaves

La Combustión de Vehículos, no tiene **medida de mitigación** de material particulado.

### 2.1.7 Combustión del motor de maquinaria

Esta fuente corresponde a la combustión interna del motor de maquinarias fuera de ruta en el Tranque Talabre. El listado de maquinaria considerada para este cálculo se detalla en el **punto 2.1.2.**

Para el cálculo de emisiones se utiliza la formula obtenida en la “Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana, MMA 2020”.

$$FE_{i,j} = P_i * (1 + FD_i) * FC_i * TAF_i * FE_{Base\ i,j}$$

Donde:

- $FE_{i,j}$  : Factor de emisiones del contaminante j, de la maquinaria i, en (g/h).  
 $P_i$  : Potencia del tipo de maquinaria i, en (kW).  
 $FD_i$  : Factor de deterioro de la maquinaria i, adimensional.  
 $FC_i$  : Factor de carga de la maquinaria i, adimensional.  
 $TAF_i$  : Factor de ajuste transitorio de la maquinaria i, adimensional.  
 $FE_{Base\ i,j}$  : Factor de emisión del contaminante j, de la maquinaria i, en (g/kWh)

A su vez, el Factor de Deterioro (FD), está dado por la siguiente ecuación:

$$FD = \frac{K}{VU} * FD_{VU}$$

Donde:

- K : Edad de la maquinaria (entre 0 y la vida útil), en años.  
VU : Vida útil de la maquinaria, en años.  
 $FD_{VU}$  : Factor de deterioro relativo a la vida útil de la maquinaria.

Cabe señalar que cuando la edad de la maquinaria supera el de la vida útil, se debe usar un FD equivalente al FDVU.

De esta forma, los parámetros a utilizar se muestran a continuación:

- a)  $FD_{VU}$ : El factor de deterioro relativo a la vida útil y tipos de tecnología para el MP<sub>10</sub> es 0,473.
- b)  $VU$ : Los valores estándar de la vida útil de distintas maquinarias, se presentan en la **Tabla II.7.**



**Tabla II.7: Vida útil de maquinaria**

Maquinaria	Vida útil (años)
Motoniveladora	10
Retroexcavadora	10
Otras maquinarias	10

Fuente: Guía MMA 2020

- c)  $FC$  : El factor de carga, en base a lo señalado en Caterpillar 2017, y considerando un escenario conservador, se debe utilizar un valor de 0,8 para todas las maquinarias fuera de ruta.
- d)  $TAF$  : El factor de ajuste transitorio depende de  $FC$  y de la tecnología de la maquinaria, en la **Tabla II.8** se presentan los valores considerando que  $FC=0,8$ .

**Tabla II.8: Factor de ajuste transitorio para maquinaria diésel**

Tecnología	Factor de carga	MP10
Stage II y previos	FC > 0,45	1,23
Stage IIIA		1,47
Stage IIIB-V		1,00

Fuente: Guía MMA 2020

- e)  $FE_{Base\ i,j}$ : Los factores de emisión base, según potencia, tecnología y contaminante se presentan en la **Tabla II.9**.

**Tabla II.9: Factores de emisión base para maquinaria fuera de ruta diésel**

Potencia (kW)	Tecnología	MP10 (g/kW-h)
P < 8	1991-Stage I	1,600
	Stage V	0,400
8 ≤ P < 19	1991-Stage I	1,600
	Stage V	0,400
19 ≤ P < 37	1991-Stage I	1,400
	Stage II	0,400
	Stage IIIA	0,400
	Stage V	0,015
37 ≤ P < 56	1991-Stage I	0,800
	Stage I	0,400
	Stage II	0,200
	Stage IIIA	0,200
	Stage IIIB	0,025
	Stage V	0,015
56 ≤ P < 75	1991-Stage I	0,800
	Stage I	0,400
	Stage II	0,200
	Stage IIIA	0,200
	Stage IIIB	0,025
	Stage IV	0,025
	Stage V	0,015
75 ≤ P < 130	1991-Stage I	0,400
	Stage I	0,200
	Stage II	0,200

	Stage IIIA	0,200
	Stage IIIB	0,025
	Stage IV	0,025
	Stage V	0,015
130 ≤ P < 560	1991-Stage I	0,400
	Stage I	0,200
	Stage II	0,100
	Stage IIIA	0,100
	Stage IIIB	0,025
	Stage IV	0,025
	Stage V	0,015
P ≥ 560	Stage V	0,045

Fuente: Guía MMA 2020

De acuerdo con la “Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana, MMA 2020” se considera la equivalencia entre los estándares de emisiones europeos y estadounidenses como se presenta en la **Tabla II.10**.

**Tabla II.10: Equivalencia en estándares de emisiones**

Estándar Europeo	Estándar EPA
Stage I	Tier 1
Stage II	Tier 2
Stage IIIA	Tier 3
Stage IIIB	Tier 4 Interim
Stage IV	Tier 4 Final
Stage V	Tier 5

Fuente: Guía MMA 2020

El **nivel de actividad (NA)** corresponde a las horas al mes de utilización de cada maquinaria usada en el Tranque Talabre. A continuación, se resume lo anterior:

Fuente emisora	Nivel de Actividad (NA)	Ruta de Cálculo	Frecuencia	¿Cómo se registra?	Medio de Verificación	Área Operacional	Responsable
Combustión del motor de maquinaria	Horas por tipo de maquinaria	N/A	Mensual	Reporte avance	Estado de Pago Empresa Contratista	Gerencia Aguas y Relaves DCH	Jefe Relaves

**La Combustión de Maquinaria, no tiene medida de mitigación de material particulado.**

### 2.1.8 Combustión de grupos electrógenos

Tranque Talabre posee 2 grupos electrógenos, los cuales se detallan a continuación indicando la forma en que se lleva el registro de las horas de operación de cada uno de ellos, los tipos de combustible utilizados y los responsables de la gestión de estos:

Nombre Interno	Marca Modelo	Potencia [kVA]	Tipo de Combustible	Horas de Operación	Área Responsable
Pozo PBO08	PowerLink GMS60CS	66	Petróleo Diesel	Horómetro	Gerencia Aguas y Relaves
Pozo PBO12	PowerLink GMS100CS	100	Petróleo Diesel	Horómetro	Gerencia Aguas y Relaves

Para el cálculo de emisiones se utilizan los factores de la “Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana, MMA 2020”, los cuales se presentan en la **Tabla II.11**.

**Tabla II.11: Factores de emisión grupos electrógenos**

Combustible	Unidad	MP10
Diésel potencia menor a 447 kW	kg/kg comb.	0,0060783
Gas natural motor a 2 tiempos con mezcla pobre	kg/m <sup>3</sup> comb.	0,0006452
Gas natural motor a 4 tiempos con mezcla pobre	kg/m <sup>3</sup> comb.	0,0000013
Gas natural motor a 4 tiempos con mezcla rica	kg/m <sup>3</sup> comb.	0,0001596

Fuente: Guía MMA 2020

El **nivel de actividad (NA)** corresponde al consumo de combustible al mes de cada grupo electrógeno utilizado en TT. En relación con el registro de las horas de actividad, estas se controlan de manera digital dado que cada uno de los grupos electrógenos, posee un horómetro digital, que se encuentran en condiciones de sellado e inviolable.

La Combustión de Grupos Electrógenos, **no tiene medida de mitigación** de material particulado.

### 3 IDENTIFICACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MP<sub>10</sub>

Para la estimación de emisiones, algunos factores de emisión utilizan datos meteorológicos como la velocidad del viento y/o precipitaciones, es por esto por lo que a continuación, se entrega un detalle de las estaciones meteorológicas a utilizar en la estimación de emisiones del Tranque Talabre:

**Tabla V.1: Estaciones Meteorológicas a Utilizar en Estimación de Emisiones de TT**

Estación	Coordenada UTM Norte	Coordenada UTM Este	Parámetro	Tipo de Sensor	Resolución Temporal	Unidad
Talabre 3	7.531.574	507.169	Velocidad del viento	Anemómetro	Horaria	m/s

En el presente documento, por cada actividad emisora de material particulado que utilice al viento como parámetro para el cálculo del factor de emisión, se detalla en la fórmula de cada ecuación el valor a utilizar asociado a la velocidad del viento. A continuación, en la Figura 5.1, ubicación de las estaciones meteorológicas indicadas en la **TablaV.1** anterior.



**Figura 5.1: Ubicación Estación Meteorológica Talabre 3**



## 4 ANEXOS

La propuesta metodológica de estimación de emisiones para el Tranque Talabre incluye Anexos que complementan y dan sustento a los cálculos que se realizarán para la determinación de las emisiones para Tranque Talabre:

ANEXO A PROTOCOLO MEDICIÓN DE % FINO EN CAMINOS Y ACOPIOS

ANEXO B PROTOCOLO MEDICIÓN DE EFICIENCIAS

ANEXO C KMZ CAMINOS INTERIORES TRANQUE TALABRE

ANEXO D KMZ PARCELAS Y SUBPARCELAS TRANQUE TALABRE

ANEXO E ESTUDIO MYMA EROSIÓN EOLICA TRANQUE TALABRE





#### 4.1 ANEXO A PROTOCOLO MEDICIÓN % DE FINO EN CAMINOS Y ACOPIOS

## PROCEDIMIENTO MUESTREO CAMINOS / ACOPIOS, BOTADEROS, TRANQUE RELAVES

Gerencia de Sustentabilidad  
Distrito Norte, CODELCO - CHILE

Noviembre de 2022

Desarrollado por:	Cargo	Firma	
Javier Olivares Pizarro	Ingeniero Gestión Ambiental		
Aprobado por:	Cargo	VºBº	Aprobado por:
Leonardo Herrera Valenzuela	Director de Sustentabilidad Estratégica Distrito Norte		



## CONTENIDO

CONTENIDO.....	30
OBJETIVO.....	31
ALCANCE.....	31
RESPONSABLE.....	31
GLOSARIO:.....	31
DESCRIPCION DE LOS PROCEDIMIENTOS.....	32
1 TOMA DE MUESTRA EN CAMINOS SIN PAVIMENTAR.....	32
2 MUESTRAS DE CAMINOS PAVIMENTADOS:.....	34
3 MUESTRAS EN PILAS, STOCKS Y BOTADEROS .....	36
4 MUESTRAS EN TRANQUE DE RELAVES.....	39
5 REFERENCIAS:.....	50



## OBJETIVO

El objetivo de este procedimiento es estandarizar la recolección de muestras de material en superficie de caminos sin pavimentar y pavimentados y desde pilas de acopio como botaderos de estéril activos/inactivos o stock de almacenamiento y depósitos de relaves. Este documento presenta los procedimientos para la recolección de muestras según lo recomendado por la EPA a través de su documento AP-42.

## ALCANCE

El procedimiento descrito es aplicable a todas las Divisiones del Distrito Norte. Adicionalmente, este procedimiento será aplicado por los servicios externos contratados para efectuar este tipo de mediciones.

## RESPONSABLE

La Gerencia de Sustentabilidad de Distrito Norte será la responsable de coordinar la toma de muestra de los distintos puntos a caracterizar.

## GLOSARIO:

- **Inventario de Emisiones:** Procedimiento mediante el cual se estiman las emisiones atmosféricas de contaminantes producto de actividades antropogénicas y de origen natural que se generan en un área territorial o actividad determinada. Las emisiones pueden ser medidas in situ o estimadas mediante factores de emisión.
- **Factores de Emisión:** Fórmulas matemáticas mediante las cuales es posible estimar las emisiones de fuentes o grupos de fuentes específicas.
- **Fuente emisora:** Área, actividad o instalación industrial que tiene la factibilidad de emitir contaminantes regulados a la atmósfera.
- **Porcentaje de Finos:** Se refiere a la estimación porcentual del tamaño de las partículas de una muestra de material granulado, divididas en fracciones por el método de tamizaje. Para el caso de este procedimiento, hace referencia a la fracción Malla 200, que corresponde aproximadamente, a las partículas de tamaño < a 75  $\mu\text{m}$ .
- **Porcentaje de Humedad:** Procedimiento analítico que determina el contenido de humedad de una muestra mediante la técnica de diferencia gravimétrica antes y después del secado en horno a 110 °C.
- **Contaminantes regulados:** Para este procedimiento, corresponde al material Particulado de tamaño menor a 30  $\mu\text{m}$  (MPS), a 10  $\mu\text{m}$  (MP10) y a 2,5  $\mu\text{m}$  (MP2,5),





contaminantes atmosféricos que tienen normas de calidad del aire vigentes en la legislación chilena.

## DESCRIPCION DE LOS PROCEDIMIENTOS

### 1 TOMA DE MUESTRA EN CAMINOS SIN PAVIMENTAR

#### 1.1 OBJETIVO:

El objetivo general del programa de muestreo de caminos sin pavimentar es obtener una caracterización de la cantidad de material particulado bajo malla #200, material que eventualmente puede ser emitido a la atmósfera por la circulación de vehículos sobre la carpeta de rodado.

Bajo este contexto, y según el Apéndice C.1 del AP-42 de la EPA, lo primero es *“definir el área de estudio de interés y determinar la cantidad de muestras de caminos sin pavimentar que se pueden recolectar y analizar dentro de las limitaciones de tiempo, mano de obra y dinero disponible. Por ejemplo, el área de estudio podría definirse como una planta industrial muy específica que tiene una red de caminos. Aquí es ventajoso recolectar una muestra separada para cada camino principal sin pavimentar en la planta. Este nivel de resolución es útil para desarrollar planes de reducción de emisiones rentables que involucren supresores de polvo o desvíos de tráfico. Por otro lado, el área de interés puede ser geográficamente grande y la información de tráfico puede no ser fácil de obtener. En este caso, la resolución del inventario de emisiones de MP en segmentos de camino específicos no sería factible, y sería más importante obtener muestras representativas del tipo de camino dentro del área, agregando varios incrementos de muestra.”* Por lo anterior, en función a la magnitud de lo que se quiera caracterizar, se procederá según se explica a continuación.

#### 1.2 PROCEDIMIENTO:

Según el Apéndice C.1 del AP-42, para una red de caminos la cual consiste en muchos caminos relativamente cortos, insertos en un área de estudio bien definida, se recomienda que se recolecte una muestra por cada 0,8 kilómetros de longitud. Aquí, el término "segmento de camino" se refiere a la longitud del camino entre las intersecciones (esquinas) con otros caminos pavimentados o no pavimentados. Por lo tanto, para un segmento mayor de 1 km de longitud, se recomiendan 2 muestras.

Para caminos más largos en áreas de estudio que son espacialmente diversas (como es el caso de las Divisiones del Distrito Norte de Codelco), se recomienda que se recolecte una muestra por cada 4.8 km de longitud del camino.



Para un camino de menos de 2,4 km de longitud, un método aceptable se basa en establecer 3 sectores aleatorios (x1, x2, x3) entre cero y la longitud. Ver Apéndice 1.

Los siguientes pasos describen el método de recolección para muestras:

- a) Asegúrese de que el sitio ofrezca una vista sin obstrucciones del tráfico y que el personal de muestreo sea visible para los conductores. Si el camino está muy transitado, use 1 persona para controlar y encaminar el tráfico de manera segura alrededor de la persona que recolecta la muestra de la superficie (incremento).
- b) Con un marco, cuerda u otros marcadores adecuados, marque una porción de 0,3 metros (m) de ancho en el camino. (**ADVERTENCIA:** No marque el área de recolección con una línea de tiza ni con ningún otro método que pueda introducir material fino en la muestra).
- c) Con una brocha o escoba y una pala, retire el material de superficie suelta de la base del camino duro. No raspe la base durante el barrido. El barrido debe realizarse lentamente para que el material de la superficie fina no se inyecte en el aire. **NOTA:** Recoger material solo de la parte del camino sobre la cual pasan rutinariamente las ruedas y vehículos (es decir, no desde bermas o "montículos" a lo largo de la línea central del camino).
- d) Deposite periódicamente el material barrido en un recipiente limpio y etiquetado de tamaño adecuado, como un cubo o bolsa de metal o plástico, que tenga un revestimiento de polietileno que se puede sellar. Los incrementos pueden ser mezclados dentro de este contenedor.
- e) Registre la información requerida en la hoja de recolección de muestras (Ver Apéndice 2).

### 1.3 ESPECIFICACIONES DE LA MUESTRA:

En caminos no pavimentados sin tratamiento para la mitigación de MP, se sugiere una muestra de entre 5 kg y 23 kg. Las muestras de este tamaño requerirán dividirse en un tamaño susceptible de análisis (Ver Apéndice 1).

Para caminos no pavimentados que si han sido tratados con supresores de MP químicos (como resinas de petróleo, emulsiones asfálticas, etc.), se requiere un mínimo de 400 gramos para el análisis de finos y humedad. Adicionalmente, en caso de no contar con la cantidad mínima requerida para el análisis, se deberán tomar muestras a través de la metodología de incrementos hasta que se haya alcanzado la masa mínima de la muestra, esto es, recolectar una nueva muestra en 0,8 km.



## 2 MUESTRAS DE CAMINOS PAVIMENTADOS:

### 2.1 OBJETIVO:

El objetivo general en un programa de muestreo de caminos pavimentados es caracterizar el contenido de silt presente en la carpeta de rodado.

En relación a la toma de muestra en caminos no pavimentados, son igualmente aplicables los comentarios anteriores sobre la definición del área de estudio y el nivel apropiado de resolución para el muestreo de caminos no pavimentados a los caminos pavimentados. Por ejemplo, en un área de estudio bien definida (por ejemplo, un sector de la ciudad), es ventajoso recolectar una muestra separada para cada camino pavimentado principal. Del mismo modo, en áreas de estudio geográficamente grandes, puede ser más importante obtener muestras representativas de los tipos de caminos dentro del área agregando aplicando los incrementos de muestra.

Para poder realizar la toma de muestra, se debe considerar una aspiradora que contenga un filtro para MP mayor a  $1\ \mu\text{m}$  en diámetro. Las muestras de caminos pavimentados se recolectan limpiando la superficie con la aspiradora con bolsas de filtro "taradas" (es decir, pesadas antes de usar). Debido a que la masa recolectada suele ser varias veces mayor que el peso de la tara de la bolsa, las aspiradoras descritas en primer lugar son adecuadas para recolectar muestras de superficies de caminos con poca carga de polvo. Por otro lado, en caminos con alto contenido de MP, las aspiradoras con bolsas de vacío de tipo industrial más grandes son más fáciles de usar y se pueden usar para agregar muestras incrementales de todas las superficies de los caminos.

### 2.2 PROCEDIMIENTO:

Para un sector con muchos caminos relativamente cortos contenidos en un área de estudio bien definida (como sería el caso de una ciudad), se recomienda que se recolecte una muestra por cada 0,8 km de longitud, para cada segmento importante del camino. Para un segmento de 1 km de longitud, se recomiendan 2 muestras. Cabe destacar que el término "segmento de camino" se refiere a la longitud del camino entre las intersecciones (esquinas) con otros caminos pavimentados o no pavimentados (Ver Apéndice 3).

Para caminos más largos en áreas de estudio espacialmente heterogéneas, se recomienda que se recolecte una muestra por cada 4.8 km de longitud de camino muestreado. Se recomienda generar una muestra compuesta a partir de un mínimo de 3 muestras incrementales, para esto, se deberá recoger el primer incremento en una ubicación aleatoria dentro de los primeros 0,8 km, con incrementos adicionales tomados de cada 0,8 km restante del camino, hasta una longitud máxima de 4,8 km.



Para un camino de menos de 2,4 km de largo, un método aceptable para seleccionar sitios para los incrementos se basa en dibujar 3 números aleatorios ( $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ) entre cero y la longitud (Ver el Apéndice 3).

Los siguientes pasos describen el método de recolección para muestras (incrementos):

- a) Asegúrese de que el sitio ofrezca una vista sin obstrucciones del tráfico y que el personal de muestreo sea visible para los conductores. Si el camino está muy transitado, use 1 miembro del equipo para controlar y encaminar el tráfico de manera segura alrededor de otra persona que recolecte la muestra de superficie (incremento).
- b) Con una cadena, un marco u otros marcadores adecuados, marque la parte de muestreo en el camino. (**ADVERTENCIA:** no marque el área de recolección con una línea de tiza ni con ningún otro método que pueda introducir material fino en la muestra). Los anchos pueden variar entre 0,3 m para caminos visiblemente sucios y 3 m para caminos limpios. Cuando se utiliza una aspiradora de tipo industrial para muestrear caminos con poca carga, puede ser necesario un ancho mayor a 3 m para cumplir con las especificaciones de la muestra, a menos que se combinen incrementos.
- c) Si hay material grande y suelto en la superficie, debe recogerse con una escoba y una pala. **NOTA:** Recolecte material solo de la parte del camino sobre la cual pasan rutinariamente las ruedas y los vehículos (es decir, no desde bermas o cualquier "montículo" a lo largo de la línea central del camino). En caminos con marcas laterales pintadas, recoja el material "de la línea blanca a la línea blanca" (pero evite los montículos de la línea central). Almacene el material barrido en un recipiente limpio y etiquetado de tamaño adecuado, como un cubo o bolsa de metal o plástico, con un forro de polietileno que se pueda sellar. Los incrementos para la misma muestra se pueden mezclar dentro del contenedor.
- d) Aspire el área de recolección con una aspiradora portátil equipada con una bolsa de filtro vacío tarado (previamente pesada). Son aplicables los mismos cuidados establecidos en la letra anterior. Se puede usar la misma bolsa de filtro para guardar los diferentes incrementos para 1 muestra. Para caminos muy cargados, se puede necesitar más de 1 bolsa de filtro para una muestra (incremento).
- e) Retire con cuidado la bolsa de la aspiradora y compruebe si hay rasgaduras o fugas. Si es necesario, reduzca las muestras del barrido con escoba a un tamaño adecuado para el análisis, utilizando el procedimiento del punto N° 1. Selle el material barrido con escoba en un frasco de plástico limpio y etiquetado para su transporte (alternativamente, el material barrido se puede colocar en la bolsa de filtro de vacío).
- f) Doble la parte no utilizada de la bolsa de filtro, envuelva con una banda de goma alrededor de la bolsa doblada y guarde la bolsa para el transporte.



- g) Registre la información requerida en la hoja de recolección de muestras (Ver Apéndice 4).

### **2.3 ESPECIFICACIONES DE LA MUESTRA:**

Cuando se recolectan muestras barridas con escoba, deben ser de al menos 400 g para el análisis de fino y humedad. Las muestras barridas con aspiradora deben ser de al menos 200 gr. Además, el peso de una bolsa de filtro "expuesta" debe ser de al menos 3 a 5 veces mayor que cuando está vacío. Deben tomarse incrementos adicionales hasta que se hayan alcanzado estos objetivos de masa de muestra.

## **3 MUESTRAS EN PILAS, STOCKS Y BOTADEROS**

### **3.1 OBJETIVO:**

El objetivo general de un programa de muestreo y análisis en Acopios, Stock y Botaderos es caracterizar el material acopiado en función de su % de fino y % de humedad para muestras bajo malla #200, susceptibles de ser transportadas por acción del viento.

Según el Apéndice C.1 del AP-42 de la EPA, para una planta industrial, se recomienda que se recolecte al menos 1 muestra por cada tipo principal de material manejado dentro de la instalación. Para el caso específico de querer caracterizar el material asociado a la carga de este, la EPA recomienda recolectar muestras representativas del material cargado recientemente en la pila. Para la mayoría de las pilas "activas" (es decir, aquellas con operaciones frecuentes de carga y descarga), 1 muestra puede considerarse representativa de los materiales ingresados y extraídos.

Las muestras de material de erosión eólica deben ser representativas de las superficies expuestas al viento. En general, las muestras deben consistir en incrementos tomados de todas las áreas expuestas de la pila (es decir, superior, media e inferior). Si el mismo material se almacena en varias pilas, se recomienda muestrear las pilas con al menos el 25 por ciento de la cantidad almacenada. Para pilas grandes que son comunes en entornos industriales (por ejemplo, canteras, plantas de almacenamiento de materiales y botaderos), el acceso a algunas partes puede ser imposible para la persona que recolecta la muestra. En ese caso, los incrementos no deben tomarse más alto de lo que es práctico para que una persona suba con una pala y un cubo (caso Botaderos de Estériles).

### **3.2 PROCEDIMIENTO:**

Los siguientes pasos describen el método para recolectar muestras de Pilas, Stock y/o Botaderos:



- a) Indicar en un plano, si alguna parte de la Pila, Stock y/o Botadero no es accesible para la toma de muestra. Según su tamaño se define el número de muestras a tomar en los acopios:
  - i. Para un acopio grande, recoja un mínimo de 10 muestras, tan cerca de la altura media de la pila como sea práctico. En caso de no poder acceder a la altura media de la pila, se deberá tomar la muestra en la base del acopio y/o en su superficie.
  - ii. Para una pila pequeña, una muestra debe tener un mínimo de 6 puntos de toma de muestra, distribuidos uniformemente entre la parte superior, la media y la inferior.

Las pilas "pequeñas" o "grandes", para fines prácticos, pueden definirse como aquellas pilas que pueden o no pueden, respectivamente, ser escaladas por una persona que lleva una pala y un cubo. Lo anterior, con el objeto de resguardar la integridad física de quien tome la muestra.

- b) Luego de definidos los puntos de muestra, se deberá proceder con la recolección de las muestras por lo que, el material deberá ser obtenido con una pala de punta recta o una pequeña pala de jardín, almacenando los incrementos (muestras) en un recipiente limpio y etiquetado de tamaño con un forro de polietileno que se pueda sellar.
- c) Dependiendo de los objetivos finales del programa de muestreo, caracterización de manejo de material en pilas y/o erosión eólica, se deberá escoger una de las siguientes metodologías:
  - i. Para caracterizar el contenido de fino y humedad de las operaciones de manejo de materiales en una pila activa, tome incrementos (muestras) de las porciones de la pila que más recientemente se agregaron. Recoja el material con una pala a una profundidad de 10 a 15 centímetros (cm). No evite deliberadamente trozos de agregados más grandes presentes en la superficie.
  - ii. Para caracterizar el contenido de fino y humedad del manejo de materiales en una pila inactiva, obtenga incrementos (muestras) del material desde una profundidad de 1 m en la pila.
  - iii. Si el objetivo del programa de muestreo es caracterizar el contenido de fino y humedad del material que está expuesto a la erosión eólica, en lugar del manejo de materiales, recoja los incrementos (muestras) al raspar la superficie en una sola dirección hacia arriba. La profundidad de la muestra debe ser de 2,5 cm, o el diámetro de la partícula más grande, lo que sea menor. No evite deliberadamente la recolección de trozos más grandes de agregados presentes en la superficie.



- d) Registre la información requerida en la hoja de recolección de muestras (Ver Apéndice 5).

### **3.3 ESPECIFICACIONES DE LA MUESTRA:**

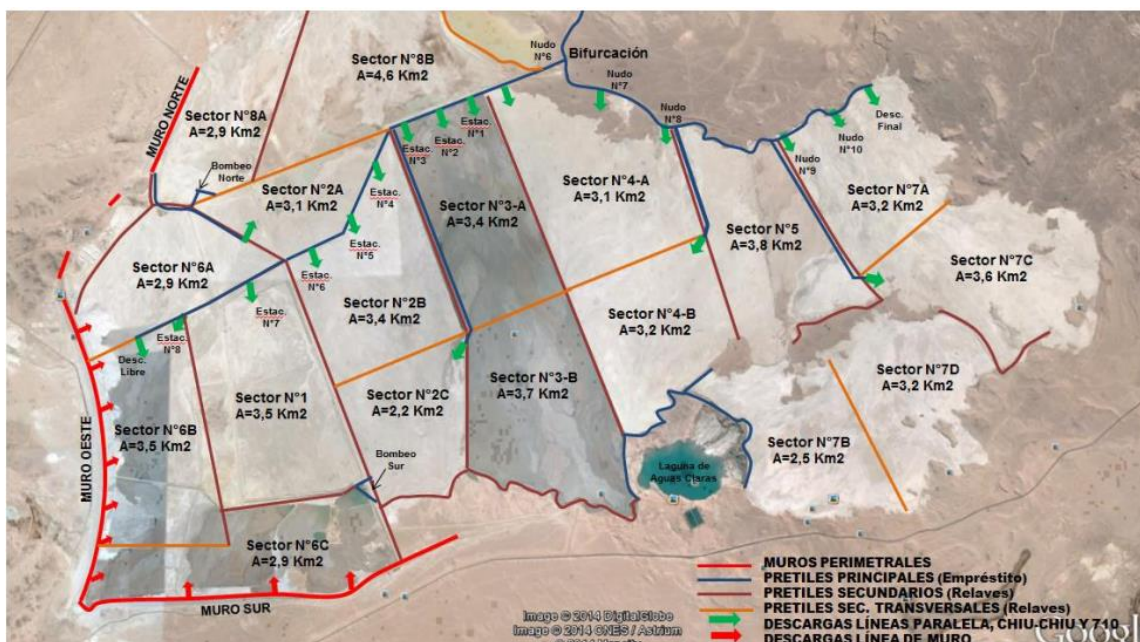
La masa de la muestra recolectada debe ser de al menos 5 kg la que puede aumentar en caso de aplicar la técnica de “incrementos”, resultado en muestras de hasta 23 kg según sea el caso.



## 4 MUESTRAS EN TRANQUE DE RELAVES

La medición del % de fino correspondiente a MP bajo malla #200 sobre la superficie del Tranque de Relaves, se basa en la aspiración de la superficie del MP disponible. Esta aspiración de la superficie se hace a través de una aspiradora. Es razonable suponer que la succión de una aspiradora sea igual de o más eficiente que la acción del viento en una superficie.

Como se ha indicado precedentemente, el Tranque Talabre está dividido por parcelas, por lo que la para poder caracterizar de forma idónea la superficie expuesta a la erosión eólica, se tomara una muestra por parcela:



En este sentido, el resultado de la medición del factor de emisión según el siguiente protocolo debe ser considerado conservador.

### 4.1 OBJETIVO:

El objetivo de la toma de muestras es obtener una caracterización representativa del material particulado erosionable por fuente. Para un Tranque de Relaves (Talabre), se considera representativa la toma de muestras desde un mínimo de 10 sitios y/o una muestra por parcela de depositación.

El procedimiento de la toma de muestra en cada lugar debe ser el siguiente:





## 4.2 PROCEDIMIENTO:

- I. Enmarcar un área de 1 m<sup>2</sup> por parcela del Tranque Talabre (Ver Apéndice 6).
- II. Se debe aspirar la superficie del área enmarcado con una aspiradora. (Se debe asegurar que el recipiente de la aspiradora está seco.)
- III. Se debe vaciar el recipiente de la aspiradora a un contenedor.
- IV. Se debe lavar el recipiente de la aspiradora con agua destilada. El agua (junto con los residuos del recipiente) se debe agregar al mismo contenedor.
- V. Se debe sellar el contenedor y etiquetar con la información de la fecha, hora y el lugar de la toma de muestra.
- VI. En un laboratorio, se debe analizar la masa total de MP10 y MP2,5 de cada contenedor.

La toma de muestra propiamente tal se debe hacer con una aspiradora con las siguientes características:

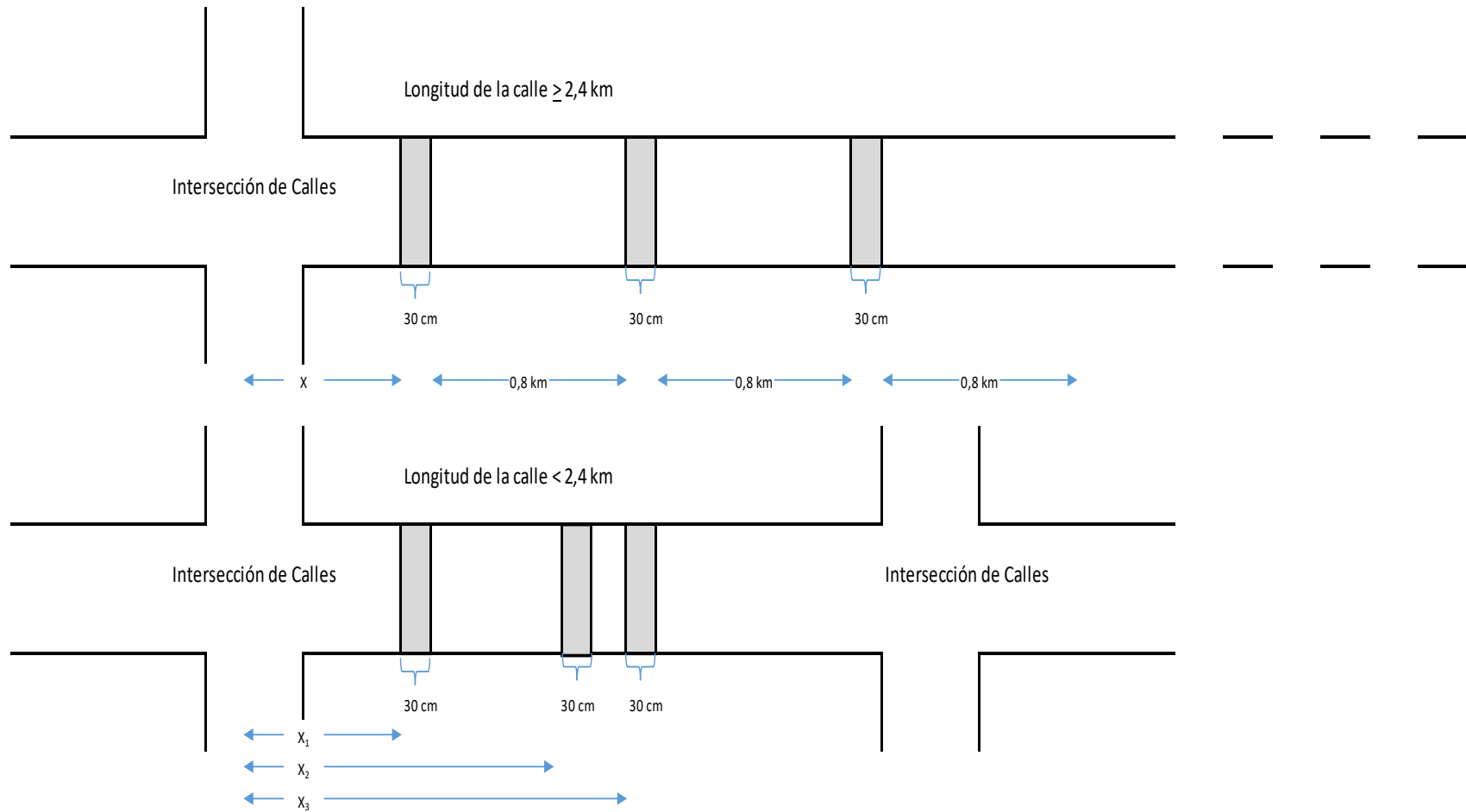
- a) Inalámbrica
- b) Filtro de aire para partículas de tamaño mayor de 1 µm en diámetro
- c) Recipiente rígido lavable. Debe ser de plástico o metálico. No se puede ser una bolsa de género.

## 4.3 ESPECIFICACIONES DE LA MUESTRA:

La masa de la muestra debe ser de al menos 400 gramos, en caso de no obtener dicha cantidad, se podrá tomar una muestra incremental en otro punto y agregar posteriormente a la muestra final. Cabe destacar que, a esta misma muestra, se le determinara el % de humedad en laboratorio.



# APÉNDICE N° 1: EJEMPLO DE SUPERFICIES A MUESTREAR EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS





**APÉNDICE N° 2:**

**DATOS DE MUESTREO PARA CAMINOS SIN PAVIMENTAR**

Fecha Recolección: \_\_\_\_\_ Recolectada por: \_\_\_\_\_

Material del camino (por ejemplo, grava, escoria, suciedad, etc.): \_\_\_\_\_

¿Tiene Medidas de Control? \_\_\_\_\_ ¿Cuáles? \_\_\_\_\_

Frecuencia: \_\_\_\_\_ Última Intervención: \_\_\_\_\_

Sitio de Muestreo: \_\_\_\_\_

**METODO:**

1. Sistema de Muestreo: Cepillo y pala recolectora
2. Profundidad de muestreo: Material de superficie suelta (no raspe la base del camino)
3. Recipiente para muestras: \_\_\_\_\_
4. Especificaciones de la muestra:
  - a. Superficies no controladas: de 5 kg
  - b. Superficies controladas: Se requiere un mínimo de 400 gr para el análisis.

Indique cualquier desviación de lo anterior:

\_\_\_\_\_

**DATOS DE MUESTREO RECOGIDOS:**

N° Muestra	Hora	Ubicación	Área (m <sup>2</sup> )	Coordenadas	
				Este	Norte

**REGISTRO DE IMÁGENES:**

Del Área Muestreada:




De la superficie Muestreada:

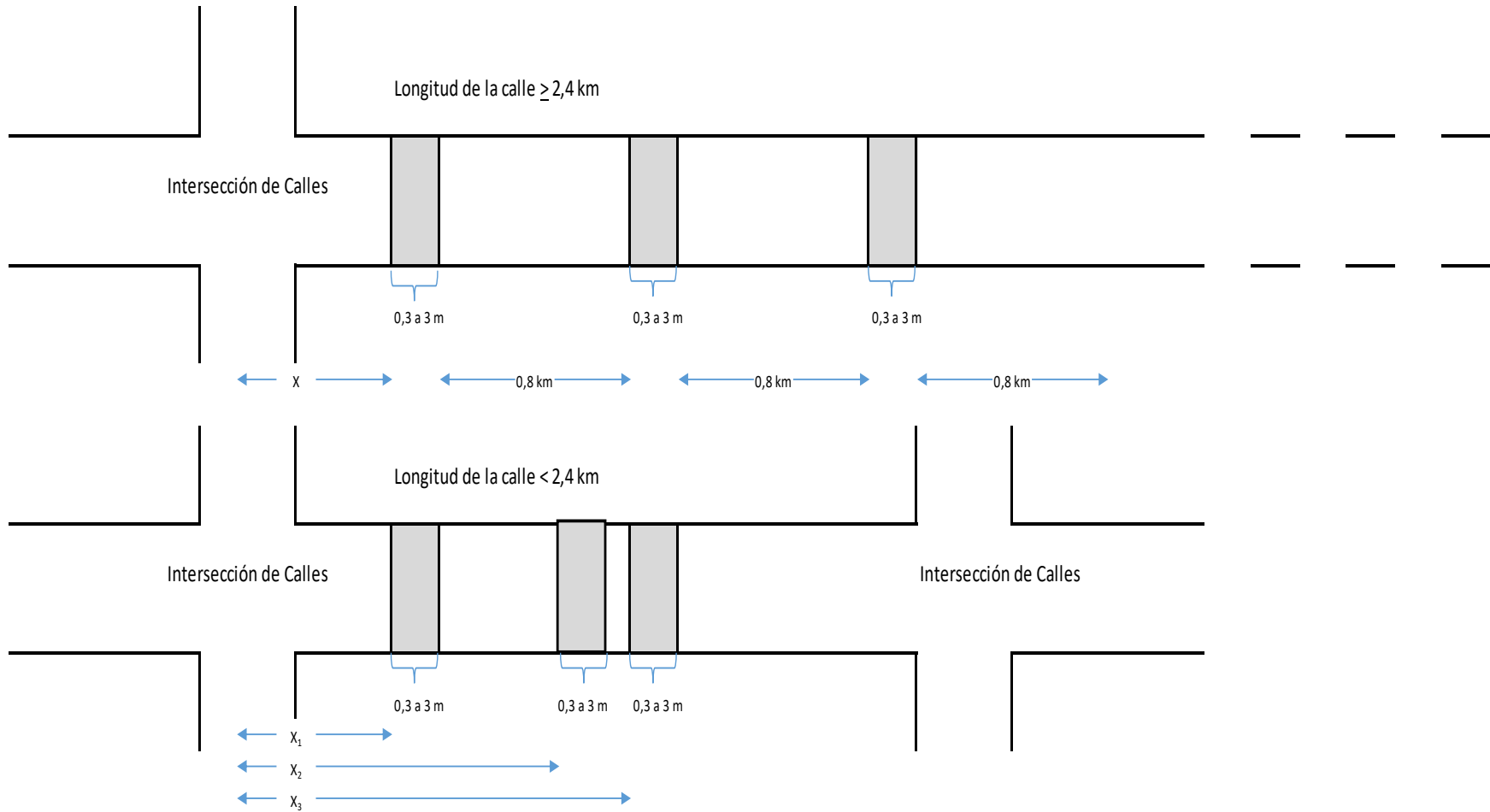
--

Del Recipiente con la muestra

--



### APÉNDICE N° 3: EJEMPLO DE SUPERFICIES A MUESTREAR EN CAMINOS PAVIMENTADOS





**APÉNDICE N° 4:**

**DATOS DE MUESTREO PARA CAMINOS PAVIMENTADOS**

Fecha Recolección: \_\_\_\_\_ Recolectada por: \_\_\_\_\_

Sitio Muestreado: \_\_\_\_\_ N° de Vías: \_\_\_\_\_

Tipo de Superficie (por ejemplo, asfalto, concreto, etc.): \_\_\_\_\_

Estado de la Superficie (Ej.: buena, rota, etc.) \_\_\_\_\_

Use el código dado en la planta o en el mapa de ruta para la identificación del segmento.

Indicación de ubicación de muestreo en el mapa

**METODO:**

1. Dispositivo de muestreo: Aspiradora portátil (escoba y recogedor de polvo si hay una carga pesada)
2. Profundidad de muestreo: Material de superficie suelta (no muestrear áreas de borde u otras partes no recorridas del camino)
3. Recipiente de muestra: Bolsas de aspiradora taradas y numeradas (cubo con forro sellable si hay una carga pesada)
4. Especificaciones de muestra: Las muestras barridas al vacío deben ser de al menos 200 gr, el peso de la bolsa de filtro con la muestra debe ser de al menos 3 a 5 veces mayor que el peso de tara de la bolsa vacía.

Indique cualquier desviación de lo anterior: \_\_\_\_\_

**DATOS DE MUESTREO RECOGIDOS:**

N° Muestra	Bolsa de Aspiración		Area (m <sup>2</sup> ) Muestreada	Hora	Coordenadas		Masa de barrido con escoba *
	Identidad	Peso Vacío (gr)			Este	Norte	

\* Ingrese "0" si no se realiza barrido de escoba

**REGISTRO DE IMÁGENES:**

Del Área Muestreada:




De la superficie Muestreada:

--

Del Recipiente con la muestra

--



**APÉNDICE N° 5:**

**DATOS DE MUESTREO PARA PILAS, STOCK, BOTADEROS**

Fecha Recolección: \_\_\_\_\_ Recolectada por: \_\_\_\_\_

Sitio Muestreado: \_\_\_\_\_

Tipo de Material (por ejemplo, lastre, sulfuro, relave, etc.): \_\_\_\_\_

**METODO:**

1. Dispositivo de muestreo: Pala puntiaguda, aspiradora, etc.
2. Profundidad de muestreo:
  - a. Para el manejo de materiales de pilas activas: 10-15 cm.
  - b. Para el manejo de materiales de pilas inactivas: 1 m.
  - c. Para muestras de erosión eólica: 2,5 cm o la profundidad de la partícula más grande (la que sea menor)
  - d. Superficial para relave
3. Recipiente para muestras: \_\_\_\_\_
4. Especificaciones de la muestra:
  - a. Para el manejo de materiales de pilas activas o inactivas: se recomiendan un mínimo de 6 incrementos con un peso total de la muestra de 5 kg.
  - b. Para muestras de erosión eólica: mínimo de 6 incrementos con un peso total de la muestra de 5 kg.
  - c. Para relave se recomienda incrementar muestra en caso de no contar con suficiente material para analisis.

Indique cualquier desviación de lo anterior: \_\_\_\_\_

**DATOS DE MUESTREO RECOGIDOS:**

N° Muestra	Hora	Sitio de Muestreo	Dispositivo utilizado *	Profundidad	Coordenadas	
					Este	Norte

\* Indique si la pala o el tubo.





REGISTRO DE IMÁGENES:

Del Área Muestreada:


De la superficie Muestreada:

--

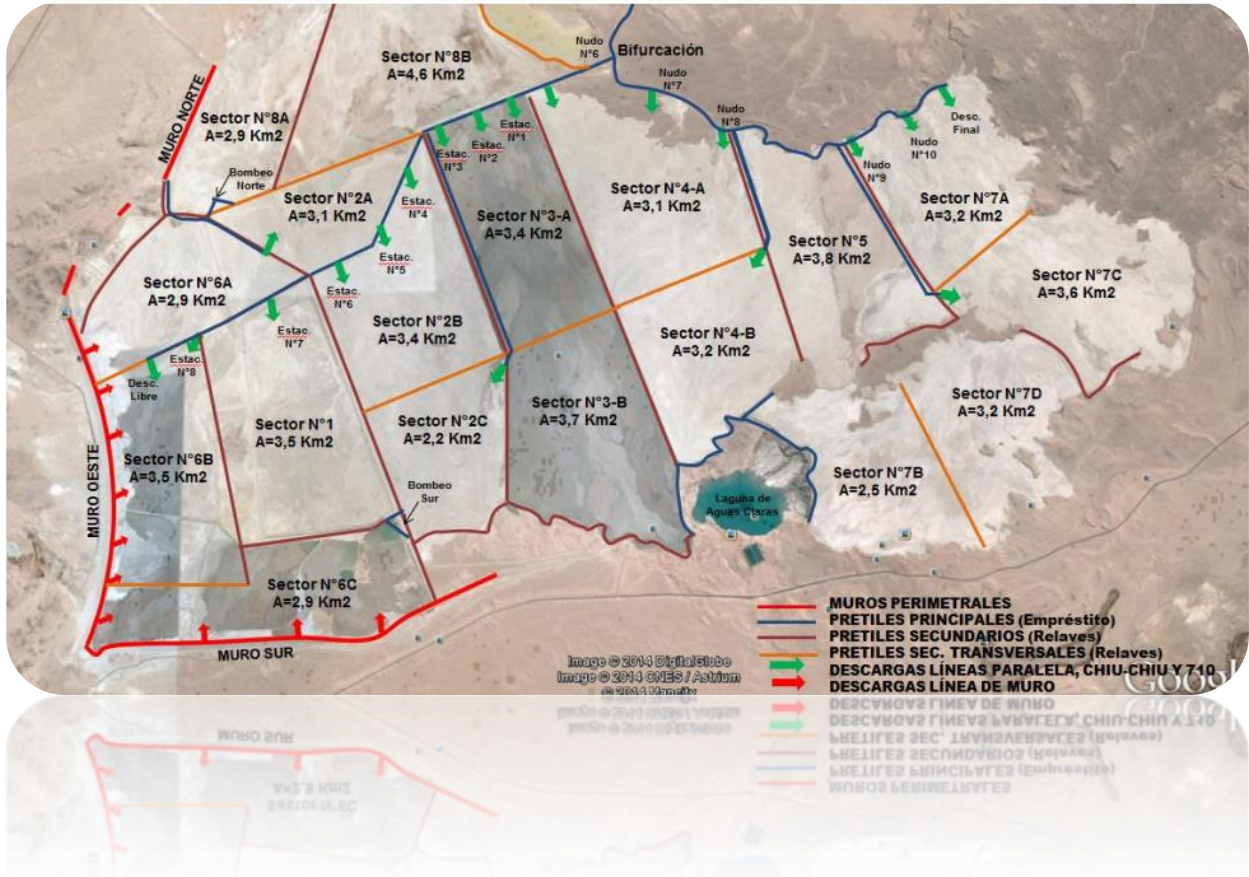
Del Recipiente con la muestra

--



APÉNDICE N° 6:

DISPOSICIÓN PARCELAS TRANQUE DE RELAVES TALABRE





## 5 REFERENCIAS:

1. EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources: APPENDIX C.1: Procedures For Sampling Surface/Bulk Dust Loading.
2. <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/appendix/app-c1.pdf>
3. EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources: APPENDIX C.2: Procedures For Laboratory Analysis Of Surface/Bulk Dust Loading Samples.
4. <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/appendix/app-c2.pdf>
5. EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources.
6. <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/index.html>
7. EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources: 13.2.1 Paved Roads
8. <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201.pdf>
9. EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources: 13.2.2 Unpaved Roads.
10. <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0202.pdf>
11. EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources: 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles.
12. <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0204.pdf>
13. EPA, AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources: 13.2.5 Industrial Wind Erosion.
14. Informe Final: Servicio de recopilación y sistematización de factores de emisión al aire para el Servicio de Evaluación Ambiental. B y S Consultores, 2015
15. <https://www.sea.gob.cl//documentacion/normas-de-calidad-y-valores-referenciales>.
16. WRAP Fugitive Dust Handbook.  
[https://www.wrapair.org/forums/dejf/fdh/content/FDHandbook\\_Rev\\_06.pdf](https://www.wrapair.org/forums/dejf/fdh/content/FDHandbook_Rev_06.pdf)



## 4.2 ANEXO B PROTOCOLO MEDICIÓN EFICIENCIAS

En este Anexo, se desarrolla una propuesta metodológica para estimar las eficiencias de los sistemas de control que se deberán implementar para dar cumplimiento a lo indicado en el PDAC para el Tranque Talabre.

Para el caso de Tranque Talabre, no aplican las eficiencias establecidas en la Tabla N°16 del PDAC, no obstante, de igual forma se determinará la eficiencia asociada a los programas de humectación de los caminos al interior del TT de acuerdo a lo siguiente.

### B 1.1 MEDICIÓN DE EFICIENCIA EN CAMINOS

Los supresores de polvo son componentes que al ser aplicados sobre un camino no pavimentado permiten que el material fino (o particulado) de la carpeta de rodado se mantenga adherido a ésta, disminuyendo por lo tanto la emisión de polvo que genera un vehículo al transitar sobre este. La efectividad de estos supresores – en términos de lograr mitigar esta emisión de polvo - es limitada en el tiempo, por lo tanto, para lograr que un plan de mitigación de polvo sea efectivo, el o los supresores de polvo deben ser aplicados frecuentemente.

El nivel de efectividad o eficiencia que se puede lograr con un plan de mitigación de polvo dependerá de una serie de variables, entre las que destacan la frecuencia de aplicación, las tasas de aplicación de los supresores de polvo, las dosis totales, la composición del camino en cuanto a materialidad, las condiciones climáticas, el tipo y cantidad de tránsito de vehículos, etc.

Para medir la eficiencia de los supresores de polvo, se debe medir y cuantificar el nivel de emisiones de material particulado que producen los vehículos. El nivel (o cantidad) de emisiones de polvo que produce un vehículo al transitar por un tramo con supresor en un momento y lugar determinado, debe compararse con el nivel de emisiones de polvo que genera el mismo vehículo siguiendo el mismo protocolo de medición, pero en tramos de la red de caminos mina, es decir, que no hayan sido tratado con ningún supresor de polvo, de igual composición y que se encuentren en condiciones naturales. Este nivel de emisiones de polvo se le denomina Línea Base.

El año 2014, la EPA (Environmental Protection Agency) elaboró el protocolo Other Test Method – 34: “Method to Quantify Road Dust Particulate Matter Emissions (PM<sub>10</sub> and/or PM<sub>2.5</sub>) from Vehicular Travel on Paved and Unpaved Roads”. (en adelante “OTM-34,2014”) para cuantificar las emisiones de material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> que producen los

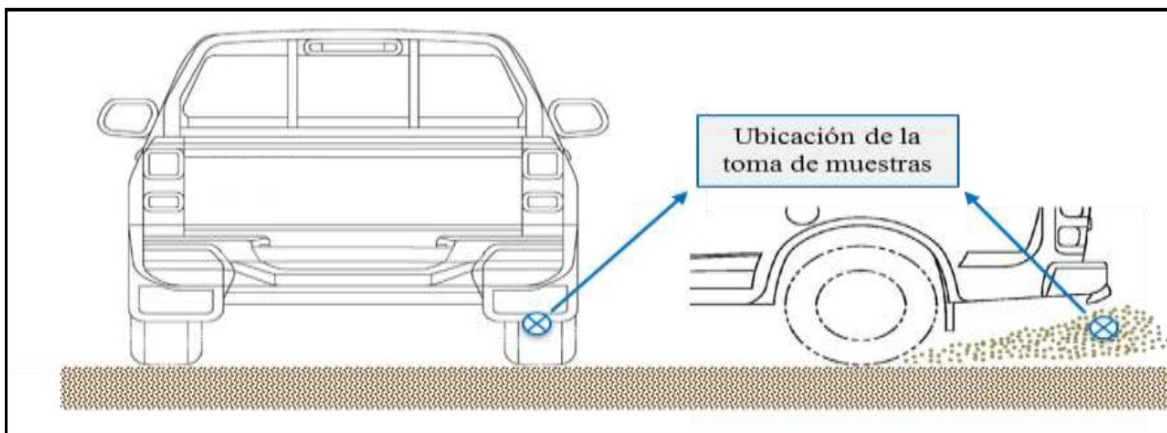


vehículos al transitar en caminos no pavimentados y pavimentados, y que sigue los mismos criterios que el documento que aquí se define.

La metodología para medir la eficiencia de los sistemas supresores de polvo en caminos no pavimentados se basa en obtener el número de partículas de  $MP_{10}$  por  $cm^3$  (PCC) o la concentración de  $MP_{10}$  ( $\mu g/m^3$ ) de una muestra de aire que se toma en el haz de polvo que se produce en la interacción neumático-superficie. Ver **Figura B.1**.

Para esto se requiere de la instalación del equipo sensor en camionetas, de manera tal que permitan tomar la muestra en movimiento. Para asociar la medición a un tramo del camino se requiere que la camioneta disponga de un equipo GPS de alta resolución, lo que permite obtener la velocidad instantánea del vehículo. El procedimiento de monitoreo se realiza en un rango de velocidad, por ejemplo 30 a 40 km/h, los valores de cantidad de material particulado que se obtienen a velocidades fuera de rango, son descartados.

Dichas mediciones se llevan a cabo con un procedimiento que utiliza un equipo especialmente diseñado para cuantificar la concentración de  $MP_{10}$  en una frecuencia de hasta una muestra por segundo.



**Figura B.1: Medición de Emisiones de Material Particulado.** Fuente TSP

El procedimiento de evaluación de la eficiencia consta de dos partes. La primera consiste en realizar las mediciones de concentración de  $MP_{10}$  (según el método antes descrito) en un camino no pavimentado ni tratado o en su estado natural. Este valor será considerado como la situación base común para todos los caminos de la faena. Esto se realizará una vez al año, por lo que la línea de base se actualizará anualmente.



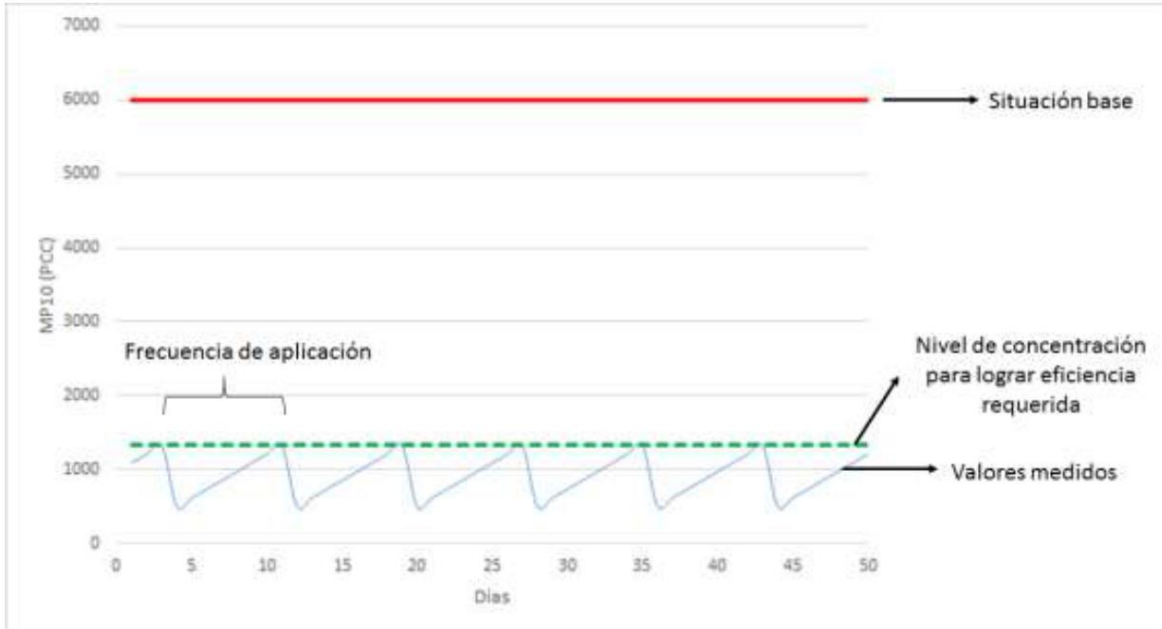
La segunda parte consiste en la realización de campañas de medición de la concentración de  $MP_{10}$ , en los caminos activos tratados con supresor de polvo.

En la **Figura B.2** se muestra un esquema con el resultado de las dos partes antes mencionadas. La línea de color rojo representa la situación base (de concentraciones de  $MP_{10}$ ). La línea celeste muestra los valores medidos en los distintos días. La eficiencia se calcula a partir de la relación entre el valor de la situación base y los valores medidos. La línea verde muestra el nivel de concentración máximo al que se puede llegar para mantener el nivel de eficiencia requerida (40%, 80%, 85%, etc).

Como se puede apreciar el comportamiento del nivel de concentración medido va en aumento, ya que la eficiencia del supresor va decayendo con el tiempo, producto del flujo vehicular y de las condiciones meteorológicas. Este aumento de la concentración, y por ende disminución de la eficiencia, determina el período de aplicación del supresor, que asegura el nivel de eficiencia requerida.

Como ya se mencionó, la eficiencia del supresor va decayendo con el tiempo, producto del flujo vehicular y de las condiciones meteorológicas. Por lo tanto, se contempla realizar mediciones mensuales de la eficiencia en caminos, dos veces al mes, en toda la red de caminos no pavimentados con tratamiento de supresión de material particulado.

El método de análisis que se aplica a la información recopilada corresponde a un enfoque estadístico, en que se estudian las distribuciones de las concentraciones de material particulado con respecto a la situación base. El criterio de evaluación de la eficiencia será sobre la variación que experimenta la mediana, y percentiles extremos (5% y 95%).



**Figura B.2: Diagrama de evaluación de la eficiencia en caminos**

Finalmente, la eficiencia del método de supresión de polvo utilizado corresponde al nivel promedio de polvo que emite el camino respecto a su Línea Base previamente determinada. El valor se determinará a partir de una razón de estos valores de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Eficiencia (\%) = \left( 1 - \frac{Emisiones\ de\ Polvo\ PM10\ (pcc)}{Línea\ Base\ de\ Polvo\ PM10\ (pcc)} \right) * 100$$

La medición de la eficiencia será realizada con equipo Dustrack. Este equipo portátil de amplio rango, está equipado con cabezal para MP<sub>10</sub> y MP<sub>2.5</sub> y otros tamaños de partículas, cuyo rango de medición varía entre 1 y 150.000 µg/m<sup>3</sup>.

Para el equipo Dustrack, sus datos operativos son los siguientes:

**Tabla B.1: Datos Operativos Equipo de Medición Dustrack**

Dato Operativo	Parámetro
Frecuencia medición	Cada 10 segundos
Dato Reportado	Valor promedio
Tamaño Partícula	10 ug
Tamaño Partícula calculo Eficiencia	10 ug
Medición	En base seca
Frecuencia Calibración	Anual



Cabe destacar que la mantención de acuerdo con instrucción de fabricante es de carácter anual. En **APENDICE A**, se adjuntan los procedimientos operativos de la empresa que realiza el monitoreo actualmente como a su vez, los certificados correspondientes del equipo.



Figura B.3: Equipo Marca DustTrak II

## B 1.2 RESUMEN PROGRAMA DE MEDICIÓN DE EFICIENCIAS

Se presenta a continuación una propuesta de programa de medición de eficiencias por cada medida incluida en el PDAC, para División Radomiro Tomic. La Tabla B-3 resume dicho programa de medición eficiencias.

Tabla A-3: Programa de medición de emisiones y eficiencias por fuente

Proceso	Actividad (fuente emisiva)	Medida de control	Tipo de medición	Frecuencia de medición
Transito vehículos TT	<ul style="list-style-type: none"><li>Tránsito por caminos en TT</li></ul>	Supresor en caminos (agua)	<ul style="list-style-type: none"><li>Medición de concentración con equipos móviles en la cercanía de los caminos</li></ul>	Campaña de medición mensual, 12 veces al año.

Adicionalmente, se propone una actualización de carácter estacional o sea cada 3 meses de los siguientes parámetros:

- Contenido de finos en caminos.
- Contenido de Silt en caminos pavimentados.
- Contenido de humedad parcelas del TT.





Se propone una actualización de carácter estacional para los siguientes parámetros:

- Contenido de finos y humedad en la superficie de la cubeta del Tranque Talabre.
- Contenido de fino en los caminos internos no pavimentados del TT.

Esta actualización, se realizará 4 veces al año tomando una muestra por parcela del Tranque Talabre.

Los criterios para la toma de muestra se detallan en el ANEXO "A" del presente documento.