

**LICITACIÓN  
N° 612228-2-LE16**

**INFORME 2**

**“Banco Alternativas de Compensación de Emisiones  
de MP10 en el polígono de la zona saturada de  
Andacollo”**



**PREPARADO PARA:  
SUBSECRETARÍA DEL MEDIOAMBIENTE,  
SEREMI COQUIMBO**

**PROPONENTE**



**SISTAM Ingeniería**

**Agosto 2016**

<b>1. Presentación.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Entendimiento del problema .....</b>	<b>4</b>
<b>3 Objetivos.....</b>	<b>11</b>
3.1 Objetivo General.....	11
3.2 Objetivos Específicos .....	11
<b>4 Metodología de Trabajo .....</b>	<b>12</b>
4.1 Revisión de sistemas y alternativas de Compensación de emisiones de material particulado MP10. ....	12
4.1.1 Revisión de la experiencia internacional.....	12
4.1.2 Revisión de la experiencia nacional.....	15
<b>5 Alternativas de compensación seleccionadas .....</b>	<b>24</b>
5.1 Compensación de Emisiones de MP10 con Pavimentación .....	25
5.2 Compensación de Emisiones de MP10 con Forestación.....	26
5.3 Compensación de Emisiones de MP10 con ECO ENVOLVENTES VEGETALES .....	28
5.4 Compensación de Emisiones de MP10 con estabilización de caminos no pavimentados .....	30
5.5 Compensación de Emisiones de MP10 con aspirado de calle .....	32
5.6 Compensación de Emisiones MP10 con RELAVES .....	34
5.6.1 Retiro de relaves.....	35
5.6.2 Fitoestabilización de relaves .....	36
<b>6 ANEXOS.....</b>	<b>38</b>

## 1. Presentación

SISTAM Ingeniería se agrada en entregar el informe uno referente a la licitación N° 612228-2-LE16 de la Subsecretaria de Medio ambiente, Seremi Coquimbo, con la finalidad de apoyar la Elaboración Banco Alternativa MP10 Andacollo, sistema que opera al amparo del Plan de Descontaminación atmosférica para localidad de Andacollo y sectores aledaños.

El plan establece la reducción de material particulado - MP10, a través de la compensación de emisiones, según lo establece el Artículo 10:

*“Con el fin de disponer de alternativas para el cumplimiento de las metas de emisión y calidad del aire del PDA, la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente Región de Coquimbo deberá disponer y administrar en el plazo no mayor de un año y medio, de un Banco de Alternativas de Compensación de Emisiones para la localidad de Andacollo, entendiéndose como Banco de Alternativas a un listado de proyectos opcionales para la reducción de emisiones.”*

Las alternativas de compensación de emisiones podrán ser utilizadas para el cumplimiento de los límites de emisión establecidos para la Compañía Minera Dayton y la Compañía Minera Teck C.D.A., también para cumplir las medidas de reducción de emisiones por parte de la Municipalidad de Andacollo y para la compensación de emisiones de otras fuentes emisoras nuevas.

## 2. Entendimiento del problema

La comuna de Andacollo tiene como principal actividad económica la minería. Su pasado minero que ha dejado huellas a lo largo de los años que constituyen un enorme pasivo ambiental, tales como tranques de relaves y piques mineros distribuidos en toda la ciudad. En la actualidad operan dos faenas mineras:

- Compañía Minera Carmen de Andacollo
- Compañía Minera Dayton.
- 

A lo anterior se agrega el desarrollo de otras actividades mineras a nivel artesanal, pequeña y mediana. La imagen siguiente resume adecuadamente la situación de Andacollo, especialmente la cercanía de las fuentes emisoras más relevantes:



**Ilustración 1: Mapa de la localidad de Andacollo**

Después de la declaración de zona saturada por norma anual y de 24 horas de MP10, se inició la elaboración de un plan de descontaminación, el cual fue publicado en el Diario Oficial del 26 de diciembre del año 2014. El objetivo del plan es fortalecer la gestión ambiental a través de la definición e implementación de medidas y acciones específicas para recuperar los niveles señalados en la norma mencionada. La compensación de emisiones en este plan se ha establecido como un instrumento que puede cumplir dos fines principalmente.

1. Exigencia que deben cumplir nuevas actividades que se instalen en la zona saturada, las cuales, además de implementar las mejores técnicas disponibles y aplicar las medidas de mitigación necesarias, deben compensar sus emisiones remanentes.
2. Las compañías mineras (Carmen y Dayton) las cuales cuentan con metas de reducción de emisiones pueden cumplir dichas metas de reducción mediante proyectos de compensación.

En la tabla siguiente se resumen las metas (límites) de emisión que el plan les establece a ambas empresas mineras:

**Tabla 1 Límites de emisión compañías mineras de Andacollo**

<b>Fuente Emisora</b>	<b>Emisiones (Ton/año)*</b>	<b>Límite de Emisión (Ton/año)</b>
Compañía Minera Dayton	737	258
Compañía Minera TECK-C.D.A.	858	300

El instrumento idóneo para reducir emisiones de proyectos que deban compensar sus emisiones lo constituyen los **Planes de Compensación de Emisiones (PCE)**, los cuales deben cumplir, al menos, con los siguientes criterios, de forma tal que permitan una rebaja real, cuantificable, adicional, permanente y exigible.

En su Artículo 10, el Plan señala que con el fin de disponer de alternativas para el cumplimiento de las metas de emisión y calidad del aire, la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente Región de Coquimbo deberá disponer y administrar en el plazo no mayor de un año y medio, de un Banco de Alternativas de Compensación de Emisiones para la localidad de Andacollo, entendiéndose como Banco de Alternativas a un listado de proyectos opcionales para la reducción de emisiones.

El Plan de descontaminación ha establecido el año 2007 como año base. Con la aplicación del plan se espera reducir las concentraciones diarias y anuales de MP10 hasta un nivel inferior a los niveles de saturación. Para esto se requiere una reducción de 1.215 ton/año de MP10 en un plazo de 5 años, lo que corresponde a un 65%. Esta meta de reducción de emisiones se reparte proporcionalmente entre las fuentes identificadas

**Tabla 2 Inventario de Emisiones de Andacollo**

<b>Zona/Fuente emisora</b>	<b>Actividad</b>	<b>Emisión MP10 (Ton/año)</b>	<b>Porcentaje</b>
Ciudad de Andacollo	Vehiculares	269	13%
	Relaves	168	8%
	Otras	23	1%
	<b>Total</b>	<b>460</b>	<b>22%</b>
Compañía Minera Dayton	Tránsito camiones	696	34%
	Otras	41	2%
	<b>Total</b>	<b>737</b>	<b>36%</b>
Compañía Minera TECK C.D.A	Tránsito camiones	735	36%
	Otras	123	6%
	<b>Total</b>	<b>858</b>	<b>42%</b>
<b>TOTAL</b>		<b>2.054</b>	<b>100%</b>

**Fuente: “Diagnóstico de calidad del aire y medidas de descontaminación, Andacollo”**

Es importante para los efectos del presente estudio, no perder de vista que la opción de compensar emisiones para cumplir los límites de emisión se estableció como un mecanismo de promover el desarrollo de las mejores alternativas (desde el punto de vista del costo efectividad) para la localidad del Andacollo. Dicho de otra forma, se busca que las empresas puedan evaluar inversiones no sólo en sus propias instalaciones sino buscar alternativas que puedan mejorar la calidad de vida y reducir el impacto de la contaminación en la zona urbana de Andacollo. Como ejemplo de lo anterior, se presenta a continuación un mapa con la localización de los relaves al interior de la zona urbana de Andacollo, pasivos ambientales con impacto directo sobre la población. Uno de los objetivos del Plan es poder promover a través de la compensación de emisiones el retiro/estabilización de estos relaves:



**Ilustración 2 Relaves mineros al interior de la zona urbana**

Andacollo es una comuna cuya principal actividad económica, históricamente, ha sido la explotación minera, razón por la cual existen numerosos relaves y depósitos de ripios (estériles), que se encuentran en medio de la ciudad. A fin de conocer y aminorar el riesgo que esto podría generar para la población, se han realizado estudios, análisis y gestiones de mejoramiento en los suelos con potencial presencia de contaminantes (SPPC). **La mayoría de los 658 relaves que existen en Chile se encuentran en la IV Región (57%) y la III Región (24%).** A la fecha, el MMA ha realizado dos estudios en esta materia:

- “Evaluación de sitios contaminados por Mercurio. Un caso de estudio: Andacollo” (2010).
- “Evaluación de riesgos a la salud en la comuna de Andacollo” (2011).

En las ilustraciones siguientes se presentan un ejemplos exitosos de medida de mitigación (compensación) implementada por las empresas de Andacollo respecto de los relaves:



**Ilustración 3 Ejemplo de compensación implementada en un relave de Andacollo**



<b>Titular</b>	Compañía Minera Teck Carmen de Andacollo
<b>Vida Útil</b>	8 meses.
<b>Monto de Inversión</b>	US \$ 410.000.-
<b>Mano de obra</b>	25 personas etapa de operación.
<b>Ubicación:</b>	Provincia de Elqui, Comuna de Andacollo.
<b>Razón de ingreso al SEIA:</b>	Literal o) del Artículo 3 del Reglamento del SEIA, que corresponde a proyectos de saneamiento ambiental; literal o.11) recuperación de suelos que contengan contaminantes y que abarquen una superficie mayor a 10.000 m <sup>2</sup> .

**Ilustración 4 Medida de compensación de emisiones (remoción de un relave)**



**Ilustración 5: Localización de las compañías mineras respecto de Andacollo**

**Tabla 3 Resumen de las actividades de las compañías mineras**

<b>Cía. Minera TECK</b> <b>Yacimiento a rajo abierto</b> <b>extracción de cobre</b>	<b>Cía. Minera Dayton</b> <b>Yacimiento a rajo abierto</b> <b>extracción de oro</b>
<p>La extracción del mineral, se realiza mediante dos turnos de 12 horas, los que totalizan 24 horas de extracción en un día, durante los 365 días del año.</p> <p>El transporte de mineral se realiza mediante 11 camiones mineros, 4 camiones modelo CAT-777D y 7 camiones CAT-789C, cuya capacidad de carga es de 90 toneladas y 180 toneladas, respectivamente</p> <p>Estos camiones circulan por caminos no pavimentados (caminos mineros), llevando el mineral a su lugar de destino (chancado, stock, botaderos, etc). El combustible utilizado es petróleo diesel, y la velocidad de circulación promedio es de 40 km/hr.</p> <p>En CDA existe una dotación de 61 camionetas</p> <p>Se realizan en promedio 60 perforaciones para generar una tronadura diaria. La superficie</p>	<p>En el primer trimestre del año 2006, se reinició la operación minera con la esperanza de recuperar un total de 210.000 onzas de oro en los primeros tres años.</p> <p>Transporte: se poseen camiones tipo carretera para llevar adelante la operación, existen diez camiones 6x4 de 25 toneladas; 14 camiones 8x4 de 32 toneladas y cinco tracto camiones 6x4 para el transporte de mineral del rajo Las Loas.</p>

<b>Cía. Minera TECK Yacimiento a rajo abierto extracción de cobre</b>	<b>Cía. Minera Dayton Yacimiento a rajo abierto extracción de oro</b>
<p>tronada es de 4.000 m<sup>2</sup>.</p> <p>El chancado recibe alrededor de 10.500 ton/día, con una capacidad promedio de procesamiento de 550 toneladas por hora.</p> <p>Movilizan en promedio 72.393 toneladas de material por día (tpd)</p>	

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

Establecer los elementos mínimos para el diseño e implementación de un Banco de proyectos, el que se podrá realizar mediante un estudio.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

Proponer un Banco de Alternativas de Compensación de Emisiones de MP10 en el polígono de zona saturada de Andacollo, las que deberán considerar los siguientes contenidos mínimos:

- Establecer una metodología de reconocimiento de alternativas de reducción de las emisiones definiendo equivalencias en términos de material particulado.
- Realizar procedimientos de registro y verificación asociados a alternativas de reducción de emisiones.
- Realizar un listado de alternativas de compensación de emisiones

## 4 Metodología de Trabajo

### 4.1 Revisión de sistemas y alternativas de Compensación de emisiones de material particulado MP10.

#### 4.1.1 Revisión de la experiencia internacional

Existen distintos mecanismos para la reducción de emisiones a nivel internacional, no obstante estos mecanismos están orientados a la disminución de gases de efecto invernadero y la disminución de gases locales, tales como el SO<sub>2</sub> y los NO<sub>x</sub>. A continuación se presentan los mecanismos más importantes desarrollados:

- **Acid Rain Program**

Este programa se aplica en Estados Unidos y permite la adopción de la mejor estrategia costo-efectivo para reducir las emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> de las empresas.

Uno de los beneficios de este tipo de programas es que las empresas reguladas deciden cuál es la manera más efectiva de usar los recursos disponibles para cumplir con los requisitos del "Clean Air Act".

El "Clean Air Act" es el marco regulatorio para el cumplimiento de metas para las industrias. El *Clean Air Act* estableció una meta de reducción de emisiones anuales de SO<sub>2</sub> Y NO<sub>x</sub>, para disminuir los efectos adversos de la lluvia ácida que afecta tanto a los ríos, lagos y seres vivos del país. La meta de SO<sub>2</sub> fue de reducir en 10 millones de toneladas las emisiones, por debajo los niveles de 1980. Para alcanzar esta meta la ley impuso dos fases de implementación.

La meta de NO<sub>x</sub> fue reducir las emisiones 2 millones de toneladas por debajo de los niveles de 1980. Se fundó bajo los mismos principios del sistema de SO<sub>2</sub>, pero con la diferencia de que no hay un *cap* ni tampoco utiliza un sistema de derechos transables. La limitación de emisiones de NO<sub>x</sub> se basa en una tasa límite de emisiones que se debe alcanzar (expresado en libras de NO<sub>x</sub> por millones de Btu por entrada de calor).

El Programa de Lluvia Acida puede considerarse un **programa modelo**, ya que la EPA lo desarrolló y creó a partir de consultas con representantes de diversos grupos de accionistas, incluyendo fuentes, compañías de gas y carbón, vendedores de equipos de control de emisiones, trabajos, academia, Comisiones de servicios Públicos, agencias de control del estado de la contaminación y grupos medioambientales.

Este programa se ve alrededor del mundo como un prototipo para abordar problemas emergentes medioambientales. El sistema de comercio de permisos resalta el poder del mercado para reducir las emisiones de SO<sub>2</sub> de la manera más costo efectivo posible. La flexibilidad del programa otorga a las fuentes opciones para adaptarse y actualizar su estrategia de cumplimiento basada siempre en sus circunstancias individuales. El sistema de reporte y monitoreo continuo de emisiones otorga precisión en el conteo de emisiones necesario para hacer que el programa funcione, y las multas por exceso de emisiones da fuertes incentivos para el cumplimiento voluntario. Cada uno de los componentes por separado contribuye a que la integración del programa sea más efectiva.

- **Emission Trading Scheme (ETS)**

La Unión Europea lanzó el Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (ETS, por sus siglas en inglés) por primera vez en 2005 como un pilar de su estrategia para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero (GEI). En contraste a otros sistemas de control tradicional, el comercio de emisiones genera incentivos para encontrar la manera más costo efectiva para la reducción de emisiones, siendo el primer gran mercado de carbono.

El ETS opera en 28 países de la Unión Europea, además de Islandia, Liechtenstein y Noruega, y va dirigido a la reducción de las emisiones antropogénicas de efecto invernadero. El sistema afecta a más de 11.000 plantas de generación eléctrica, industriales y también compañías aéreas. En total, alrededor del 45% de las emisiones de la EU están limitadas por este sistema, constituyendo hoy en día el mercado de comercio de emisiones más grande del mundo.

Este sistema fija un límite de emisiones para los grandes emisores, el cual va siendo reducido cada año, obligando así a las empresas a invertir en tecnologías más limpias y bajas en carbono para alcanzar los objetivos que les son impuestos. Atendiendo a ese límite, las compañías pueden vender o comprar derechos de emisión según necesiten. Esta estrategia otorga la flexibilidad que las compañías necesitan para reducir sus emisiones de la manera más costo-efectiva.

El sistema trabaja bajo el principio llamado “*cap and trade*”. El volumen total de emisiones de gases de efecto invernadero que pueden ser emitidas cada año por centrales eléctricas, fábricas u otras compañías que estén afectadas por el sistema, está sujeta a un límite (*cap*) fijado por la Unión Europea. Dentro de este límite, las compañías reciben o compran permisos de emisiones con las cuales pueden comerciar.

**El sistema se enfoca en emisiones que pueden ser medidas, reportadas y verificadas con un alto nivel de exactitud.** La participación de las empresas es obligatorio para compañías que operan en estos sectores, pero en determinados sectores solamente ciertas plantas por encima de un determinado tamaño están incluidas. Los Gobiernos pueden excluir ciertas pequeñas instalaciones del sistema si medidas fiscales u otras aseguran que bajarán sus emisiones en una cantidad equivalente.

- **Regional Clean Air Incentives Market (RECLAIM)**

El Mercado de Incentivos de Aire Limpio Regional (RECLAIM, por sus siglas en inglés) de California, fue el primer programa en el país creado para la reducción de la contaminación del aire. Fue adoptado por el Distrito de Calidad de Aire de California del Sur (SCAQMD) en octubre de 1993, y presentado para ayudar a cumplir los estándares de calidad de aire en el área de los Ángeles, la cual sufre uno de los mayores problemas de contaminación del país. El programa establece un sistema “*cap and trade*” para reducir las emisiones de NOx en un 75% y SO<sub>2</sub> en un 60% aproximadamente, de las entidades afectadas en el año 2003.

El objetivo del programa RECLAIM es alcanzar reducción de emisiones equivalente a programas de comando y control más tradicionales a más bajos costos, otorgando flexibilidades a las fuentes sin poner en riesgo la mejora de la calidad del aire. De manera óptima, el programa de comercio de emisiones acelera la reducción de emisiones, estimula el desarrollo de tecnologías de control nuevas y mejoradas, incrementa la flexibilidad de cumplimiento para las entidades, y otorga un mejor y más profundo monitoreo de las emisiones.

El programa cubre un amplio rango de fuentes que afectan a numerosos sectores, incluyendo generadores de electricidad, refinerías, fuentes industriales, compañías aeroespaciales, productores de asfalto, plantas químicas, plantas cementeras y muchos otros.

El programa limita las emisiones de fuentes estacionarias que emiten más de 4 toneladas de NOx y/o SO<sub>2</sub> anualmente en dos programas por separado.

## **4.1.2 Revisión de la experiencia nacional**

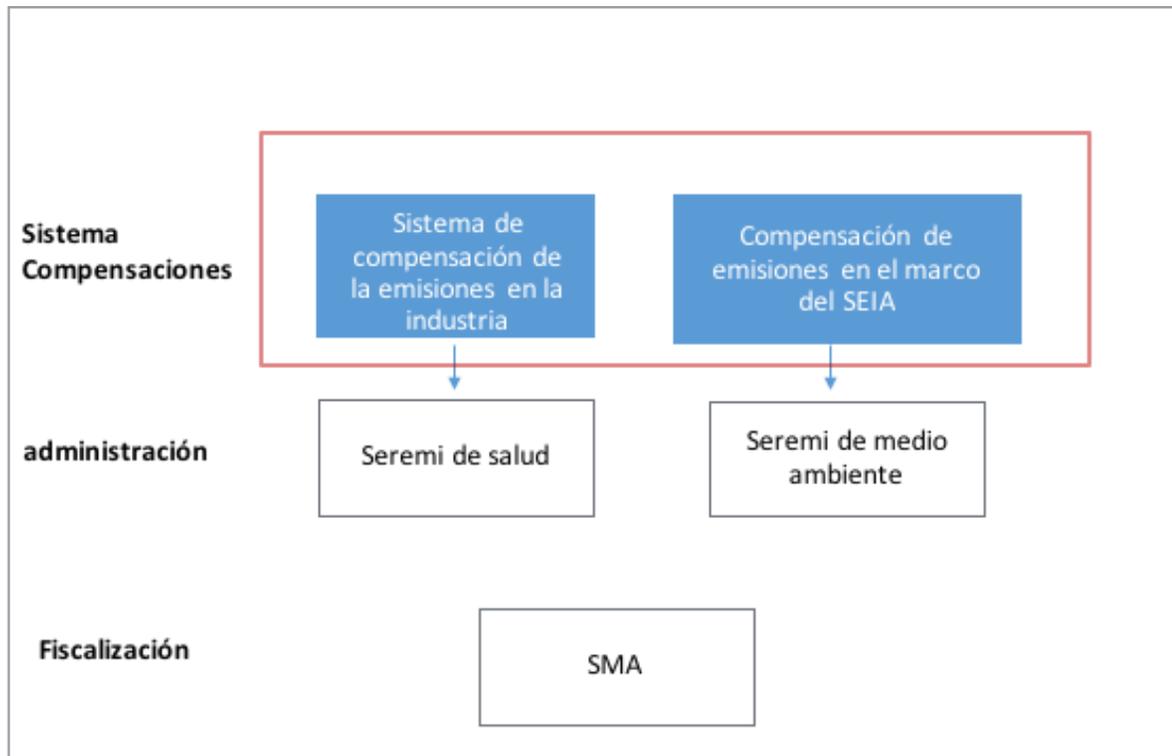
### **4.1.2.1 Sistema de Compensación de Emisiones de la Región Metropolitana**

En la Región Metropolitana existe un “Sistema de Compensación de Emisiones de la Región Metropolitana” que no opera como un sistema, sino como componentes independientes que han sido regulados a través de sucesivas modificaciones y ajustes que se han introducido en el Plan de Descontaminación de Santiago y que son administrados por instituciones diferentes.

El origen de las compensaciones en la RM se encuentra en el DS N°4/1992 del Ministerio de Salud, donde se establecen límites de emisión de MP para el sector, cupos de emisión para las fuentes existentes y exigencias de compensación de emisiones para fuentes nuevas. Posteriormente se incorporó la compensación de emisiones en el SEIA y que es administrado por la Seremi de Medio Ambiente de la RM.

A continuación se presenta un diagrama general del sistema de compensación de la región metropolitana:

**Figura 1 Diagrama general del Sistema de Compensación de Emisiones de la Región Metropolitana**



Fuente: elaboración propia

Para entender el sistema de compensaciones en la Región Metropolitana se debe señalar que está dividido, por una parte, la administración de las compensaciones de la industria a cargo de la Seremi de Salud, y la administración de las compensaciones de emisiones del SEIA son administradas por la SEREMI MMA RM.

- **SISTEMA DE COMPENSACIÓN DE LA SEREMI DE SALUD:**

- **Compensación de emisiones de material particulado en calderas**

En el año 1992 se origina el “Programa de Compensación de Emisiones” a través del Decreto Supremo N° 4/92 el cual se establece con el fin de controlar y reducir las emisiones de material particulado provenientes de las fuentes industriales fijas cuyas emisiones se descargan a la atmósfera a través de un ducto o chimenea con un volumen de flujo mayor o igual a 1000 m<sup>3</sup>/h (fuentes definidas como Fuente Estacionaria Puntual en el decreto). La entidad encargada de fiscalizar el Programa de Compensación de Emisiones en la industria era la Seremi de Medio Ambiente de la R.M. hasta la creación de la Superintendencia de Medio

Ambiente, la actual encargada de la fiscalización de las medidas contenidas en los planes de descontaminación.

Las fuentes incluidas dentro del programa fueron las calderas industriales, las calderas de calefacción y los generadores de vapor.

Las restricciones que estableció el decreto para este tipo fuentes en la Región Metropolitana son dos:

- Las fuentes estacionarias puntuales nuevas y existentes no podrán emitir material particulado en concentraciones superiores a  $112 \text{ mg/m}^3$ .
- Mediante el DS 812/94 se asignaron permisos de emisión diaria conocidos como Emisión Diaria Inicial (EDI) a las fuentes puntuales existentes, los cuales fueron distribuidos por única vez, en forma gratuita. Cada unidad de EDI, la cual es proporcional al caudal del flujo de emisión, confiere a su titular la posibilidad de emitir un kg diario de partículas a perpetuidad:

$$\text{EDI [kg/día]} = \text{Caudal [m}^3/\text{h]} * C_0 * 24 \text{ [h/día]} * 10^{-6} \text{ [kg/mg]} \quad (1)$$

EDI = Emisión Diaria Inicial

Caudal = Caudal medido a plena carga, en condiciones estándar, corregido según exceso de aire declarado por la fuente al momento de registrarse.

$C_0 = 56 \text{ [mg/m}^3\text{]}$ . Corresponde a la concentración de material particulado para determinar la emisión máxima diaria permitida de acuerdo a la ecuación (1). Esta concentración se usó de manera uniforme para todas las fuentes existentes.

24 = Se considera para todas las fuentes una operación de 24 horas al día.

Cada fuente puede emitir hasta un nivel consistente con los permisos de que dispongan, lo que le otorga al programa las características de un mercado de permisos de emisión transferibles.

Las fuentes existentes utilizan los EDI para cubrir la capacidad de emisión diaria, la cual se conoce como emisión declarada diaria (EDD). De esta forma, las fuentes pueden suplir los excesos de emisión con reducciones de otras fuentes o pueden ceder los excesos de EDI, según corresponda, siempre que la concentración observada no supere el estándar máximo.

#### **Reducción de los permisos de emisión:**

Los permisos de emisión fueron reducidos de acuerdo al siguiente cronograma

- Después del 31 de Diciembre del 1999 en el que se disminuye el  $C_0$  de la ecuación (1) a  $50 \text{ mg/m}^3$ .
- Después del 31 de Diciembre del 2004 (Decreto Supremo N°16, 1998) a  $32 \text{ mg/m}^3$ .

En el caso de las fuentes nuevas, no se les asigna EDI, por lo tanto éstas deben adquirir los derechos de emisión necesarios de las fuentes existentes para cubrir la totalidad de sus emisiones EDD.

El Decreto Supremo N°4/92 estableció inicialmente que las fuentes puntuales nuevas deberán compensar sus emisiones al menos en un 25% a fines 1993, el 50% a fines de 1994, el 75% a fines de 1995 y el 100% de sus emisiones a fines de 1996.

El Decreto Supremo N°16/98 de 1998 exigió que las fuentes nuevas compensaran el 120% de sus emisiones. Actualmente se aplica el Decreto Supremo N° 20/2001 en el que se exige a las fuentes nuevas compensar el 150% de sus emisiones. Tratándose de una fuente nueva en reemplazo de una existente, se aplicarán las siguientes disposiciones.

- a) Si la emisión de la fuente nueva es menor o igual que la correspondiente al cupo de emisión individual definido para el 31 de Diciembre del año 2004, entonces la compensación exigida será sólo de un 100%.
- b) Si la emisión de la fuente nueva es mayor que la correspondiente al cupo de emisión individual definido para el 31 de Diciembre del año 2004, entonces la compensación se aplicará de la siguiente forma:
  - 100% sobre el tamaño de emisión equivalente al cupo individual definido para el 31 de Diciembre del año 2004.
  - 150% sobre el diferencial de emisiones por sobre el cupo individual definido para el 31 de Diciembre del año 2004.

#### **Consideraciones por toxicidad y granulometría del MP**

Recientemente, enero de 2013, el Ministerio de Salud publicó la Resolución 77.885, donde se establecen restricciones a la compensación de emisiones en base a consideraciones de granulometría y toxicidad del material particulado.

#### **➤ Sistema de transacción de emisiones de material particulado para procesos industriales**

El Decreto Supremo DS N°66/2003 que actualiza el Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana, mantiene la definición establecida para fuentes estacionarias puntuales de acuerdo al Decreto Supremo N°4/1992 del Ministerio de Salud e incorpora exigencias similares además del MP, al NOx como contaminante al Programa de Compensación de Emisiones.

En el caso de procesos y en general, para todo tipo de fuente estacionaria, se establecen nuevas distinciones entre fuentes existentes y fuentes nuevas, considerando fuente existente aquella que habiendo estado instalada en marzo de 1992 haya declarado sus emisiones de MP a más tardar el 31 de diciembre de 1997, y como fuente nueva, aquella instalada con posterioridad a marzo de 1992, o que estando instalada en marzo de 1992, no haya declarado sus emisiones de MP antes de 1997.

Además, se mantiene la categoría de Mayores Emisores como las fuentes emisoras de MP estacionarias categorizadas como proceso que concentraban el 80% de las emisiones de este sector al año 1997. De acuerdo con la Resolución N° 57.073, la emisión de la última fuente de emisión de MP es de 2,5 ton/año.

Las fuentes estacionarias nuevas, cuya emisión de MP sea mayor o igual a la de la última fuente incluida en el 80% a que se refiere el PPDA (2,5 ton/año) deben compensar sus emisiones en un 150%

La segunda revisión del Plan de Descontaminación (DS 66/2009) mantiene las disposiciones referidas a las compensaciones de MP en procesos, las cuales se detallan en la Tabla 3 siguiente:

**Tabla 4 Compensación de Emisiones de MP en Procesos**

Fuentes estacionarias categorizadas como procesos	Procesos que no son mayores emisores (emisión < 2,5 ton/año)	<ul style="list-style-type: none"> <li>No tienen exigencias de compensar emisiones</li> <li>Les aplica una norma de MP en concentración: 56 mg/m<sup>3</sup></li> <li>Paralizan en episodios &gt; 32 en preemergencia y &gt;28 en emergencias ambientales.</li> <li>Deben realizar Medición CH5 cada 3 años</li> </ul>		
		Si aumenta sus emisiones por encima de 2,5 ton/año debe compensar sus emisiones de acuerdo con los criterios que se indican más adelante.		
	Procesos que son mayores emisores (emisión > 2,5 ton/año)	Mayores emisores existentes	Se establecen metas de reducción de emisiones de MP de un 50% del total de emisiones que estas fuentes emitían al año 1997, meta a cumplir el año 2007.	
		Fuentes nuevas (emisión > 2,5 ton/año)	Las fuentes estacionarias nuevas cuya emisión de MP sea mayor o igual a la de la última fuente incluida en el 80% a que se refiere el PPDA, deberán compensar sus emisiones en un 150%.	

Fuente: Elaboración a DS 66/2009 y Resoluciones de la Seremi de Salud

- **SISTEMA DE COMPENSACIÓN DE EMISIONES DE PROYECTOS QUE INGRESAN AL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (SEIA) EN LA REGIÓN METROPOLITANA**

El Decreto Supremo N°66/2009 establece que todos aquellos proyectos o actividades nuevas y modificación de aquellos existentes que se sometan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental que, en cualquiera de sus etapas, tengan asociadas una emisión total anual que implique un aumento sobre la situación base, superior a los valores que se presentan en la Tabla 5, deberán compensar sus emisiones en un 150%.

**Tabla 5 Emisión máxima ton/año por contaminante.**

Contaminante	Emisión máxima ton/año
MP <sub>10</sub>	2,5
NO <sub>x</sub>	8
SO <sub>x</sub>	50

**Fuente: Decreto Supremo N°66/2009**

La compensación de emisiones será de un 150% del monto total anual de emisiones de la actividad o proyecto para el o los contaminantes para los cuales se sobrepase el valor referido en la Tabla precedente. Estas emisiones corresponderán a **emisiones directas**, es decir, las que se emitirán dentro del predio o terreno donde se desarrolle la actividad, y a las **emisiones indirectas**, tales como, las asociadas al aumento del transporte producto de la nueva actividad.

Respecto a los contaminantes CO, COV y NH<sub>3</sub>, todos aquellos proyectos o actividades nuevas y modificación de aquellos existentes que se sometan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental deberán calcular e informar las emisiones de estos contaminantes.

Tratándose de fuentes estacionarias puntuales se considerará la compensación de material particulado de acuerdo a lo establecido en la última actualización del PPDA (DS N°66/2009).

## Procedimiento de compensación de emisiones en el SEIA

En consecuencia, para determinar si corresponde compensar emisiones, el titular de un proyecto debe estimar las emisiones que se producen durante la etapa de construcción y operación.

Durante la etapa de construcción, los proyectos deberán consignar, al menos, las emisiones de las actividades de intervención directa del sitio donde se realiza el mismo y las asociadas al transporte y disposición del material extraído, y al transporte de los materiales necesarios para la construcción y a las emisiones de combustión de maquinaria y vehículos.

En la fase de operación, se deberá considerar las emisiones del transporte que induce el proyecto, así como las de calderas y equipos electrógenos.

Este proceso de estimación de emisiones se realiza en el marco de la evaluación ambiental de cada proyecto. Si como resultado de la estimación, en cualquiera de estas etapas, o como resultado de la acción acumulada de dos o más de estas, se excedan los límites que establece el PPDA, se crea la obligación de compensar emisiones, lo cual queda establecido en la RCA.

Una vez finalizada la etapa de evaluación ambiental del Estudio de Impacto Ambiental o Declaración del Impacto Ambiental, el SEA notifica al Titular la RCA, donde se establecen las normas, condiciones y medidas bajo las cuales deberá ser ejecutado. Si la RCA, en uno o más de sus considerandos, establece que un proyecto en su etapa de construcción u operación, o ambas, supera los límites establecidos en el art. 98 del D.S. N° 66/2009, de MINSEGPRES, el Titular deberá presentar un **Plan de Compensación de Emisiones (PCE)**.

Para la presentación del PCE los plazos quedarán definidos según la descripción del considerado indicado en la RCA. Lo habitual es que el titular deba presentar el PCE en un plazo de 60 días hábiles en caso de compensar MP10 y/o en un plazo de 90 días hábiles en caso de compensar NOx, contados desde la notificación de la RCA. Así también, según indique la RCA, el titular deberá presentar el PCE directamente a la Seremi de Medio Ambiente para su aprobación.

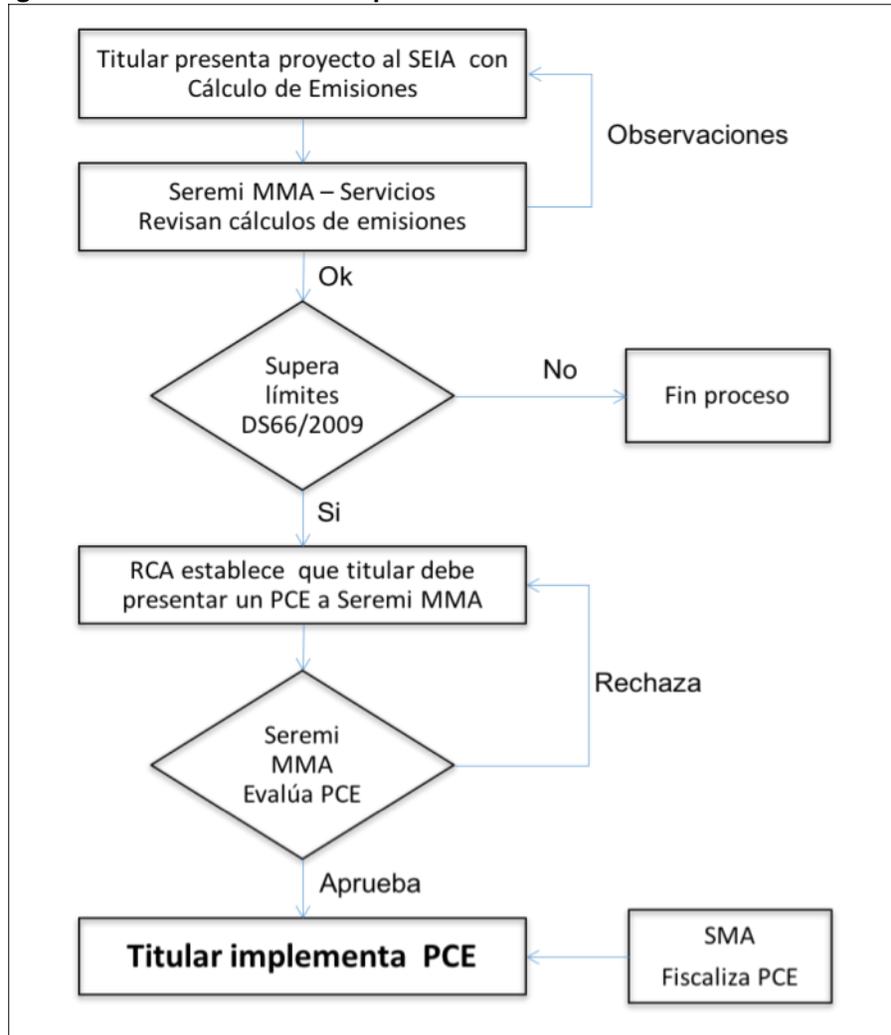
Una vez que la Seremi de Medio Ambiente recibe el PCE, inicia la evaluación de la propuesta. Esta Institución verifica que las medidas para compensar las emisiones propuestas por el titular sean las adecuadas. En caso que la evaluación no sea positiva, se entregan las observaciones al Titular para que este vuelva a presentar el PCE incorporando las observaciones entregadas. En caso que la evaluación sea favorable, se notifica la aprobación al Titular, o cuando corresponda se notifica al SEA, para que este informe al Titular sobre la aprobación del Plan.

Finalmente, una vez recibida la notificación por el Titular, este se encuentra en la obligación de implementar el PCE aprobado.

La fiscalización de la implementación de los PCE, es responsabilidad de la SMA en el marco de la fiscalización del cumplimiento de las RCA.

El procedimiento descrito se presenta en forma simplificada en el diagrama siguiente:

**Figura 2 Procedimiento de compensación de emisiones en el marco del SEIA**



## **Determinación de las emisiones (Cálculo de las Emisiones de MP10)**

El proceso de estimación de emisiones se realiza en el marco de la evaluación ambiental de cada proyecto y como base de cálculo se utiliza la “**Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios para la Región Metropolitana**” es una guía para la estimación de emisiones, que incluye toda la información relevante para la estimación de actividades que generan emisiones de MP 10 y otros gases.

En particular, se detalla la metodología para la estimación de emisiones provenientes del transporte (tanto por la re suspensión de polvo por la circulación de vehículos como por la combustión de sus motores) y las emisiones generadas en las actividades más comunes de la fase de construcción de un proyecto (Como la preparación del terreno y movimiento de tierras) y fuentes fijas como calderas.

## **Criterios para Compensar Emisiones**

El principio básico que rige la compensación de emisiones es el de **integridad ambiental**, cuyo objetivo es lograr que la compensación de emisiones genere una rebaja de emisiones que cumpla con las siguientes características:

- **Real:** Significa que la alternativa de compensación debe generar una reducción efectiva de emisiones.
- **Cuantificable:** Significa que debe existir una metodología aceptada de medición o estimación de la reducción de emisiones y que ésta puede ser aplicada a un costo razonable para efectos de calcular la rebaja.
- **Adicional:** Significa que la rebaja de emisiones que la alternativa de compensación produce no se hubiera generado de otra manera, sino que con éste objetivo únicamente.
- **Permanente:** Significa que la rebaja permanezca al menos por el periodo en que el proyecto está obligado a reducir emisiones.
- **Exigible:** Significa que la rebaja comprometida constituye una obligación irrenunciable para el titular del proyecto con obligación de compensar emisiones y que la autoridad debe tener las atribuciones para exigir a quien reduce que garantice dicha reducción por el periodo que le corresponde.

## 5 Alternativas de compensación seleccionadas

El plan establece la necesidad de contar con alternativas a la reducción de material particulado - MP10 , a través de la compensación de emisiones, según lo establece el Artículo 10:

*“Con el fin de disponer de alternativas para el cumplimiento de las metas de emisión y calidad del aire del PDA, la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente Región de Coquimbo deberá disponer y administrar en el plazo no mayor de un año y medio, de un Banco de Alternativas de Compensación de Emisiones para la localidad de Andacollo, entendiéndose como Banco de Alternativas a un listado de proyectos opcionales para la reducción de emisiones.”*

Las alternativas de compensación de emisiones seleccionadas podrán ser utilizadas para el cumplimiento de los límites de emisión establecidos para la Compañía Minera Dayton y la Compañía Minera Teck C.D.A., también para cumplir las medidas de reducción de emisiones por parte de la Municipalidad de Andacollo y para la compensación de emisiones de otras fuentes emisoras nuevas.

A continuación se presentan las alternativas para compensar las emisiones de MP10 son:

- a) **Compensación de Emisiones con Pavimentación**
- b) **Compensación de Emisiones con Forestación**
- c) **Compensación de Emisiones con Eco Envolvertes Vegetales**
- d) **Compensación de Emisiones con estabilización de caminos no pavimentados**
- e) **Compensación de Emisiones con aspirado de calle**
- f) **Compensación de Emisiones mediante el retiro de relaves**
- g) **Compensación de Emisiones mediante la fito estabilización de relaves**

## 5.1 *Compensación de Emisiones de MP10 con Pavimentación*

La pavimentación es una medida viable para la compensación de material particulado resuspendido, ya que la estabilización de los caminos no pavimentados mediante la pavimentación permite una reducción de emisión significativa.

La circulación de vehículos por caminos no pavimentados es una de las fuentes principales de generación de polvo resuspendido.

### **Método de cálculo**

La emisión compensar es el resultado de la diferencia de las emisiones del tramo (distancia) de una calle sin pavimentar y el mismo tramo de la calle pavimentada

A continuación se presenta la fórmula de cálculo:

$E_{\text{comp}} = E_{\text{sin pav}} - E_{\text{con pav}}$ , equivale a:

$$D_{\text{distancia}} * (FE_{\text{sin pav}} * NA - FE_{\text{CON pav}} * NA) = E_{\text{comp}}$$

Donde

$E_{\text{comp}}$  = Emisiones compensadas

$E_{\text{sin pav}}$  = Emisiones de camino no pavimentado

$E_{\text{con pav}}$  = Emisiones de camino pavimentado

FE = Factor de emisión

NA = Nivel de actividad

$D_{\text{distancia}}$  = distancia que será pavimentada del camino

Para generar la alternativa de compensación en pavimentación el titular debe considerar dos aspectos metodológicos: Nivel de Actividad y los Factores de Emisión a utilizar.

El **EXPEDIENTE 1** del estudio denominado **“METODOLOGÍA COMPENSACIÓN CON PAVIMENTACIÓN”** detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación.

## **5.2 Compensación de Emisiones de MP10 con Forestación**

La Forestación es una medida viable para la compensación de material particulado resuspendido, mediante metodologías para reforestaciones rurales, urbanas y arbolado en parques, vía pública entre otros.

### **Método de cálculo**

La emisión compensar es el resultado de la forestación de una area determinada mediante un factor de captura que significa, la cantidad de toneladas de MP-resuspendido que captura una catidad de hectareas con forestación.

<b>Factor de captura FC MP10</b> (Establecida en la SEREMI MMA IV Región)
<b>0,5 ha captura de 1 ton/año de MP10</b>
Esta relación establece que por cada 0,5 hectáreas de forestación se captura una tonelada de MP10 resuspendio

### **Determinación de las superficie a forestar**

Conforme a lo indicado por el factor de captura de la región, para la compensación de material particulado se debe calcular la superficie del área verde según la siguiente ecuación:

$$\text{Superficie (há) a forestar} = \text{FC MP10} \times \text{E MP10}$$

Donde:

FC MP10= Factor de captación de material particulado= 0,5 há/tonMP10

E MP10= Emisión de MP10 del proyecto, (ton MP10)

**El EXPEDIENTE 2** del estudio denominado **“METODOLOGÍA COMPENSACIÓN CON FORESTACIÓN”** detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación.

### 5.3 **Compensación de Emisiones de MP10 con ECO ENVOLVENTES VEGETALES**

La utilización de la vegetación en construcciones, como elementos funcionales mediante su incorporación en las edificaciones (techos, terrazas, fachadas y muros verdes), aportan grandes ventajas ambientales, ya que actúa como “filtro verde, fija gases contaminantes y material particulado”<sup>1</sup>; por lo tanto es una medida viable para la compensación de material particulado resuspendido.

#### **Método de cálculo**

La emisión a compensar es el resultado de la aplicación de cubiertas vegetales en un área determinada de una construcción mediante un factor de captura:

<b>Factor de captura actual</b>
Establecida en la SEREMI MMA IV región
<b>1m<sup>2</sup> captura de 1 a 2 Kg/año de MP10</b>
Esta relación establece que por cada 1 metro cuadrado de eco envolvente vegetal se captura una 1 a 2 kg/año de MP10 resuspendido

#### **Determinación de las superficie a forestar**

Conforme a lo indicado por el factor de captura de la región, para la compensación de material particulado se debe calcular la superficie del área verde según la siguiente ecuación:

$$\text{Área (m2) a forestar} = \text{FC MP10} \times \text{E MP10}$$

Donde:

FC MP10= Factor de captación de material particulado.

E MP10= Emisión de MP10 del proyecto, (ton MP10)

---

1 (Wong & Chen, 2009; Lucket, 2009; Hitchmough & Fieldhouse, 2004



**El EXPEDIENTE 3** del estudio denominado **“METODOLOGÍA COMPENSACIÓN CON ECO ENVOLVENTES VEGETALES”** detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación.

#### **5.4 Compensación de Emisiones de MP10 con estabilización de caminos no pavimentados**

La estabilización de caminos con supresor de polvo , es una alternativa que busca minimizar las emisiones de material particulado (polvo resuspendido) generadas por la circulación de vehículos por caminos no pavimentados, aplicando un producto supresor de polvo en los caminos internos y de acceso no pavimentados, lo que permitirá una reducción de al menos un 80% del polvo resuspendido.

La circulación de vehículos por caminos no pavimentados es una de las fuentes principales de generación de polvo resuspendido.

##### **Método de cálculo**

La emisión compensar es el resultado de la eficiencia del supresor del polvo aplicado en un tramo de una camino sin pavimentar.

A continuación se presenta la fórmula de cálculo:

$$E_{comp} = E_{sin\ pav} * (1 - \% \text{ de abatimiento y/o eficiencia})$$

equivale a:

$$FE_{sin\ pav} * NA * (1 - \% \text{ de abatimiento y/o eficiencia}) = E_{comp}$$

Donde

$E_{comp}$  = Emisiones compensadas

$E_{sin\ pav}$  = Emisiones de camino no pavimentado

$E_{con\ pav}$  = Emisiones de camino pavimentado

FE= Factor de emisión

NA= Nivel de actividad



Para generar la alternativa de compensación en pavimentación el titular debe considerar tres aspectos metodológicos: **Porcentaje de Abatimiento/Eficiencia del Supresor de Polvo, el Nivel de Actividad y los Factores de Emisión a utilizar.**

### **Porcentaje de Abatimiento del Supresor de Polvo**

Se considerará que la eficiencia de la medida de estabilización de caminos corresponde a la eficiencia que señala el proveedor del producto que se utilice para estabilizar, en la medida que se utilice en la forma por él señalada. Independiente de lo anterior, no se reconocerán eficiencias a menos que el titular presente un “Programa de Aplicación Producto Supresor de Polvo”.

Se recomienda considerar las recomendaciones del protocolo “Generic Verification Protocol For Dust Suppression And Soil Stabilization Product”, elaborado por Centro de Verificación de Tecnología para el Control de la Contaminación del Aire (APCT Verification Center) y el Centro de Evaluación de Tecnología Ambiental (EvTEC), en conjunto con el Centro de Evaluación de Tecnología Innovadora de Carreteras (HITEC) perteneciente al Centro de Innovación de la Fundación de Investigación de Ingeniería Civil (CERF)-EPA, para la aplicación del producto supresor de polvo en los caminos internos y de acceso no pavimentados.

**El EXPEDIENTE 4** del estudio denominado **“METODOLOGÍA COMPENSACIÓN CON ESTABILIZACION DE CAMINOS”** detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación.

## **5.5 Compensación de Emisiones de MP10 con aspirado de calle**

El aspirado de calle es una medida viable para la compensación de material particulado resuspendido, ya que significa la reducción en los contenidos de polvo fino, producto el paso de un camión de limpieza frecuente de calles sucias.

### **Método de cálculo para determinar la reducción de emisiones**

El estudio realizado por el DICTUC el año 2006 denominado “**Control y Fiscalización del Servicio “Limpieza de Calles Período 2003-2007”** para la Región Metropolitana realiza una investigación respecto de cómo evaluar el impacto de este tipo de programas en la calidad del aire, indica que la metodología más utilizada es la más utilizada a nivel mundial **es la medición de los contenidos de polvo fino (silt) antes y después de la pasada de los camiones**. Posteriormente se introduce la reducción del contenido de silt en la fórmula para calcular emisiones (emisiones producto del tránsito de vehículos por una calle) y estiman las nuevas emisiones. El estudio indica que se ha utilizado se ha utilizado una eficiencia de literatura que recomienda un 12% de reducción de contenidos de fino producto del paso de los camiones. representan menos del 1%.

**Se propone utilizar una eficiencia mayor equivalente a un 40%, recomendada por la literatura para tecnologías de punta.**

La emisión diaria generada en la calle por el flujo de vehículos se determina mediante la siguiente fórmula:

#### **Emisión diaria**

$$Ed = Fe * F * L$$

Donde,

Ed : tasa de emisión diaria por tramo [g/día].

Fe : factor de emisión de partículas por calles pavimentadas [g/vehículo-km].

F : flujo vehicular diario [vehículos/día].

L : longitud del tramo [km].

Para generar la alternativa de compensación en pavimentación el titular debe considerar dos aspectos metodológicos: Nivel de Actividad (que corresponde al flujo vehicular diario) y el Factor de Emisión a utilizar.

Para la correcta ejecución de la medida se proponen los siguientes puntos a considerar, junto con su implementación:

- Diseñar y Ejecutar un Programa de Fiscalización de las rutas. Esto contempla los siguientes elementos.
  - Seguimiento 100% con sistema GPS
  - Inspección del tipo muestral en terreno (camionetas)
  - Inspección técnica de camiones
  
- Evaluar con dicha metodología el impacto del Programa, Estimando el impacto (efectividad del Programa actual) sobre la base del número de pasadas ( por semana, kilometraje limpiado, velocidad de los camiones, factor de emisión antes del paso del camión de aspirado de calle, factor de emisión después del paso del camión de aspirado de calle, etc.)
  
- Generar reportes diarios/semanales/mensuales/finales. Disponer de un sistema de registro, almacenamiento y reporte de los datos relevantes del Programa. Generar indicadores de seguimiento.
  
- Generar conclusiones respecto del impacto real del Programa y de las mejoras implementadas. Proponer mejoras y recomendaciones adicionales que permitan seguir mejorando el desempeño de este Programa.

**El EXPEDIENTE 5** del estudio denominado **“METODOLOGÍA COMPENSACIÓN CON ASPIRADO DE CALLE”** detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación.

## 5.6 *Compensación de Emisiones MP10 con RELAVES*

Se ha seleccionado la alternativa remoción/estabilización de relaves como mecanismo de compensación de emisiones de MP<sub>10</sub>. Lo anterior requiere la definición de criterios para incorporar la **composición del material particulado** en los mecanismos de compensación de emisiones en el marco del Plan de Descontaminación de Andacollo.

Al incorporar estos criterios, se podrán generar incentivos reales para que las empresas mineras privilegien la **remoción de relaves mineros** ubicados en la zona urbana de Andacollo por sobre otras alternativas de reducción de emisiones, con el consiguiente impacto en la calidad de vida de sus habitantes y en la reducción del riesgo en salud.

En este caso, interesa poder diferenciar la composición del polvo resuspendido por actividades mineras extractivas, principalmente asociada a resuspensión producto del tráfico vehicular, de la composición del material particulado proveniente de relaves mineros que se encuentran al interior de la localidad de Andacollo.

Se han considerado dos alternativas de reducción de emisiones son relaves, las que se presentan a continuación:

- Retiro de relaves
- Fitoestabilización de relaves

Es importante destacar que la primera alternativa presenta un mayor impacto en la calidad de vida, a la vez que deja disponible una superficie urbana que hoy se encuentra inutilizada y esto considera varios beneficios (estéticos, sociales, salud, entre otros).

### **Método de cálculo para determinar la reducción de emisiones**

A continuación se describe de forma resumida la metodología de estimación de emisiones proveniente de la resuspensión de material particulado sobre calles pavimentadas, metodología presentada en la última edición del AP-42.

$$E_{\text{comp}} = E_{\text{pila}} * \text{indicador de relave (fitoe./retiro)}$$

Equivale a:

$$N.A * Fe = E_{\text{comp}} = E_{\text{pila}} * \text{indicador de relave (por alternativa)}$$

Donde

$$E_{\text{comp}} = \text{Emisiones compensadas}$$

$$E_{\text{pila}} = \text{Emisiones de relave generadas por la acción eólica}$$

**Fe** = factor de emisión por erosión de material en pila, acopios

**Na** = Nivel de actividad esto es superficie de relave en hectáreas

**Indicador de relave** = Indicador que ha sido elaborado en función de la toxicidad de los relaves

### 5.6.1 Retiro de relaves

El retiro de relaves considera la recuperación de un terreno altamente intervenido que en el pasado fue utilizado para la disposición de relaves mineros. La adecuada implementación de esta medida contribuirá a proteger la salud humana y el medio ambiente, al reducir las vías de exposición a los metales contenidos en los desechos mineros masivos y eliminar un “pasivo ambiental”.

En el proyecto de retiro de relaves debe considerar al menos las siguientes actividades:

- Actividades asociadas al levantamiento de información relevante del relave
- Actividades asociadas al retiro de los relaves y la recuperación de suelos contaminados con relaves mineros; y
- Actividades asociadas al transporte y acopio/procesamiento final de los relaves extraídos

A continuación se presenta el indicador para retiro de relave:

#### Indicador de relave

Identificación	Indicador Promedio Relave por toxicidad	Indicador Retiro de Relave
Sitio 2	12,8	12,8
Sitio 13	11,5	11,5
Sitio 10	9,9	9,9
Sitio 11	6,8	6,8
Sitio 6	6,7	6,7
Sitio 4	5,4	5,4
Sitio 7	5,4	5,4
Sitio 3	5,3	5,3
Sitio 1	4,7	4,7
Sitio 8	4,0	4,0
Sitio 18	3,7	3,7
Sitio 5	1,1	1,1
Sitio 9	1,0	1,0

El **EXPEDIENTE 6** del estudio denominado **“METODOLOGÍA COMPENSACIÓN CON RELAVE”** detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación con retiro de relave.

### 5.6.2 Fitoestabilización de relaves

La fitoestabilización constituye una técnica para la estabilización de los depósitos de relaves mineros abandonados. Esta tecnología se define como el uso de especies vegetales nativas y endémicas tolerantes a metales (metalófitas) y de acondicionadores de sustrato adecuados para estabilizar física, química y biológicamente suelos contaminados con metales y desechos mineros masivos que aún contienen metales, como los relaves. El objetivo último de la fitoestabilización es controlar o mitigar los posibles riesgos ambientales que los metales contenidos en el sustrato de interés pueden imponer en el medio ambiente, a través de una disminución en su biodisponibilidad; o sea, la eliminación de las vías de exposición.

El proyecto de Fitoestabilización al menos debe incluir tres aspectos fundamentales para su implementación:

- Que las especies puedan tolerar las altas concentraciones de metales del sustrato y que acumulen los metales en las raíces o tejidos subterráneos.
- El segundo requisito es que las especies estén adaptadas al clima local y sean inocuas para el medio ambiente. Usar especies nativas y endémicas, es decir propias del área biogeográfica donde está emplazado el depósito de relaves o el sustrato de interés de fitoestabilizar.
- Que las especies permanecieran posteriormente en el tiempo sin ningún manejo adicional.

A continuación se presenta el indicador para retiro de relave:

<b>Indicador de relave</b>		
<b>Identificación</b>	<b>Indicador Promedio Relave por toxicidad</b>	<b>Indicador fito estabilización<sup>2</sup></b>
Sitio 2	<b>12,8</b>	<b>6,4</b>
Sitio 13	<b>11,5</b>	<b>5,7</b>
Sitio 10	<b>9,9</b>	<b>5,0</b>
Sitio 11	<b>6,8</b>	<b>3,4</b>
Sitio 6	<b>6,7</b>	<b>3,4</b>
Sitio 4	<b>5,4</b>	<b>2,7</b>
Sitio 7	<b>5,4</b>	<b>2,7</b>
Sitio 3	<b>5,3</b>	<b>2,7</b>

Sitio 1	<b>4,7</b>	<b>2,4</b>
Sitio 8	<b>4,0</b>	<b>2,0</b>
Sitio 18	<b>3,7</b>	<b>1,9</b>
Sitio 5	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>
Sitio 9	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>

El **EXPEDIENTE 6** del estudio denominado **“METODOLOGÍA COMPENSACIÓN CON RELAVE”** detalla los aspectos metodológicos para la presentación e implementación de la compensación con fito estabilización.

## **6 ANEXOS**

En forma digital se adjuntan los siguientes anexos:

**EXPEDIENTE 1 “METODOLOGÍA COMPENSACIÓN CON PAVIMENTACIÓN”**

**EXPEDIENTE 2 “METODOLOGÍA COMPENSACIÓN CON FORESTACIÓN”.**

**EXPEDIENTE 3 “METODOLOGÍA COMPENSACIÓN CON ECO ENVOLVENTES VEGETALES”**

**EXPEDIENTE 4 “METODOLOGÍA COMPENSACIÓN CON ESTABILIZACION DE CAMINOS”**

**EXPEDIENTE 5 “METODOLOGÍA COMPENSACIÓN CON ASPIRADO DE CALLE”**

**EI EXPEDIENTE 6 “METODOLOGÍA COMPENSACIÓN CON RELAVE”**