GOBIERNO DE CHILE
COMISIÓN NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

GOBIERNO DE CHILE
Sectra

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE SALUD

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE FUENTES FIJAS Y MÓVILES EN EL REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES

Banco Mundial

Canadian International Development Agency

Agence canadienne de développement international

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE FUENTES FIJAS
Y MÓVILES EN EL REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES
© 2009 Comisión Nacional del Medio Ambiente

Teatinos 254/258, Santiago de Chile
Editor responsable: Departamento de Control de la Contaminación de CONAMA
Diseño de Portada: ANDROS Impresores

I.S.B.N. 978-956-7204-36-6

Se terminó de imprimir esta obra en el mes de diciembre de 2009
Diseño y producción Andros Impresores

Impreso en Chile / Printed in Chile

GOBIERNO DE CHILE
COMISIÓN NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN
Sectra

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE SALUD

Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes

FINANCIADO POR:

Banco Mundial

Canadian International Development Agency
Agence canadienne de développement international

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Contaminante		Importancia
PTS	Partículas Totales Suspendidas	Contaminante Criterio (sin norma primaria calidad de aire)
MP 10	Material Particulado de 10 micrómetros	Contaminante Criterio (con norma primaria de calidad de aire)
CO	Monóxido de Carbono	Contaminante Criterio (con norma primaria de calidad de aire)
NOx	Óxido de Nitrógeno	Contaminante Criterio y Gas de Efecto Invernadero (Protocolo de Kioto) (con norma primaria de calidad de aire)
SOx	Óxido de Azufre	Contaminante Criterio (con norma primaria de calidad de aire)
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles	Contaminante Criterio (sin norma primaria de calidad de aire)
NH3	Amoníaco	Precursor de formación material particulado (sin norma primaria de calidad de aire)
PCDD y PCDF	Dioxinas y Furanos	Dioxinas y Furanos (Convenio de Estocolmo)
Hg	Mercurio	Programa Global del Mercurio (neuro tóxico sin norma primaria de calidad de aire)
MP 2.5	Material Particulado de 2.5 micrómetros	Contaminante Criterio (en proceso de contar con norma primaria de calidad de aire)
CO2	Dióxido de Carbono	Gas de Efecto Invernadero (Protocolo de Kioto)
Pb	Plomo	Contaminantes Criterio (con norma primaria de calidad de aire)
As	Arsénico	Arsénico, D.S. Nº 165 de 1999 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Norma de Emisión para la regulación del contaminante arsénico emitido al aire (1999)
Benceno		Cancerígeno en humano (sin norma primaria de calidad de aire)
Tolueno		Cancerígeno en humano (sin norma primaria de calidad de aire)
TRS	Ácido sulfhídrico / Sulfuro de hidrógeno	D.S. Nº 167 de 1999 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Norma de Emisión para Olores Molestos (1999)

FUENTES FIJAS

Calderas acuatubulares	:	Donde el fuego pasa por fuera de los tubos que llevan interiormente el agua o líquido de intercambio.
Calderas pirotubulares	:	Donde el fuego pasa por dentro de tubos que están rodeados de agua o líquido de intercambio.
Cámara de sedimentación	:	Equipo de control de emisiones de material particulado, que se basa en un aumento de volumen de los gases que genera una reducción de su velocidad, permitiendo su sedimentación.
Combustibles	:	Tipos de energéticos de acuerdo a las definiciones de los decretos de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).
Common rail	:	Sistema de inyección de combustible en motores de combustión interna diesel.
Cribado	:	Proceso de tamizado o selección por tamaño de un producto o materia prima.
Electro refinación	:	Proceso de refinación del cobre que se realiza en un baño electrolítico.
EPA	:	Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.
EQt	:	Unidad de la Toxicidad equivalente
Factor de emisión	:	Promedio de un gran número de mediciones de emisiones de contaminantes atmosféricos, que son representativas de un tipo de fuentes de emisión.
IPCC	:	Panel Internacional sobre Cambio Climático.
Laboratorios autorizados	:	Laboratorios privados que realizan mediciones de emisiones en fuentes fijas, autorizados por la SEREMI de salud correspondiente al lugar de residencia del laboratorio.
MINSAL	:	Ministerio de Salud.
Piro refinación	:	Proceso de refinación del cobre por medio de aplicación de fuego directo.
Plantas BACH	:	Equipos de producción que operan procesando una cantidad fija de materia prima de principio a fin de la transformación, requiriendo de una descarga y carga para iniciar un ciclo nuevo.
PNUMA	:	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
Portal del D.S. 138/2005 MINSAL	:	Página WEB del MINSAL para la declaración de emisiones atmosféricas generadas por fuentes industriales.
Tecnología de Abatimiento	:	Equipos de reducción o captación de las emisiones atmosféricas de una fuente.
SCC	:	Código de clasificación de fuentes de la EPA, permite ordenar en forma estructurada los diferentes tipos de fuentes industriales.
SEREMI	:	Secretaría Regional Ministerial.
Spreader	:	Sistema de carga en calderas de parrillas móviles, que permite alimentar el combustible mediante un dosificador con forma de espátula.
UNEP	:	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
Polimerizadoras	:	Fuentes fijas del tipo procesos en las cuales se procesan polímeros plásticos.
Alto horno	:	Horno de fundición de hierro de tipo vertical que usa carbón coke como combustible.

FUENTES MÓVILES

Corridas AM y FP	:	La información base de las corridas de transporte son entregadas a nivel de arco vial, correspondiendo al nivel máximo de desagregación espacial de la información de trasporte. Por otra parte, estas corridas sólo reportan flujos y velocidades para el período punta, horario 8:30 a 9:30 y período fuera de punta, horario 10:00 a 12:00. Por tanto, para obtener flujos a lo largo del día es necesario complementar la información con perfiles temporales de flujo de 24 horas y para todos los días de la semana
EOD	:	Encuesta Origen Destino.
EQT	:	Equivalente de Toxicidad.
ESTRAUS	:	Nombre asignado al modelo de transporte de cuatro etapas de equilibrio simultáneo para ciudades de gran tamaño, desarrollado por SECTRA.
INE	:	Instituto Nacional de Estadísticas.
MODEC	:	Modelo de Valoración Económica de los Cambios de Emisiones/Concentración generados por el Transporte, desarrollado por SECTRA.
MODEM	:	Modelo de emisiones vehiculares de SECTRA.
Modelación SECTRA	:	Corridas de los modelos Estraus o Vivaldi manejados por SECTRA.
PACIN	:	Estudios de investigación de instrumentos de planificación ambiental para ciudades intermedias, desarrollado por SECTRA en tres etapas. Estudio que ha estimado las emisiones utilizando el modelo MODEM en las principales ciudades intermedias del país.
RVP	:	Presión de vapor Reid del Combustible.
Saturno	:	Modelo de Asignación de Redes de tráfico.
SECTRA	:	Secretaría de Planificación de Transporte.
VKT	:	Vehículos Kilómetros totales.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN 11

RESUMEN EJECUTIVO 13

1. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS 15
   - 1.1. Asfaltos 18
   - 1.2. Calderas generadoras de vapor y/o agua caliente 21
   - 1.3. Producción de cemento, cal y yeso 35
   - 1.4. Centrales termoeléctricas 43
   - 1.5. Producción de cerámica 57
   - 1.6. Equipos electrógenos 59
   - 1.7. Producción de Vidrio 64
   - 1.8. Producción de celulosa 67
   - 1.9. Fundiciones primarias y secundarias 70
   - 1.10. Siderurgia 74
   - 1.11. Petroquímica 78

2. ESTIMACION DE EMISIONES DE FUENTES MOVILES 81
   - 2.1. Metodología para ciudades que cuentan con modelo de transporte 81
   - 2.2. Metodología para ciudades que no cuentan con modelo de transporte 106

BIBLIOGRAFÍA 115

3. ANEXO 1: Densidades y poderes caloríficos de los combustibles nacionales 116

4. ANEXO 2: Laboratorios autorizados por la Secretaría Regional Ministerial de Salud Región Metropolitana para realizar muestreos Isocinéticos de Material Particulado Ch-5 117

5. ANEXO 3: Listado de categorías vehiculares de la metodología y su descripción 118

6. ANEXO 4: Factores de emisión provenientes de COPERT III y mediciones locales en 3CV 126

7. ANEXO 5: Factores de emisión propuestos por estudio CONAMA RM 2008 135

PRESENTACIÓN

El 23 de junio de 2005 el Consejo Directivo de CONAMA, por acuerdo Nº 277, aprobó la Propuesta Nacional y Plan de Acción de Implementación del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) en Chile, cuyo objetivo general es establecer las especificaciones de los elementos técnicos, informáticos, administrativos, institucionales y legales tendientes a la implementación del sistema del RETC Nacional.

Esta guía tiene por propósito complementar los esfuerzos realizados por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, el Ministerio de Salud, y el Ministerio de Planificación a través de la Secretaría de Planificación de Transporte, para fortalecer la infraestructura disponible para la estimación de emisiones y estandarizar las metodologías de estimación de emisiones a nivel nacional.

En este sentido, el Ministerio de Salud y la Comisión Nacional del Medio Ambiente han realizado importantes esfuerzos en esta dirección. El Ministerio de Salud migró el programa cliente a ambiente Web, para declarar las emisiones de las fuentes fijas atmosféricas en todas las regiones del país a partir del Decreto Supremo MINSAL Nº 138, publicado en el Diario Oficial el 17 de noviembre del 2005. Por su parte CONAMA generó la Calculadora de Emisiones de fuentes fijas atmosféricas, para facilitar y agilizar el procesamiento de dichas declaraciones.

En el caso específico de las fuentes industriales, especialmente para las industrias de mayor tamaño, se cuenta con la exigencia del D.S. MINSAL 138/2005, que obliga a este tipo de fuentes a reportar sus emisiones. Para la aplicación de este decreto se cuenta con una plataforma Web de propiedad del Ministerio de Salud (www.declaracionemision.cl), en la cual la industria realiza su declaración de emisiones de fuentes fijas atmosféricas.

La declaración Web del DS MINSAL 138 incluye, principalmente, información general del establecimiento, su localización, características técnicas y emisiones de fuentes fijas. Toda esta información es traspasada a la Calculadora de Emisiones en forma estructurada en donde se efectúa el cálculo de emisiones según la metodología de CONAMA-MINSAL para el desarrollo de inventarios de emisiones.

En cuanto a la Calculadora de Emisiones, esta corresponde a la migración a plataforma Web del sistema de administración del inventario de emisiones desarrollado por CONAMA RM el año 2002, el cual es una estructuración conceptual de las metodologías de cálculo requeridas para la obtención de los complejos inventarios de fuentes industriales. En términos generales, dicho sistema permite un traspaso automatizado de la información declarada por los sectores industriales a través de la declaración Web del Ministerio de Salud, como base para el inventario y procesos automáticos de cálculo de emisiones. El inventario de emisiones generado por este sistema es de alta complejidad considerando que uno de sus objetivos principales es la alimentación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos y la evaluación de beneficios de medidas de reducción de emisiones, lo cual implica la generación de inventarios distribuidos espacial y temporalmente, y desagregados en sustancias químicas.

Por otra parte, el Ministerio de Planificación, a través de la Secretaría de Planificación de Transporte, ha desarrollado modelos de transportes que permiten simular las emisiones a la atmósfera de los contaminantes generados por el transporte en las principales ciudades del país.

Ponemos a disposición de los distintos sectores productivos y a la ciudadanía en general esta guía, que resume las metodologías que son usadas por el Estado de Chile, para estimar las emisiones atmosféricas tanto para fuentes fijas como móviles, y que son utilizadas para realizar los reportes anuales del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

Esperamos que este esfuerzo conjunto de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, del Ministerio de Salud y del Ministerio de Planificación a través de la Secretaría de Planificación de Transporte, sea un aporte al cumplimiento de las obligaciones ambientales de los sectores productivos del país, que permitan su crecimiento sustentable.

Por último, agradecemos los aportes de la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional que a través del Banco Mundial ha hecho posible la publicación de esta Guía.

Álvaro Sapag Rajevic
Director Ejecutivo
Comisión Nacional del Medio Ambiente

RESUMEN EJECUTIVO

Esta publicación explicita detalladamente las metodologías utilizadas para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles de interés para el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

Los parámetros a los cuales se detallan las metodologías para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas de interés en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes están dados en el Decreto Supremo Nº 138/05 del Ministerio de Salud, a través de la circular dictada para tal propósito, que imparte instrucciones sobre la aplicación de dicho decreto, y establece los contaminantes a declarar, los cuales se detallan a continuación:

- Ácido sulfhídrico/Sulfuro de hidrógeno (o TRS)
- Arsénico
- Benceno
- Compuestos Orgánicos Volátiles
- Dibenzofuranos policlorados (PCDF)
- Dibenzoparadioxinas policloradas (PCDD)
- Dióxido de carbono (CO2)
- Metano (CH4)
- Monóxido de carbono
- MP10
- Nitrito más Nitrato (y NOx)
- Nitrógeno amoniacal (o NH3)
- Partículas Totales Suspendidas (PTS)
- Plomo
- SOx
- Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano
- Mercurio

Esta guía entrega los contenidos a incluir en la ficha para cada una de las 11 categorías de fuentes requeridas, para la estimación de emisiones.

La metodología general empleada para la estimación de emisiones de este tipo de actividades es la siguiente:

$$E = fe * Na * \left(1 - \frac{Ea}{100}\right) \qquad \textbf{Ecuación 1}$$

Donde:

E : Emisión
fe : Factor de emisión
Na : Nivel de actividad diaria, semanal y mensual de la fuente estimada.
Ea : Eficiencia de abatimiento

Se indican los factores de emisión para cada una de las 11 categorías de fuentes requeridas, para la estimación de emisiones; para ello se señalan ejemplos para cada uno de los sectores que deben declarar por el D.S. MINSAL 138/2005, y cómo se aplican las metodologías utilizadas para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas de interés para el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

Los ejemplos tienen relación con el artículo 2° del D.S. MINSAL 138/2005, el cual señala: "estarán afectas a la obligación de proporcionar los antecedentes para la determinación de emisión de contaminantes, las fuentes fijas que correspondan a los siguientes rubros, actividades o tipo de fuente":

- Calderas generadoras de vapor y/o agua caliente
- Producción de celulosa
- Fundiciones primarias y secundarias
- Centrales termoeléctricas
- Producción de cemento, cal o yeso
- Producción de vidrio
- Producción de cerámica
- Siderurgia
- Petroquímica
- Asfaltos
- Equipos electrógenos

Finalmente, en la presente guía se han incorporado las metodologías de estimación de emisiones de fuentes móviles para ciudades que cuentan con modelos de trasporte y ciudades que no cuentan con modelos de transporte. En el caso de las ciudades que cuentan con modelo de transporte, esta metodología fue desarrollada en estudios tanto de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y en la Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA) en la última década y en el caso de metodología de estimación de emisiones para ciudades sin modelo de transporte esta ha sido desarrollada por estudios de CONAMA.

La diferencia principal de las metodologías para ciudades que cuenta con y sin modelo de transporte radica principalmente con el nivel de detalle de la información base la cual permite en el primer caso efectuar estimaciones a nivel de arco vial con información de flujo y velocidades detalladas (metodología tipo bottom up) y el segundo caso hacer estimaciones gruesas para una zona de estudio (metodología tipo top down).

1. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS

La guía de estimación que se entrega describe los procedimientos de estimación de las emisiones atmosféricas, desarrolladas actualmente por el Ministerio de Salud (MINSAL) para el desarrollo del inventario de emisiones nacional.

Los procedimientos de estimación así como los factores de emisión utilizados pueden tener modificaciones en el futuro, por lo cual pueden ser actualizados periódicamente.

La metodología general empleada para la estimación de emisiones atmosféricas de cualquier tipo de actividades es la siguiente:

$$E = fe * Na * \left(1 - \frac{Ea}{100}\right) \qquad \textbf{Ecuación 1}$$

Donde:

E : Emisión
fe : Factor de emisión
Na : Nivel de actividad diaria, semanal y mensual de la fuente estimada.
Ea : Eficiencia de abatimiento

Las emisiones anuales de las fuentes consideradas en el D.S. 138/2005 MINSAL/2005, son estimadas de dos formas generales:

- Si la fuente está sometida a una obligación legal de realizar muestreos puntuales periódicos o continuos, ya sea como parte del cumplimiento de una norma de emisión, exigencia de una resolución de calificación ambiental o plan de descontaminación, se utilizan los resultados del muestreo (kg/hr de emisión) y los niveles de operación declarados (hrs. y días) para estimar las emisiones anuales.
- Si la fuente no está sometida a una obligación legal de realizar muestreos, para alguno de los contaminantes considerados en el D.S. MINSAL 138 y en su Circular, se utilizan factores de emisión basados en la literatura internacional (principalmente AP-42 de EPA), y los niveles de operación declarados, para estimar las emisiones anuales.

Estimación de emisiones mediante muestreos

La realización de muestreos de emisiones de contaminantes atmosféricos, es desarrollada en el país mediante laboratorios privados, autorizados para tal efecto de acuerdo al D.S. 2467/2003 del MINSAL.

Los laboratorios de medición son autorizados a desarrollar una o más de las metodologías de muestreo oficializadas por el MINSAL mediante las siguientes resoluciones:

- Resolución 1349/1997, que aprueba las normas técnicas sobre metodologías de medición y análisis de emisiones de fuentes estacionarias; métodos CH1, CH2, CH3, CH4, CH5, CH6, CHA y CH28.
- Resolución 535/1999, que aprueba las normas técnicas sobre metodologías de medición y análisis de emisiones de fuentes estacionarias; métodos CH7, CH10 y CH18.
- Resolución 559/1999, que aprueba las normas técnicas sobre metodologías de medición y análisis de emisiones de fuentes estacionarias; métodos CH6 y CH25A.
- Resolución 34/2006, que aprueba las normas técnicas sobre metodologías de medición y análisis de emisiones de fuentes estacionarias; método CH5G.

La Tabla 1 muestra un resumen de los métodos por parámetros medidos.

TABLA 1

Resumen de los métodos por parámetros medidos

Parámetro	Método	Sistema Utilizado
Monóxido de Carbono (CO)	CH-10	Analizador IR no dispersivo
Dióxido de Carbono (CO2)	CH-3A	Analizador IR no dispersivo
Oxígeno (O2)	CH-3A	Analizador presión magnética
Óxidos de Nitrógeno (NOX)	CH-7E	Luminiscencia química
Dióxido de Azufre (SO2)	CH-6C	Analizador IR no dispersivo
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	CH-25A	Fotometría de emisión de llama
Material particulado (MP)	CH-5	Muestreo isocinético
Dioxinas y Furanos (D/F)	EPA-23	Muestreo isocinético
Amoniaco (NH3)	EPA-CTM-027	Muestreo isocinético
Sustancias Inorgánicas (S, Be, Cd, Hg, Tl, As, Co, Ni, Se, Te, Cr, Cu, F, Pd, Pt, Rh, Pb, V, Zn, Mn, Sb y Sn)	EPA-29	Muestreo isocinético
Halógenos (Cl, HCl y HF)	EPA-26A	Muestreo isocinético

Para que un muestreo de emisiones sea considerado como oficial por las autoridades ambientales, su desarrollo debe cumplir con lo siguiente:

- El muestreo debe ser desarrollado por un laboratorio autorizado por la autoridad sanitaria correspondiente al domicilio del laboratorio.
- El muestreo debe ser avisado con 48 hrs. de anticipación a la autoridad sanitaria, con el fin de asegurar la posibilidad de su fiscalización.
- Debe ser realizado por el laboratorio autorizado, sólo con el personal calificado y autorizado para tal efecto por la autoridad sanitaria correspondiente.

La mayor parte de los laboratorios autorizados tienen residencia en la Región Metropolitana, por lo cual son fiscalizados y calificados periódicamente, por ello el listado de laboratorios autorizados puede variar en el tiempo. Los listados de los laboratorios autorizados deben ser consultados en la SEREMI de salud respectiva. Se anexa el listado de laboratorios autorizados en la Región Metropolitana vigente al año 2009.

La estimación de emisiones anual se realiza a partir del promedio de las tres corridas de muestreo considerando el resultado informado en kg/hr de emisión para el contaminante estimado, los niveles de actividad son los declarados en horas y días de operación de la fuente.

El desarrollo de muestreos de emisiones continuos no está normado en Chile, sin embargo, es exigido para grandes fuentes de emisión que ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Los resultados de estos muestreos pueden ser informados en el portal del D.S. 138/2005 MINSAL, mediante el formulario para estimaciones de emisiones.

Un muestreo de emisiones es más representativo de una fuente de emisión que una estimación

realizada mediante factor de emisión. Sólo cuando no se cuenta con un muestreo de emisiones se usan factores de emisión para estimar emisiones de una fuente.

Estimación de emisiones mediante factores de emisión

Para la estimación de emisiones por año se utilizan factores de emisión, que son obtenidos principalmente del AP-42 de la EPA, de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, del Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, del PNUMA, 2005 y del Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, del PNUMA, 2005.

Los factores de emisión son un promedio de los resultados de mediciones de emisiones realizadas en un gran número de fuentes con diferentes tecnologías de combustión, antigüedad, calidad de combustible y tamaños, lo que les permite ser representativos de una variedad amplia de fuentes que usan un mismo combustible genérico.

Los niveles de actividad corresponden a los informados por los titulares de las fuentes, al MINSAL a través del D.S. 138/2005 MINSAL. Dependiendo de los factores de estimación los niveles de actividad pueden ser el consumo de combustible en unidades de masa o energía, o la producción de un material en unidades de masa.

En el futuro los factores de emisiones pueden ser actualizados por MINSAL, que puede ampliar las cantidades de tipos de fuentes obligadas a declarar, por lo cual se generarán actualizaciones de los factores de emisión utilizados.

Para la Autoridad Sanitaria es deseable que los titulares de las fuentes puedan hacer sus propias estimaciones fundamentadas en balances de masas, métodos estadísticos o aproximaciones de ingeniería, los que deberá presentar y acordar con el MINSAL.

Estimación de emisiones en fuentes con equipos de control de emisiones

En la fórmula general de estimaciones se considera la variable "EA": eficiencia de abatimiento, que representa la reducción de emisiones que puede ser lograda mediante un equipo de reducción de emisiones.

Las tecnologías de abatimiento de emisiones atmosféricas usadas en el país dependen del tipo de contaminante, del tamaño de la fuente, del combustible empleado y de la normativa de emisiones que debe cumplir.

La eficiencia de los equipos es variable en el tiempo por diferentes factores tales como: mantenimiento de los equipos, condiciones de operación, tamaño de las partículas o concentración de gases emitidos. Antecedentes de eficiencia de los equipos de control se pueden encontrar en la Red de Transferencia de Tecnología, Centro de Información sobre Contaminación de Aire (CICA) para la frontera entre EE.UU.-México[1].

En los casos en que las fuentes cuentan con equipos de control tales como cámaras de sedimentación, ciclones simples o atrapadores de partículas, se considera que tienen una eficiencia de control de 50% para material particulado total.

Cuando las fuentes cuentan con un equipo de control conformado por un multiciclón, se considera que tienen una eficiencia de control de 75% para material particulado.

En fuentes que operan con filtros de mangas, se considera que tienen una eficiencia de control de 95% para material particulado y una eficiencia de control 50% para mercurio.

En fuentes que operan con precipitadores electroestáticos, se considera que tienen una eficiencia

[1] http://www.epa.gov/ttn/catc/cica/atech_s.html#333

de control de 98% para material particulado y una eficiencia de control de 10% para mercurio.

En la práctica los equipos de control de emisiones tienen eficiencias de abatimiento variables que dependen de las condiciones de combustión, de la calidad de los combustibles, de la periodicidad de las mantenciones, del tamaño de las partículas emitidas, entre otras variables técnicas de diseño, por lo cual los valores utilizados son sólo referenciales para fines de las estimaciones.

Si el factor de emisión considerado para la estimación de emisiones considera ya la operación de un equipo de control de emisiones, la variable "EA", se considera con valor 0.

Los capítulos siguientes indicarán los factores de emisiones que están siendo utilizados por MINSAL para la estimación de emisiones de los diferentes tipos de fuentes que están obligadas a declarar.

1.1. Asfaltos

Descripción del Proceso

El asfalto para pavimentos es una mezcla de asfalto de alta calidad con agregados minerales pétreos de diferentes tamaños, los agregados constituyen sobre el 92% en peso de la mezcla asfáltica, la proporción de sus constituyentes determinan la calidad del producto. En la actualidad se está usando también asfalto reciclado como parte de los constituyentes.

El asfalto de alta calidad se obtiene como un subproducto de la refinación del petróleo crudo, durante su destilación.

El asfalto para pavimentos puede ser fabricado en plantas tipo bach o en planta de producción continua. Las que pueden ser instaladas en forma fija o de acuerdo a los requerimientos de localización de las obras de infraestructura que se estén desarrollando.

Proceso de fabricación del asfalto para pavimentos

En las plantas tipo Bach, los agregados son almacenados en pilas de acopio, normalmente a la intemperie, con humedades de alrededor de 5% las que dependen de su zona de origen.

Posteriormente son cargados en buzones y transportados mediante correas a un secador rotatorio, el que puede funcionar con gas o petróleo como combustible; los secadores cuentan con paletas de volteo, que permiten aumentar la eficiencia de secado.

El material seco es transportado a un sistema de tamizado, que permite separar por tamaño el material, a lo menos en cuatro calibres, los que son posteriormente almacenados normalmente en sistemas cerrados para evitar su humidificación, y que permiten su pesaje y alimentación controlada a la mezcla final.

El asfalto de alta calidad es transportado desde la refinería de petróleo en camiones calefaccionados, y almacenado en estanques también calefaccionados para evitar su endurecimiento y facilitar su manipulación.

La mezcla final se realiza con las cantidades exactas de los diferentes tamaños de los agregados pétreos y el asfalto caliente, en un molino especial que permite realizar la mezcla en no más de un minuto, para posteriormente transportar la mezcla a un almacenamiento calefaccionado o a camiones para su transporte a su uso final.

En las plantas de producción continua de asfalto para pavimentos la mezcla de los constituyentes se realiza en un horno rotatorio, que permite no sólo el secado de los agregados pétreos, sino que también la mezcla con el asfalto caliente. Para posibilitar este proceso, los agregados deben ser clasificados, pesados y almacenados previamente.

En los hornos continuos se pueden encontrar tecnologías con un flujo paralelo o en contracorriente, diferenciándose por la forma de alimentación y mezclado de las materias primas.

Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados para las plantas de asfalto son los indicados en la Tabla 2, están basados en los propuestos por la fuente indicada y representan el promedio de una gran cantidad de mediciones de emisiones realizadas en las fuentes, con una gran variedad de tecnologías de producción.

TABLA 2
Factores de emisión para producción de asfalto

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton material procesado)	Fuente
Planta Bach con Filtro de mangas y petróleo diesel como combustible. (SCC 3-05-002-47)	MP	0,021	AP-42 de la EPA, Hot Mix Asphalt Plants, April 2004.
	MP10	0,013	
	MP2,5	0,004	
	SOX	0,006	
	NOX	0,06	
	VOC	0,004	
	CO	0,2	
	Plomo	4,45 E-7	
	Arsénico	2,3 E-7	
	Benceno	0,00014	
	Tolueno	0,0005	
	CO2	18,5	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
	Hg	2,05E-7	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	PCDD/PCDF µg de EQT/t de asfalto	0,007	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.

(Continúa en página siguiente)

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton material procesado)	Fuente
Planta continua con filtro de mangas y petróleo diesel como combustible. (SCC 3-05-002-63)	MP	0,0165	AP-42 de la EPA, Hot Mix Asphalt Plants, April 2004.
	MP10	0,0115	
	MP2,5	0,0034	
	SOX	0,0055	
	NOX	0,0275	
	VOC	0,016	
	CO	0,065	
	Hg	1,2E-7	
	Plomo	0,00027	
	Arsénico	0,65 E-6	
	Benceno	0,000195	
	Tolueno	0,000075	
	CO2	16,5	Directrices del IPCC, 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
	PCDD/PCDF	0,6E-10	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.

En el caso específico de la industria del asfalto, las principales emisiones se generan en los hornos de secado y mezclado de las materias primas o en el horno rotatorio. Los factores disponibles dan cuenta de estas fuentes principales.

También se generan emisiones fugitivas por tránsito de camiones con materias primas y productos; almacenamiento y transporte de áridos; carga y descarga de materiales, las que pueden ser estimadas con factores de emisión incluidos en la sección 11.19.2, "Crushed Stone Processing", 13.2.1, "Paved Roads", 13.2.2, "Unpaved Roads", 13.2.3, "Heavy Construction Operations", and 13.2.4, "Aggregate Handling and Storage Piles", del AP-42 de la EPA. Emisiones fugitivas de VOC se generan en el almacenamiento de solventes o combustibles en estanques las que pueden ser estimadas mediante el software específico "Tank", incluido en la sección 7.1 Organic Liquid Storage Tanks.

Ejemplo de aplicación del factor de estimación

Horno de producción de asfalto

Fuente: HORNO SECADOR ROTATORIO.
Marca: CIFALI.
Modelo: SUPER CIFALI.
Combustible: PETRÓLEO DIESEL.
Equipo control: Filtro de mangas.
Producción anual declarada D.S. 138/2005 MINSAL: 70.000 t/año.

Dado que los factores de emisión consideran que la fuente cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

E = (FE * 70.000 t/año)/1000, en t/año de emisión

Ecuación 2

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la Tabla 2, los resultados estimados son los siguientes:

TABLA 3
Emisiones estimadas horno industrial t/año

Contaminante estimado	MP	MP_{10}	$MP_{2,5}$	CO	NOX	VOC	SO_X	CO_2
Emisión t/año	1,155	0,805	0,238	4,55	1,925	1,12	0,385	1.155

TABLA 3A
Emisiones estimadas horno industrial t/año

Contaminante estimado	PCDD/PCDF	Hg	Plomo	Arsénico	Benceno	Tolueno
Emisión t/año	4,2E-9	8,4E-6	0,0189	0,000455	0,01365	0,00525

1.2. Calderas generadoras de vapor y/o agua caliente

Descripción del Proceso

El proceso de combustión se puede definir como la combinación química rápida del oxígeno con elementos del combustible, los principales elementos del combustible son el carbono, hidrógeno y azufre, siendo este último de menor importancia como fuente de calor.

Cuando el carbono e hidrógeno se queman completamente con oxígeno se transforman a CO_2 y H_2O según las siguientes reacciones:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + Calor$$

El objetivo de la combustión es liberar el máximo calor, minimizando pérdidas por una combustión incompleta y el aire en exceso. La oxidación completa de los elementos y compuestos del combustible requiere una temperatura suficientemente alta que permita la ignición de los constituyentes, mezcla o turbulencia y suficiente tiempo de residencia para completar la reacción.

Calderas Industriales

A continuación se presenta un resumen de los tipos de calderas de acuerdo a su diseño.

Tipos de Calderas Industriales

Las calderas industriales pueden clasificarse de acuerdo a su diseño en:

- Calderas Pirotubulares o Igneotubulares
- Calderas Acuotubulares

Calderas Pirotubulares o Igneotubulares

En este tipo de calderas la llama se forma en el hogar pasando los humos por el interior de los tubos de los pasos siguientes para ser conducidos a la chimenea; presentan una elevada pérdida de carga en los humos. En este tipo de calderas el hogar y los tubos están completamente rodeados de agua, ver Figura 1.

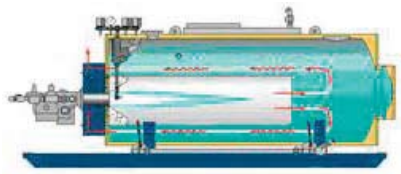

FIGURA 1

Calderas Acuotubulares

En este tipo de calderas la llama se forma en un recinto de paredes tubulares que configuran la cámara de combustión. Soporta mayores presiones en el agua, pero es más cara, tiene problemas de suciedad en el lado del agua, y menor inercia térmica, ver Figura 2.

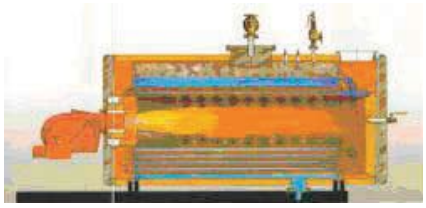

FIGURA 2

Tecnologías de Calderas

Las calderas según el combustible utilizado se pueden clasificar en:

- Calderas con combustibles sólidos
- Calderas con combustibles líquidos
- Calderas con combustible gaseoso

Calderas con Combustibles Sólidos

Hay numerosos tipos de generadores a vapor que operan con carbón o biomasa. Los sistemas de generación de vapor mediante la combustión con carbón están diseñados para usar carbón triturado, por lo que el combustible antes de entrar a los quemadores debe ser procesado. Las tecnologías utilizadas se pueden agrupar como se describe a continuación:

- Calderas con Parrilla Móvil
- Calderas con Quemadores de Combustible Sólido Pulverizado
- Calderas de Lecho Fluidizado

i) Calderas con Parrilla Móvil

En este tipo de calderas la alimentación de carbón o leña a la zona de combustión se efectúa mediante una parrilla móvil. Las parrillas móviles se pueden dividir a su vez en 3 grupos generales, dependiendo de la forma en que el combustible llega a la parrilla para ser quemado. Los tres tipos son:

- Alimentación inferior
- Alimentación superior
- Sistema tipo buzón repartidor (Spreader)

ii) Calderas con Combustible Sólido Pulverizado

Estas tecnologías tienen en común el uso del combustible sólido finamente pulverizado, que es inyectado a presión en el fogón, en forma similar a un quemador de petróleo. Estas calderas emplean quemadores del tipo que se indica a continuación:

a) Quemador Tangencial.
b) Fogón Horizontal o Wall-Fired
c) Sistemas de Arco

Adicionalmente existen las calderas con quemadores ciclónicos que se utilizan con carbones que tienen cenizas de bajo punto de fusión, por lo que son difíciles de utilizar en quemadores tradicionales de carbón pulverizado.

iii) Calderas de Lecho Fluidizado

En las calderas de lecho fluidizado se mezcla caliza molida al carbón pulverizado y se introducen a la cámara de combustión. Una corriente forzada de gases mantiene suspendida la mezcla dentro del fogón.

Este estado de flotación de los sólidos permite a las partículas moverse libremente como en un líquido. Se crea un ambiente turbulento donde se produce la combustión, permitiendo una gran captura de azufre a temperaturas más bajas que las calderas convencionales, lo que se traduce en menos formación de NO_X, por lo que las emisiones de estos compuestos se reducen. Un esquema de lecho se muestra en la Figura 3:

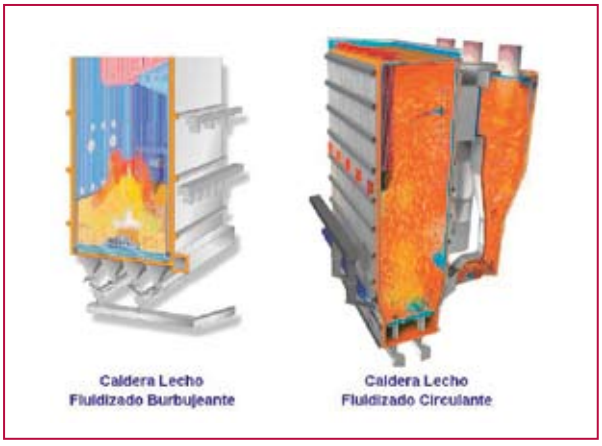

FIGURA 3

Calderas de Lecho Fluidizado

Fuente: Aker Kvaerner

iv) Calderas de Gasificación de Pellets

Estos tipos de calderas son una modernización de las calderas de parrillas fijas, cuentan con una alimentación automática del combustible y regulan automáticamente las condiciones de la combustión, lo que permite tener altas eficiencias y reducir la cantidad de cenizas sin quemar generadas.

Estos tipos de calderas tienen aplicaciones residenciales e industriales; como principio de combustión utilizan la gasificación previa de la biomasa, permitiendo regular la calidad de la combustión fácilmente, por lo cual se obtienen emisiones con bajas concentraciones de material particulado.

Son utilizadas ampliamente en aplicaciones de calentamiento de agua; no tienen aplicaciones en la producción de vapor debido a su retardo a la disponibilidad de energía. Un ejemplo de caldera puede verse en la Figura 4.

FIGURA 4

Calderas de Gasificación de Pellet

Fuente: tiendas inove.com

Calderas con Combustibles Líquidos

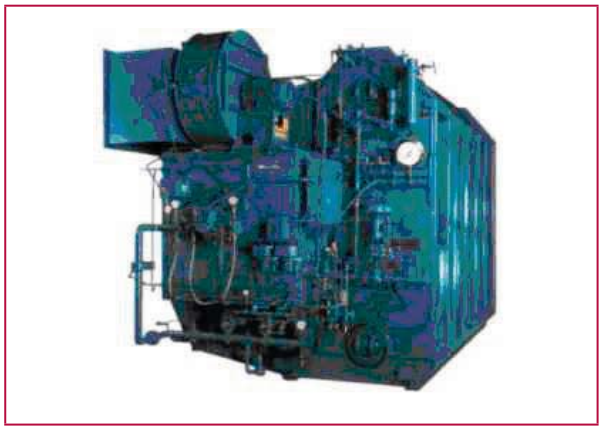

FIGURA 5

Fuente: Calderas Cleaver.

Estas calderas son acuotubulares al igual que en el caso anterior cambiando solamente el quemador, las dimensiones del fogón y el sistema de alimentación de combustibles. De preferencia utilizan petróleos pesados (fuel oil), por su menor costo, pudiendo utilizar también diesel. Ver Figura 5.

Los quemadores atomizan el combustible líquido inyectándolo a alta presión (hasta 300 psi) junto con el aire de combustión. El petróleo pesado debe ser previamente calentado para lograr una mejor atomización.

Los quemadores modernos permiten regular la atomización del petróleo, el aire primario y el secundario de modo de lograr una mezcla adecuada y una óptima combustión.

Calderas que Consumen Combustibles Gaseosos

Este tipo de calderas son prácticamente iguales a las que consumen petróleo, y en la práctica existen equipos con quemadores duales (gas, petróleo).

Los quemadores inyectan el gas a presión el que se dispersa fácilmente en el aire lo que genera condiciones apropiadas de combustión. Ver Figura 6.

FIGURA 6
Caldera a Gas con Quemador Presurizado

Fuente: quemadores cliber.

Quemadores

Los quemadores son los equipos donde se realiza la combustión, por tanto deben proveer de los tres vértices del triángulo de combustión, es decir, que deben lograr la mezcla íntima del combustible con el aire, y además proporcionar la energía de activación o chispa de encendido, (que es el tercer componente del triángulo). Los tipos de quemadores dependen del combustible que se usa, si es sólido, líquido o gaseoso.

Quemadores para Combustibles Sólidos

Para combustibles sólidos se pueden distinguir:

- Para combustibles sólidos pulverizados.
- De parrilla fija.
- De parrilla móvil.
- De lecho fluidizado.
- Con pregasificación.

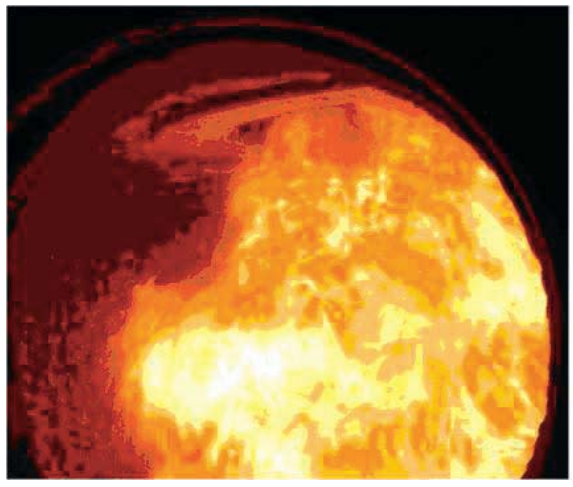

FIGURA 7

Quemadores para Combustibles Líquidos

Para combustibles líquidos:

- De alta presión de atomización.
- De baja presión de atomización.

La Figura 8 muestra un ejemplo de quemador de combustibles líquidos.

FIGURA 8

Fuente: quemadores saacke.

Quemadores para Combustibles Gaseosos

Para combustibles gaseosos:

- Con premezcla de gas.
- Con mezcla en boquilla.
- Atmosféricos.

La Figura 9 muestra un ejemplo de quemador de gas

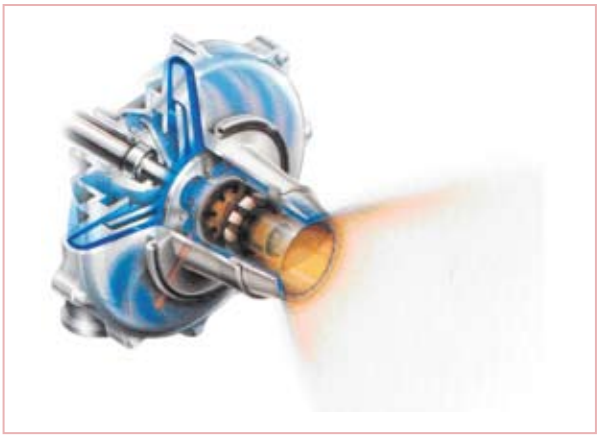

FIGURA 9

Fuente: quemadores saacke.

Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados corresponden a los indicados en el AP-42 de EPA, y representan un promedio de una gran cantidad de mediciones de emisiones realizadas en calderas que utilizan los combustibles indicados, con una gran variedad de tecnologías de combustión.

TABLA 4

Factores de emisión empleados por calderas a GLP

Combustible	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg GLP)	Fuente/Edición/Año de Publicación
Gas Licuado de Petróleo (GLP). (SCC 1-02-010-01)	MP	0,00017	AP-42 de la EPA, LPG Combustion, Industrial Boilers, Quinta Edición/1998.
	MP10	0,00017	
	MP2,5	0,00017	
	CO	0,00076	
	NOX	0,00441	
	VOC	0,00008	
	SOX	0,00031	
	NH3	6,6E-05	
	PCDD/PCDF	2,5E-13	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	5,05E-8	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	CO2	2,82	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 5

Factores de emisión empleados por calderas a Kerosene

Combustible	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg Kerosene)	Fuente/Edición/Año de Publicación
KEROSENE (SCC 1-02-005-01)	MP	0,00030	AP-42 de la EPA, Fuel Oil Combustion. Quinta Edición/1998.
	MP10	0,00015	
	MP2,5	0,00004	
	CO	0,00071	
	NOX	0,00283	
	VOC	0,00005	
	SOX	0,00420	
	NH3	1,4E-04	
	PCDD/PCDF	2,12E-14	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	5,05E-8	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	CO2	3,12	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 6

Factores de emisión empleados por calderas a carbón

Combustible	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg Carbón)	Fuente/Edición/Año de Publicación
CARBÓN (SCC 1-02-002-05)	MP	0,00800	AP-42 de la EPA, Bituminous And Subbituminous Coal Combustion, Quinta Edición/1998
	MP10	0,00296	
	MP2,5	0,00112	
	CO	0,00300	
	NOX	0,00375	
	VOC	0,00003	
	SOX	0,05510	
	NH3	8,6E-04	
	Arsénico	8,4E-6	
	Plomo	5,46E-8	
	Benceno	5,85E-7	
	Tolueno	1,08E-7	
	PCDD/PCDF	2,52E-13	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	2,75E-7	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	CO2	2,34	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 7

Factores de emisión empleados por calderas a gas natural

Combustible	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg GN)	Fuente/Edición/Año de Publicación
GAS NATURAL (SCC 1-02-006-01)	MP	0,00017	AP-42 de la EPA, Natural gas combustión. Quinta Edición/1998
	MP10	0,00017	
	MP2,5	0,00017	
	CO	0,00189	
	NOX	0,00226	
	VOC	0,00012	
	SOX	0,00028	
	NH3	3,9E-08	
	Arsénico	1,01E-6	
	Benceno	1,07E-5	
	Tolueno	1,73E-5	
	PCDD/PCDF	2,4E-14	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	3,03E-10	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005
	CO2	2,69	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 8

Factores de emisión empleados por calderas a petróleo 6

Combustible	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg PET6)	Fuente/Edición/Año de Publicación
PET 6 (SCC 1-02-004-01)	MP	0,00181	AP-42 de la EPA, Fuel Oil Combustion, Quinta Edición/1998.
	MP_{10}	0,00129	
	$MP_{2,5}$	0,00094	
	CO	0,00061	
	NO_X	0,00676	
	VOC	0,00003	
	SO_X	0,02364	
	NH_3	1,1E-04	
	Arsénico	1,62E-7	
	Plomo	1,86E-8	
	Benceno	2,63E-8	
	Tolueno	7,62E-7	
	PCDD/PCDF	1,0E-13	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	5,05E-8	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	CO_2	3,09	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 9

Factores de emisión empleados por calderas a petróleo 5

Combustible	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg PET5)	Fuente/Edición/Año de Publicación
PET 5 (SCC 1-02-004-04)	MP	0,00129	AP-42 de la EPA, Fuel Oil Combustion, Quinta Edición/1998
	MP_{10}	0,00092	
	$MP_{2,5}$	0,00067	
	CO	0,00063	
	NO_X	0,00691	
	VOC	0,00004	
	SO_X	0,01990	
	NH_3	1,2E-04	
	Arsénico	1,62E-7	
	Plomo	1,86E-8	
	Benceno	2,63E-8	
	Tolueno	7,62E-7	
	PCDD/PCDF	1,02E-13	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	5,05E-8	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	CO_2	3,13	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 10

Factores de emisión empleados por calderas a petróleo 2 (diesel)

Combustible	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg PET2)	Fuente/Edición/Año de Publicación
PET 2 (Diesel) (SCC 1-02-005-01)	MP	0,00029	AP-42 de la EPA, Fuel Oil Combustión, Quinta Edición/1998
	MP10	0,00014	
	MP2,5	0,00003	
	CO	0,00071	
	NOX	0,00283	
	VOC	0,00005	
	SOX	0,00420	
	NH3	1,4E-04	
	Arsénico	5,65E-12	
	Plomo	1,27E-12	
	PCDD/PCDF	2,12E-14	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	5,05E-8	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	CO2	3,12	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 11

Factores de emisión empleados por calderas a leña

Combustible	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg LEÑA)	Fuente/Edición/Año de Publicación
LEÑA (SCC 1-02-009-01)	MP	0,00320	AP-42 de la EPA, Wood Residue Combustion In Boilers, ENAP para SO2/Quinta Edición/1998
	MP10	0,00288	
	MP2,5	0,00243	
	CO	0,00680	
	NOX	0,00075	
	VOC	0,00011	
	SOX	0,00004	
	NH3	1,1E-03	
	Arsénico	9,8E-8	
	Plomo	2,14E-7	
	Benceno	1,87E-5	
	Tolueno	4,1E-6	
	PCDD/PCDF	5,2E-13	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	2,6E-9	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	CO2	1,03	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

En el caso de las calderas industriales y de calefacción, utilizadas para la generación de vapor o agua caliente en Chile, la mayor parte de las fuentes son importadas, en el caso de sus quemadores estos son importados en un ciento por ciento, por lo cual la representatividad de los factores de emisión utilizados es de amplia confiabilidad.

En el caso de la Región Metropolitana, se ha realizado una gran cantidad de mediciones de emisiones provenientes de calderas, confirmando sus resultados que los factores de emisión empleados permiten tener una estimación muy acertada respecto a las emisiones esperadas en este tipo de fuentes.

Corrección de factores por calidad de combustible

En el caso de la Región Metropolitana, los factores de emisión de SO_2 son corregidos de acuerdo a los contenidos de azufre de los combustibles empleados en la región de acuerdo a los límites establecidos en el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA).

TABLA 12

Porcentaje de Azufre de los combustibles empleados por fuentes fijas

Combustible	As PPDA 2004
Gas Licuado	0,008
Kerosene	0,050
Petróleo 6	1,000
Petróleo 5	1,000
Petróleo 2	0,005

Fuente: PPDA R.M.

TABLA 13

Factores de emisión para calderas que operan con combustibles de la RM

Combustible	Contam.	Factor de Emisión	Unidad	Fuente/Edición/Año de Publicación
Gas Licuado de Petróleo (GLP)	SO2	0,00025	(kg/kg GLP)	AP-42 de la EPA, LPG Combustion, Industrial Boilers/Quinta Edición/1998, corregido por PPDA para SO2.
KEROSENE	SO2	0,0010	(kg/kg kerosene)	AP-42 de la EPA, Fuel Oil Combustion/Quinta Edición/1998, corregido por PPDA para SO2.
DIESEL	SO2	0,00010	(kg/kg Diesel)	AP-42 de la EPA, Fuel Oil Combustion/Quinta Edición/1998, corregido por PPDA para SO2.
PET 5	SO2	0,0197	(kg/kg PET5)	AP-42 de la EPA, Fuel Oil Combustion/Quinta Edición/1998, corregido por PPDA para SO2.
PET 6	SO2	0,0197	(kg/kg PET6)	AP-42 de la EPA, Fuel Oil Combustion/Quinta Edición/1998, corregido por PPDA para SO2.

Ejemplos de aplicación

Caldera industrial a petróleo diesel

Fuente: Caldera industrial tipo igneotubular cilíndrica horizontal.

Marca: SERVIMET.

Modelo: MIX200VGI.

Combustible: petróleo diesel.

Equipo control: NO.

Consumo de combustible declarado D.S. 138/2005 MINSAL: 91.000 lts/año.

Densidad del diesel considerada: 0,84 kg/lt.

Consumos de combustible: 77.350 kg/año.

Dado que la fuente no cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

E = (FE * 91.000 lts/año * 0,84 kg/lts)/ 1000,
en t/año de emisión.

Ecuación 3

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la Tabla 10, por tratarse de un petróleo diesel utilizado en regiones, los resultados estimados son los siguientes:

Caldera industrial a carbón

Fuente: Caldera industrial tipo igneotubular cilíndrica horizontal.

Marca: KEWANEE.

Modelo: HORIZONTAL, IGNEO TUBULAR.

Combustible: CARBON BITUMINOSO.

Equipo control: DECANTADOR SECO.

Consumo de combustible declarado D.S. 138/2005 MINSAL: 3.682 t/año.

Dado que la fuente cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general para el cálculo de la emisión de material particulado es la siguiente:

TABLA 14

Emisiones estimadas caldera industrial t/año

Contaminante estimado	MP	MP_{10}	$MP_{2,5}$	CO	NO_X	VOC	SO_X	NH_3	CO_2
Emisión t/año	0,015	0,007	0,0015	0,055	0,219	0,0038	0,3248	0,011	241,33

TABLA 14A

Emisiones estimadas caldera industrial t/año

Contaminante estimado	PCDD/PCDF	Hg
Emisión t/año	16,39E-16	3,9E-10

E = (FE * 3.682)* (1- 50/100), en t/año de emisión, dado que la eficiencia de abatimiento de los decantadores secos se estima en un 50%.

Ecuación 4

Para el caso de los demás contaminantes no se considera la eficiencia de abatimiento para el cálculo de sus emisiones, los resultados estimados son los siguientes:

TABLA 15
Emisiones estimadas caldera industrial t/año

Contaminante estimado	MP	MP10	MP2,5	CO	NOX	VOC	SOX	NH3	CO2
Emisión t/año	5,701	3,829	1,657	11,046	13,808	0,110	202,87	3,16	8615,88

TABLA 15A
Emisiones estimadas caldera industrial t/año

Contaminante estimado	PCDD/PCDF	Hg
Emisión t/año	92,78E-15	10,12E-10

1.3. Producción de cemento, cal y yeso

Descripción del Proceso:

Cemento

El cemento es un material inorgánico, no metálico, finamente molido que cuando se mezcla con agua y áridos forma una pasta que fragua y endurece (morteros y hormigones). El cemento más ampliamente usado es el cemento Portland.

Durante el proceso de fabricación pueden diferenciarse tres etapas básicas:

- Obtención y preparación de materias primas (caliza), que es finamente molidas para obtener crudo.
- Cocción del crudo en un horno rotatorio hasta temperaturas de 1450 °C (2000 °C de temperatura de llama) para la obtención de un producto semielaborado llamado clínker.
- Molienda conjunta del clínker con otros componentes (ceniza, escoria, puzolana, yeso) para obtener el cemento.

La química básica del proceso de la fabricación del cemento empieza con la descomposición del carbonato cálcico ($CaCO_3$), a unos 900 °C dando óxido cálcico (CaO, cal) y liberando dióxido de carbono gaseoso (CO_2); este proceso se conoce como calcinación. Sigue luego el proceso de clinkerización en el que el óxido de calcio reacciona a alta temperatura (normalmente a 1400-1500 °C) con sílice, alúmina y óxido de hierro para formar los silicatos, aluminatos y ferritos de calcio que componen el clínker. El clínker se muele conjuntamente con yeso y otras adiciones para producir el cemento.

Cal

La cal es el producto de la descomposición de la caliza a alta temperatura.

Para ser clasificada como caliza, el mineral debe contener a lo menos un 50% de calcio carbonato. Cuando contiene entre un 30-45% de carbonato de magnesio, se le denomina caliza dolomítica.
La cal se produce por una de las siguientes reacciones:

$$CaCO_3 + calor \rightarrow CO_2 + CaO$$

(Cal con alto contenido de calcio).

$$CaCO_3MCO_3 + calor \rightarrow 2CO_2 + CaOMgO$$

(Cal dolomítica).

La cal viva (CaO) se puede reaccionar (apagar) con agua para obtener cal hidratada ($CaOH_2$).

Las etapas de proceso que se desarrollan en la elaboración de la cal son:

Obtención de CaO

- Cribado
- Calcinación
- Molienda
- Clasificación granulométrica de CaO
- Envasado y despacho.

Obtención de $CaOH_2$

- Hidratación
- Clasificación granulométrica de $CaOH_2$
- Envasado y despacho.

La etapa principal de la fabricación es la calcinación de la caliza que implica:

Calentar la caliza por encima de los 800 °C para favorecer la descarbonatación, y mantener la cal a elevada temperatura (generalmente en el rango de 1200 a 1300 °C) el tiempo necesario para ajustar su reactividad.

La calcinación se puede llevar a cabo en diferentes tipos de hornos dependiendo de las propiedades del mineral como son la resistencia antes y después de la calcinación, generación de polvo y la calidad de producto final deseada.

El calentamiento de la caliza en el horno se lleva a cabo en tres etapas:

Zona precalentamiento: calentamiento de la caliza hasta 800 °C por contacto directo con los gases de la zona de calcinación.

Zona de calcinación: donde se alcanzan temperaturas mayores a 900 °C y conlleva a la disociación de la caliza en cal y dióxido de carbono.

Zona de enfriamiento: enfriamiento de la cal por contacto directo con aire.

La cal calcinada se procesa con el fin de tener unas determinadas características de tamaño de partícula y calidad determinadas en función del mercado final. Para ello, la cal se puede someter a diversos procesos como el tamizado, molienda, pulverización, clasificación con aire y transporte. El producto obtenido se almacena para ser envasado y trasportado directamente o para transferirlo a la planta de hidratación.

Yeso

El yeso natural, o sulfato cálcico bihidrato $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, está compuesto por sulfato de calcio con dos moléculas de agua de hidratación.

Si el yeso natural es calentado hasta lograr el desprendimiento total de agua, fuertemente combinada, se obtienen durante el proceso diferentes yesos, los cuales tienen diferentes usos de acuerdo a sus características, se utilizan yesos para paneles, tabiques o cielos en techumbres, como componente del cemento, aplicaciones artísticas o aplicaciones dentales.

El proceso del yeso sigue las siguientes etapas:

– Extracción
– El sulfato de calcio dihidratado se extrae de las minas.
– Selección de la materia prima.

Se hace una minuciosa selección de la piedra de yeso natural, posteriormente se almacena para su uso en el proceso de calcinación dependiendo del tipo de yeso a fabricar. El origen del mineral de yeso puede variar sus propiedades, como puede verse en la Figura 10, donde a simple vista pueden verse diferencias de color y textura.

FIGURA 10

Calcinación

Una vez seleccionado el yeso crudo, se somete a una deshidratación parcial con una técnica de calcinación a altas presiones con un riguroso control de tiempo y temperatura, obteniendo cristales de mínima porosidad y forma regular, que permitirán producir modelos de gran dureza y resistencia. La estructura y propiedades del producto final dependen directamente de las condiciones de calcinación empleadas.

Trituración

La primera trituración reduce el tamaño de las piedras para facilitar su manejo a una dimensión inferior a 15 cm, la segunda trituración por medio de molinos permite reducir el tamaño de las piedras de 4 a 5 cm, como puede verse en la Figura 11.

FIGURA 11

Molienda y Cribado

La operación posterior a la trituración es la molienda, el yeso calcinado es llevado a tolvas que dosifican la cantidad de material proporcionado a los molinos. La proporción y distribución de los tamaños de partícula es un factor determinante con respecto a las propiedades del producto.

Factores de emisión

Cemento

Los principales contaminantes emitidos a la atmósfera durante la producción de cemento son:

- Partículas (polvo), proveniente de las operaciones de almacenamiento, transporte y manipulación de los materiales pulverulentos presentes en la fábrica (fuentes dispersas o difusas), y de los filtros de captación de polvo (fuentes localizadas o puntuales).
- CO2 de los gases de combustión y decarbonatación de las materias primas.
- Gases de combustión; óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre.

Además de estos, y en función de la materia prima, combustible empleado en el horno y condiciones de operación, se pueden emitir compuestos como metales, compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono, compuestos de cloro y flúor.

El principal foco de emisión a la atmósfera es la chimenea del horno de clínker. Estas emisiones están asociadas a las reacciones físicas y químicas de las materias primas procesadas y de los combustibles

empleados para la cocción, siendo diversas las variables que afectan al régimen de emisión. Dentro de estas variables destacan, entre otras, las propiedades de la materia prima (humedad, contenido de compuestos orgánicos y azufre, dificultad de cocción, resistividad, etc.) y la topología de sistema de horno utilizado (húmedo, semihúmedo o seco).

Los factores de emisión utilizados corresponden a los indicados en el AP-42 de EPA, y representan un promedio de una gran cantidad de mediciones de emisiones realizadas en hornos que utilizan los combustibles indicados, con una gran variedad de tecnologías de combustión.

TABLA 16

Factores de emisión empleados en horno de cemento

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton Clínker Producido)	Fuente
Horno rotatorio seco con filtro de mangas (SCC 3-05-006-06)	MP	0,23	AP-42 de la EPA, Portland Cement Manufacturing, January 1995.
	MP10	0,193	
	MP2,5	0,103	
	SOX	0,54	
	NOX	2,1	
	CO	1,8	
	TOC	0,059	
	Plomo	10,8E-5	
	Arsénico	6E-6	
	Benceno	0,008	
	Tolueno	0,0001	
	CO2	900	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
	Hg	1,2E-5	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005
	PCDD/PCDF	0,6E-12	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.

TABLA 17

Factores de emisión empleados en horno de cemento

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton Clínker Producido)	Categoría
Horno rotatorio seco con precipitador electroestático (SCC 3-05-006-22)	MP	0,5	AP-42 de la EPA, Portland Cement Manufacturing, January 1995.
	MP10	0,425	
	MP2,5	0,32	
	SOX	0,54	
	NOx	2,1	
	CO	1,8	
	TOC	0,059	
	Plomo	10,8E-5	
	Arsénico	6E-6	
	Benceno	0,008	
	Tolueno	0,0001	
	CO2	900	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
	Hg	1,2E-5	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005
	PCDD/PCDF	0,6E-12	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
Enfriadera con filtro de mangas (SCC 3-05-006-14)	MP	0,048	AP-42 de la EPA, Portland Cement Manufacturing, January 1995.
Enfriadera con precipitador electrostático (SCC 3-05-006-14)	MP	0,068	

TABLA 18

Factores de emisión empleados en industria del cemento

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton Material Procesado)	Categoría
Molienda de materia prima con filtro de mangas (SCC 3-05-006-13)	MP	0,0062	AP-42 de la EPA, Portland Cement Manufacturing, January 1995.
Transporte de materia prima en cinta trasportadora con filtro de mangas (SCC 3-05-006-12)	MP	0,0016	
Tamizado de materia prima con filtro de mangas (SCC 3-05-006-11)	MP	0,00011	
Molienda de cemento con filtro de mangas (SCC 3-05-006-17)	MP	0,0042	

Factores de emisión

Cal

TABLA 19

Factores de emisión empleados en industria de la cal

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton Cal Producida)	Fuente
Horno rotatorio con carbón y multiciclón (SCC 3-05-016-18)	MP	60	AP-42 de la EPA, Lime Manufacturing, February 1998.
	MP_{10}	9,6	
	$MP_{2,5}$	3,66	
Horno rotatorio con carbón y precipitador electroestático (SCC 3-05-016-18)	MP	4,3	
	MP_{10}	2,15	
	$MP_{2,5}$	0,06	
Horno rotatorio con carbón y filtro de mangas (SCC 3-05-016-18)	MP	0,14	
	MP_{10}	0,077	
	$MP_{2,5}$	0,0038	

TABLA 19A

Factores de emisión empleados en industria de la cal

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton Cal Producida)	Fuente
Horno rotatorio con carbón (SCC 3-05-016-18)	SOX	2,7	
	NOx	1,6	
	CO	0,74	
	PCDD/PCDF	0,07E-9	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	7,4E-6	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005
	CO2	1600	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 20

Factores de emisión empleados en industria de la cal

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton Material Procesado)	Fuente
Molienda de materia prima con filtro de mangas (SCC 3-05-016-01)	MP	0,00021	AP-42 de la EPA, Lime Manufacturing, February 1998
Transporte de materia prima en cinta trasportadora (SCC 3-05-016-24)	MP	1,1	
Tamizado de materia prima con filtro de mangas (SCC 3-05-016-25)	MP	0,0030	
Carga de producto sin control (SCC 3-05-016-27)	MP	0,75	

Factores de emisión

Yeso

TABLA 21

Factores de emisión empleados en industria del yeso

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton Yeso Producido)	Fuente
Molinos de rodillos con ciclones (SCC 30501502)	MP	1,3	AP-42 de la EPA, EMISSION FACTORS FOR GYPSUM PROCESSING.
Molinos de rodillos con filtros de mangas (SCC 30501502)	MP	0,06	
Molinos de impacto con filtros de mangas (SCC 30501513)	MP	0,01	
Calcinador kettle con filtros de mangas (SCC 3-05-015-11)	MP	0,003	

Ejemplos de aplicación

Horno de clínker a carbón

Fuente: HORNO ROTATORIO CON TORRE DE PRECALCINACIÓN.

Marca: F.L SCHIDTH.

Modelo: FOLAX.

Combustible: CARBON.

Equipo control: PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.

Producción anual declarada D.S. 138/2005 MINSAL: 793.360 t/año.

Dado que la fuente cuenta con precipitador electroestático como equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

E = (FE * 793.360 t/año)/ 1000, en t/año de emisión.

Ecuación 5

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la Tabla 16, los resultados estimados son los siguientes:

TABLA 22

Emisiones estimadas horno t/año

Contaminante estimado	MP	MP_{10}	$MP_{2,5}$	CO	NO_X	VOC	SO_X	Hg
Emisión t/año	396,68	337,18	253,8	1428,05	1666,06	46,8	428,4	9,52E-3

Horno de cal con carbón

Fuente: HORNO ROTATORIO DE CALCINACIÓN.

Marca: KENNEDY VAN SAUN CORP.

Modelo: HORNO ROTATORIO HORIZONTAL.

Combustible: CARBON.

Equipo control: MULTICICLON.

Producción anual declarada D.S. 138/2005 MINSAL: 135.153 t/año.

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la Tabla 20, los resultados estimados son los siguientes:

Dado que la fuente cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general para el cálculo de la emisión de material particulado es la siguiente:

$$E = (FE * 135.153)/1000) \text{ en t/año de emisión.}$$

Ecuación 6

Para el caso de los demás contaminantes no se considera la eficiencia de abatimiento para el cálculo de sus emisiones, los resultados estimados son los siguientes:

TABLA 23

Emisiones estimadas horno t/año

Contaminante estimado	MP	MP_{10}	$MP_{2,5}$	CO	NO_X	SO_X	CO_2
Emisión t/año	8109,2	1297,5	494,6	100,01	216,2	364,9	216244,8

1.4. Centrales termoeléctricas

Descripción del Proceso:

El proceso de combustión se puede definir como la combinación química rápida del oxígeno con elementos del combustible, los principales elementos del combustible son el carbono, hidrógeno y azufre, siendo este último de menor importancia como fuente de calor.

Cuando el carbono e hidrógeno se queman completamente con oxígeno se transforman a CO_2 y H_2O según las siguientes reacciones:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + Calor$$

El objetivo de la combustión es liberar el calor máximo, minimizando pérdidas por una combustión incompleta y el aire en exceso. La oxidación completa de los elementos y compuestos del combustible requiere una temperatura suficientemente alta que permita la ignición de los constituyentes, mezcla o turbulencia y suficiente tiempo de residencia para completar la reacción.

Centrales de generación mediante turbinas a vapor

El proceso tiene cinco componentes principales:

- Subsistema de calentamiento (preparación del combustible y quemador).
- Subsistema de vapor (caldera y sistema que entrega vapor).
- Turbina a vapor que mueve el generador.
- Condensador (para condensar el vapor utilizado).
- Generador de electricidad.

Los combustibles empleados pueden ser carbón, gas natural, petróleo, o biomasa. El combustible es quemado en el fogón de la caldera acuatubular[2]. Los gases de combustión a alta temperatura evaporan el agua que circula por los tubos que forman las paredes. El sistema incluye elementos adicionales, tales como el supercalentador, recalentador, economizadores o precalentadores de aire, los cuales mejoran la eficiencia de la caldera.

La caldera genera vapor de alta temperatura y alta presión que ingresa a la turbina de vapor. Al otro extremo de la turbina de vapor se encuentra el condensador, que es mantenido a una baja temperatura y presión. El vapor que pasa de la caldera de alta presión al condensador de baja presión acciona los alabes de la turbina haciéndola girar. A su vez el eje de ésta mueve el generador eléctrico.

El vapor que sale de la turbina entra al condensador y es condensado en los tubos de éste. Estos tubos se mantienen a una baja temperatura mediante un flujo de agua fría. El condensador es necesario para lograr una operación eficiente al generar un gran diferencial de presión del vapor, bajando la presión de salida. A medida que el vapor es enfriado, el condensado es transportado de vuelta a la caldera para su nuevo uso, aprovechándose la temperatura del agua condensada.

La eficiencia térmica de la unidad depende del diferencial de presión y temperatura entre la caldera y la menor temperatura y presión del condensador. El sistema de turbinas a vapor moderno aplicado en Plantas Termoeléctricas de gran tamaño tiene una eficiencia térmica de aproximadamente 40%, lo que significa que el 40% del calor de la combustión es transformado en electricidad. El restante 60% del calor o sale por la chimenea (alrededor 10%) o es perdida cuando se enfría el agua en el condensador (aproximadamente 50%).

[2] Caldera acuatubular es aquella en que el agua circula por los tubos y los gases por fuera. Estas son calderas que trabajan a mayor presión y son de mayor tamaño.

Calderas que Consumen Combustibles Sólidos

Hay numerosos tipos de generadores a vapor que operan con carbón o biomasa. Los sistemas de generación de vapor mediante la combustión con carbón están diseñados para usar carbón pulverizado, por lo que el combustible antes de entrar a los quemadores debe ser procesado. La clasificación de estos generadores se basa en la forma de alimentación del combustible a los quemadores y del modo de quemar el carbón o biomasa.

Las tecnologías se pueden agrupar en los siguientes tipos que se describen a continuación:

- Calderas con Parrilla Móvil
- Calderas con Quemadores de Carbón Pulverizado
- Calderas de Lecho Fluidizado

Parrilla Móvil

En este tipo de calderas la alimentación de carbón o leña a la zona de combustión se efectúa mediante una parrilla móvil. Este sistema de combustión se utiliza sólo en las centrales eléctricas a carbón muy antiguas, actualmente se utiliza en centrales que queman biomasa (leña) y en pequeñas instalaciones industriales de producción de vapor.

Quemadores de Carbón Pulverizado

Estas tecnologías tienen en común el uso de carbón finamente pulverizado, que es inyectado a presión en el fogón, en forma similar a un quemador de petróleo. Los principales tipos son los siguientes:

a) Quemador Tangencial.

En este tipo de quemadores, tanto el aire como el combustible son proyectados desde esquinas del horno a través de líneas tangentes a un cilindro vertical en el centro. Se forma un vórtice en el centro del fogón, permitiendo un alto grado de mezcla aire-combustible, un mayor tiempo de residencia y una combustión a menor temperatura. Este sistema provee una gran flexibilidad para quemar diferentes combustibles.

b) Fogón Horizontal o Wall-Fired

En este sistema el carbón pulverizado y el aire primario se introducen tangencialmente en la boquilla del quemador. El grado de turbulencia de aire y la forma de la garganta del quemador producen una recirculación de productos calientes de la combustión que son dirigidos hacia la boquilla para crear la energía de ignición necesaria para una combustión estable. Los quemadores están ubicados en filas en la muralla frontal o bien tanto en la muralla frontal como en la de atrás.

Sistemas de Arco

Los sistemas de combustión vertical se usan para quemar combustibles sólidos que son difíciles de quemar, tales como carbón húmedo. En este sistema, el carbón pulverizado es descargado mediante una boquilla siendo rodeado por el aire caliente de combustión. Los jets de alta presión son usados para prevenir que se interrumpa el flujo de aire-combustible. El sistema de quemado produce una llama circular de modo que los gases calientes se descargan al centro del fogón.

Quemador Ciclónico

Las calderas con quemadores ciclónicos se utilizan con carbones que tienen cenizas de bajo punto de fusión, por lo que son difíciles de utilizar en quemadores de carbón pulverizado. Entre el 80% y el 90% de la ceniza se funde y cae, lo que disminuye el material particulado que sale por los humos.

La combustión se realiza a alta temperatura por lo que genera altas emisiones de NOx por lo que esta tecnología es poco usada actualmente.

La cámara de combustión ciclónica se monta en el exterior de la caldera, junto con un mecanismo para remover las cenizas. El aire de combustión primario arrastra las partículas de carbón. El ciclón genera una fuerte turbulencia que mejora la combustión y separa las partículas pequeñas y las volátiles que se queman rápidamente, de las grandes que requieren más tiempo de quemado y de las cenizas.

El carbón es el combustible primario, pero se utiliza petróleo o gas como auxiliares en el encendido y también se pueden usar como combustibles principales.

Lecho Fluidizado

En los quemadores de lecho fluidizado se mezcla caliza molida al carbón pulverizado y se introducen a la cámara de combustión. Una corriente forzada de gases mantiene suspendida la mezcla dentro del fogón. Este estado de flotación de los sólidos permite a las partículas moverse libremente como en un líquido. Se crea un ambiente turbulento donde se produce la combustión, permitiendo una gran captura de azufre a temperaturas más bajas que las calderas convencionales, lo que se traduce en menos formación de NOx, por lo que las emisiones de estos compuestos se reducen. El azufre liberado del carbón se combina con la caliza para formar un compuesto sólido que es relativamente fácil de manejar y desechar. Las partículas producidas por el lecho, que luego saldrán de él, pueden ser removidas corriente abajo por un precipitador electrostático o por un filtro de mangas. Las cenizas de material más pesado que permanecen al interior del lecho, precipitan y son llevadas fuera por un tornillo transportador.

Los quemadores de lecho fluidizado se dividen en dos categorías: lecho fluidizado circulante y lecho fluidizado burbujeante. El lecho circulante es más apropiado para carbones de mejor calidad con alto contenido de carbono y bajo contenido de volátiles (antracita, coke y bituminoso). El tipo de lecho burbujeante se utiliza para biomasa y carbones con alto contenido de volátiles.

Los lechos fluidizados pueden operar a presión atmosférica o en una cámara presurizada. En la cámara presurizada, las presiones pueden ser 10 a 20 veces la presión atmosférica. Los quemadores de lecho fluidizado presurizado logran un aumento importante en eficiencia térmica respecto de los de lecho fluidizado atmosférico.

La combustión de lecho fluidizado permite el uso de carbones con alto contenido de azufre, combustibles muy sucios y combustibles de bajo poder calorífico incluso biomasa. Los carbones con mucha ceniza, quemados en lechos fluidizados, requieren menos preparación y mantención en comparación a los quemadores de carbón pulverizado.

Estas calderas son usualmente acuatubulares, usando un quemador para combustibles líquidos. Pueden utilizar petróleos pesados (fuel oil), o también diesel.

Los quemadores atomizan el combustible líquido inyectándolo a alta presión (hasta 300 psi) junto con el aire de combustión. El petróleo pesado debe ser previamente calentado para lograr una mejor atomización. Los quemadores modernos permiten regular la atomización del petróleo, el aire primario y el secundario de modo de lograr una mezcla adecuada y una óptima combustión.

Calderas que Consumen Combustibles Gaseosos

Este tipo de calderas son prácticamente iguales a las que consumen petróleo, y en la práctica existen equipos con quemadores duales (gas, petróleo). Los quemadores inyectan el gas a presión el que se dispersa fácilmente en el aire lo que genera condiciones apropiadas de combustión.

Centrales de generación mediante turbinas a gas en ciclo abierto

Los sistemas de turbina a gas operan en forma similar a los sistemas de turbina a vapor, salvo que los gases de la combustión son usados directamente para mover los alabes de la turbina en vez del vapor. Además del generador eléctrico, la turbina mueve un compresor rotatorio que sirve para presurizar el aire, el cual después es mezclado con el combustible en la cámara de combustión. Mientras mayor es la compresión, más alta es la temperatura y la eficiencia que se puede lograr en una turbina a gas. Los gases desechados son emitidos a la atmósfera desde la turbina. Las turbinas de gas utilizan gas natural o diesel, pero también existen algunas que operan con petróleo combustible (IFO 180)

El sistema de turbina a gas no requiere de caldera que suministre vapor ni condensadores ni un sistema de enfriamiento que es parte de un sistema de turbina a vapor. Por este motivo los costos de capital son mucho menores en una turbina a gas que en una a vapor. Se comercializan turbinas de gas entre 1 MW y varios cientos de MW.

La mayoría de las turbinas a gas instaladas tienen sólo un 20 a 30% de eficiencia, por lo que son utilizadas típicamente para atender demandas Peak donde se requiere un encendido rápido y funcionamiento por períodos cortos.

Centrales de generación en ciclo combinado

Es una configuración que usa tanto turbinas a gas como turbina a vapor. En un ciclo combinado los gases calientes emitidos por una turbina a gas son usados para entregar todo o una parte de la fuente de calor para la caldera, que produce vapor para la turbina a vapor. Puede combinarse una o varias turbinas de gas con una de vapor.

Este tipo de centrales tiene mayor eficiencia térmica (50-55%) que los generadores de vapor y que las turbinas de gas. Usualmente utilizan gas natural como combustible.

En algunos casos la caldera de vapor del sistema cuenta con quemadores adicionales que aumentan la temperatura de los gases de escape de la turbina de gas, incrementando la producción de vapor.

La generación de ciclo combinado se denomina también como de ciclo cerrado. En caso contrario se denominan como ciclo abierto.

Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados corresponden a los indicados en el AP-42 de EPA, y representan un promedio de una gran cantidad de mediciones de emisiones realizadas en generadores que utilizan los combustibles indicados, con una gran variedad de tecnologías de combustión.

TABLA 24

Factores de emisión empleados por calderas de vapor para generación eléctrica

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/m^3 GN)	Fuente
GAS NATURAL (10100601)	MP	0,00012	AP-42 de la EPA, Natural gas combustion. Uncontrolled, July 1998.
	MP_{10}	0,00012	
	$MP_{2,5}$	0,00012	
	CO	0,001344	
	NO_X	0,00448	
	VOC	0,000088	
	SO_X	0,0000096	
	NH_3	2,7E-08	
	PCDD/PCDF	2,3E-10	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	CO_2	1,92	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
	Hg	1,4E-14	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.

TABLA 25

Factores de emisión empleados por calderas de vapor para generación eléctrica

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg PET6)	Fuente
PET 6 (SCC 10100401)	MP	0,000228	AP-42 de la EPA, Fuel Oil Combustion, September 1998.
	MP_{10}	0,00214	
	$MP_{2,5}$	0,00156	
	CO	0,00008	
	NO_X	0,000752	
	VOC	0,000017	
	SO_X	0,00301	
	NH_3	1,1E-04	
	PCDD/PCDF	1,09E-14	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	5,5E-8	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	CO_2	3,37	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 26

Factores de emisión empleados por calderas de vapor para generación eléctrica

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg Pet5)	Fuente
PET 5 (SCC 1010405)	MP	0,000198	AP-42 de la EPA, Fuel Oil Combustion, September 1998.
	MP_{10}	0,000140	
	$MP_{2,5}$	0,000098	
	CO	0,00008	
	NO_X	0,000752	
	VOC	0,000017	
	SO_X	0,00301	
	NH_3	1,1E-04	
	PCDD/PCDF	1,09E-14	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	5,5E-8	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005
	CO_2	3,37	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 27

Factores de emisión empleados por calderas de vapor para generación eléctrica

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg Pet2)	Fuente
PET 2 (10100501)	MP	0,000032	AP-42 de la EPA, Fuel Oil Combustion, September 1998.
	MP_{10}	0,000016	
	$MP_{2,5}$	0,0000038	
	CO	0,00008	
	NO_X	0,000384	
	VOC	0,000004	
	SO_X	0,000477	
	NH_3	1,4E-04	
	PCDD/PCDF	2,28E-14	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	5,1E-8	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005
	CO_2	3,06	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 28

Factores de emisión empleados por calderas de vapor para generación eléctrica

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg Carbón)	Fuente
CARBON (SCC 10100212)	MP	0,04	AP-42 de la EPA, Bituminous And Sub-bituminous Coal Combustion, PC, dry bottom, tangentially fired, sub-bituminous, Pre- NSPSg, September 1998.
	MP_{10}	0,0092	
	$MP_{2,5}$	0,0068	
	CO	0,00025	
	NO_X	0,011	
	VOC	0,00003	
	SO_X	0,05510	
	NH_3	8,6E-04	
	PCDD/PCDF	2,92E-13	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	2,75E-7	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	CO_2	2,72	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 29

Factores de emisión empleados por calderas de vapor para generación eléctrica

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg Leña)	Fuente
LEÑA (SCC 10100901)	MP	0,000338	AP-42 de la EPA, Wood Residue Combustion In Boilers, Electrostatic Precipitator, September 2003.
	MP_{10}	0,000250	
	$MP_{2,5}$	0,000219	
	CO	0,00375	
	NO_X	0,00138	
	VOC	0,000106	
	SO_X	0,000156	
	NH_3	1,1E-03	
	PCDD/PCDF	7,3E-13	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	2,6E-9	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	CO_2	1,45	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 30

Factores de emisión empleados por turbinas a gas para generación eléctrica

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/m^3 GN)	Fuente
GAS NATURAL (SCC 20100201)	MP	0,00011	AP-42 de la EPA, Stationary Gas Turbines. April 2000.
	MP_{10}	0,00011	
	$MP_{2,5}$	0,00011	
	CO	0,00137	
	NO_X	0,00534	
	VOC	0,0000351	
	SO_X	0,000217	
	NH_3	2,7E-08	
	PCDD/PCDF	2,3E-10	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	1,4E-14	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	CO_2	1,84	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 31

Factores de emisión empleados por turbinas diesel para generación eléctrica

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg PET2)	Fuente
PET 2 (SCC 20100101)	MP	0,00023	AP-42 de la EPA, Stationary Gas Turbines, April 2000.
	MP_{10}	0,00017	
	$MP_{2,5}$	0,000028	
	CO	0,000064	
	NO_X	0,0171	
	VOC	0,000008	
	SO_X	0,00413	
	NH_3	1,4E-04	
	PCDD/PCDF	2,28E-14	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	5,1E-8	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	CO_2	3,06	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

En el caso de las calderas y turbinas de generación eléctrica, la mayor parte ha ingresado al sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA), por lo cual dependiendo de las condiciones locales, se ha incorporado exigencia de monitoreo de emisiones continuas, para MP, NOx, CO y SOx según cada caso. El monitoreo continuo implica en la actualidad una verificación mediante muestreo puntual una vez al año, mediante laboratorios autorizados.

La estimación de emisiones en las centrales de generación eléctrica es realizada a partir de los resultados de emisiones medidas por laboratorios en kg/hr y amplificadas anualmente mediante los días y horas de operación declarados a partir del D.S. 138/2005 MINSAL por cada fuente. De no contarse con muestreos se usan factores de emisión.

Corrección de factores por calidad de combustible

En el caso de la Región Metropolitana, los factores de emisión de SO_2 son corregidos de acuerdo a los contenidos de azufre de los combustibles empleados en la Región de acuerdo a los límites establecidos en el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA).

TABLA 32

Porcentaje de azufre de los combustibles empleados por fuentes fijas

Combustible	S PPDA 2004
Gas Licuado	0,008
Kerosene	0,050
Petróleo 6	1,000
Petróleo 5	1,000
Petróleo 2	0,005

Fuente: PPDA R.M.

TABLA 33

Factores de emisión para calderas de generación eléctrica que operan con combustibles de la RM

Combustible	Contam.	Factor de Emisión	Unidad	Fuente/Edición/Año de Publicación
Diesel	SO_2	0,00010	(kg/kg comb.)	AP-42 de la EPA, LPG Combustion, Industrial Boilers/Quinta Edición/1998, corregido por PPDA para SO_2.

Ejemplo de aplicación

Caldera industrial de generación

Fuente: CALDERA DE GENERACION ELECTRICA.

Marca: FRANCO TOSI.

Modelo: ACUOTUBULAR.

Combustible: Carbón.

Equipo control: Filtro de mangas.

Consumo de combustible declarado D.S. 138/2005 MINSAL: 258.178 t/año.

Dado que la fuente cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

E = (FE * 248.178 t/año * (1-% eficiencia Filtro de mangas), en t/año de emisión.

Ecuación 7

La eficiencia de un filtro de mangas es de 95% para material particulado, 50% para mercurio y 0% de eficiencia para los gases estimados.

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la Tabla 24, los resultados estimados son los siguientes:

TABLA 34

Emisiones estimadas generador industrial t/año

Contaminante estimado	MP	MP_{10}	$MP_{2,5}$	CO	NO_X	VOC	SO_X	NH_3	CO_2
Emisión t/año	38,5	8,8	2,3	62,0	2.730,0	7,4	13.674,6	213,4	675.044

TABLA 34A

Emisiones estimadas generador industrial t/año

Contaminante estimado	PCDD/PCDF	Hg
Emisión t/año	7,2E-8	3,4E-2

1.5. Producción de cerámica

Descripción del Proceso

Las cerámicas son consideradas como un producto inorgánico, no metálico que es producido mediante un proceso térmico de alta temperatura, esta compuesta generalmente por óxidos, carburos, nitratos, silicatos, fosfatos y boratos.

La cerámica tradicional es producida a partir de arcilla no refinada y una mezcla de productos minerales pulverizados, con contenidos superiores a un 20% de arcilla, entre los que destacan los feldespatos y el cuarzo.

Las aplicaciones de la cerámica son de gran variedad y dependen de las características de las materias primas utilizadas en su producción, se encuentran aplicaciones sanitarias, vajillas domiciliarias, implementos médicos para laboratorios clínicos o artesanías.

Proceso de fabricación de las cerámicas

Las etapas de la fabricación de las cerámicas parten con la obtención de la materia prima a partir de yacimientos de arcilla, cuarzo, silicatos y arenas, los que son explotados mediante extracción minera, para su posterior transporte y almacenamiento en la planta de producción.

Las materias primas son pulverizadas, purificadas, clasificadas, secadas, almacenadas y mezcladas, ya sea en su lugar de origen o en la planta. Usualmente se utilizan molinos de bolas para lograr granulometrías cercanas a un micrómetro.

Dependiendo de las características de la materia prima se puede requerir de una purificación de ellas mediante lavado; impurezas solubles pueden ser eliminadas con agua, solventes orgánicos son usados para retirar sustancias insolubles o lixiviación ácida para eliminar contaminantes metálicos. La separación magnética es usada para extraer impurezas magnéticas de polvos secos o de mezclas húmedas. La flotación de espuma también es usada para separar materiales indeseables.

Para la separación por tamaños se pueden usar diferentes tecnologías tales como tamizadores vibratorios, separadores por aire forzado, tamizadores acústicos o separadores húmedos. La adecuada clasificación por tamaño permite manejar la calidad de la cerámica producida.

La calcinación previa de las materias primas permite la eliminación de la humedad y de gases indeseables, se realiza calentándola a temperaturas bajo el punto de fusión, en hornos de bandejas, rotatorios o crisoles.

La mezcla de las materias primas se puede realizar por diferentes métodos, los que dependen de la calidad de la cerámica a fabricar. En la actualidad se cuenta con sistemas de almacenamiento y alimentación automática que permiten un mezclado de alta calidad. Se suele usar la granulación previa de las materias primas para facilitar su transporte y procesamiento, reduciendo las pérdidas.

Se usan también aditivos como lubricantes, antiespumantes, plastificantes y floculantes en la etapa de mezcla de las materias primas, dependiendo si la mezcla se realiza en seco o húmeda.

La formación de las piezas de cerámica se puede realizar por compresión o vibración en un molde con la forma final de la pieza. La alimentación de la mezcla puede ser realizada por inyección ya sea en polvo o húmeda.

Se realizan también aplicaciones de cerámica como recubrimientos superficiales sobre piezas de otros materiales, para lo cual se aplica una capa de pasta de cerámica sobre la superficie a cubrir.

Posterior a la formación de las piezas es usual una etapa de afinado de las superficies, eliminación de costuras, modificación de formas, creación de agujeros, recubrimientos o dibujos decorativos.

Una vez formadas las piezas, si se utilizó un proceso húmedo de formación se requiere su secado, el que debe considerar la reducción en las dimensiones de

las piezas por el encogimiento de ellas, el secado se puede realizar en hornos continuos o en Bach.

Algunas aplicaciones son recubiertas con un vidriado, que se realiza posterior al secado de las piezas; los vidriados consisten principalmente en óxidos tales como feldespatos, cuarzo, carbonatos o boratos y pueden aplicarse como minerales crudos o preprocesados en forma de fritas de vidrio.

La cocción de la cerámica es un proceso térmico que permite la consolidación, aglomeración o densificación de los granos de la materia prima en un cuerpo sólido; el manejo del tamaño de partícula, la composición de la mezcla, la temperatura, tiempo, presión y atmósfera durante la cocción influyen en la calidad y características del producto final.

Para la cocción de la cerámica se utilizan hornos periódicos o continuos conocidos como hornos de túnel, donde se utiliza parte del calor del horno para el precalentamiento o enfriamiento de las piezas. Como combustibles son usados en aplicaciones industriales el gas o petróleo diesel; sin embargo, en aplicaciones artesanales, es usual el uso de carbón, leña o residuos forestales. Para aplicaciones de gran calidad se utilizan hornos eléctricos, que permiten un manejo fino de las temperaturas y tiempos de cocción.

Una vez enfriadas las piezas pueden ser realizadas labores de recubrimiento, decoraciones o embalaje para su posterior transporte.

Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados corresponden a los indicados en el AP-42 de EPA, y representan un promedio de una gran cantidad de mediciones de emisiones realizadas en fuentes que utilizan los combustibles indicados, con una gran variedad de tecnologías de combustión.

TABLA 35

Factores de emisión empleados en la producción de cerámica

Combustible	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton de Cerámica)	Fuente/Edición/Año de Publicación
Horno cocción a gas natural (SCC 3-05-008-50)	MP	0,245	AP-42 de la EPA, Ceramic Products Manufacturing, Supplement B, July 1996.
	CO	1,65	
	NO_X	0,27	
	VOC	0,215	
	SO_X	1,54	
	PCDD/PCDF	0,2E-10	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	CO_2	390	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
Secador (SCC 3-05-008-13)	MP	1,15	AP-42 de la EPA, Ceramic Products Manufacturing, Supplement B, July 1996.
Granulación Spray con filtro de mangas (SCC 3-05-008-10)	MP	0,03	

En la Región Metropolitana, se ha realizado una gran cantidad de mediciones de emisiones provenientes de distintas fuentes, confirmando sus resultados que los factores de emisión empleados permiten tener una estimación muy acertada respecto a las emisiones esperadas en este tipo de fuentes.

Ejemplos de aplicación

Horno continuo a Gas Natural

Fuente: HORNO DE COCCION.

Marca: KERA.

Modelo: BEDARF.

Combustible: GAS NATURAL.

Equipo control: NO.

Consumo de combustible declarado D.S. 138/2005 MINSAL: 583,5 ton/año.

Producción anual declarada D.S. 138/2005 MINSAL: 10.000 ton/año

Dado que la fuente no cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

E = (FE * 10.000 ton/año)/ 1000, en t/año de emisión.

Ecuación 8

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la Tabla 35.

TABLA 36
Emisiones estimadas horno t/año

Contaminante estimado	MP	CO	NO_X	VOC	SO_X	CO_2	PCDD/PCDF
Emisión t/año	2,45	16,5	2,7	2,15	15,4	3.900	2E-10

1.6. Equipos electrógenos

Descripción del Proceso

El proceso de combustión se puede definir como la combinación química rápida del oxígeno con elementos del combustible, los principales elementos del combustible son el carbono, hidrógeno y azufre, siendo este último de menor importancia como fuente de calor.

Cuando el carbono e hidrógeno se queman completamente con oxígeno se transforman a CO_2 y H_2O según las siguientes reacciones:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + Calor$$

El objetivo de la combustión es liberar el calor máximo, minimizando pérdidas por una combustión incompleta y el aire en exceso. La oxidación completa de los elementos y compuestos del combustible requiere una temperatura suficientemente alta que permita la ignición de los constituyentes, mezcla o turbulencia y suficiente tiempo de residencia para completar la reacción.

Equipos electrógenos

Los Grupos Electrógenos (GE) corresponden en general a motores de combustión interna encendidos por compresión que utilizan petróleo diesel, gasolina o gas natural como combustible.

El motor está conectado directamente a un generador de corriente alterna, que permite obtener la energía eléctrica deseada. Usualmente el conjunto es completado con el sistema de almacenamiento del combustible, permitiéndole al sistema operar en condiciones portátiles.

Los generadores eléctricos están disponibles en gran variedad de tamaños y configuraciones las que dependen de los requerimientos de energía necesarios. Se pueden emplear para la generación de energía en sectores sin suministro, para respaldo en horas de altos costos, para emergencias en el suministro o fallas en los sistemas de alimentación.

Los generadores eléctricos permiten tener un suministro de energía en muy corto tiempo, por lo cual son empleados también como respaldo en el suministro de energía a sectores poblacionales en situaciones de corte de la red interconectada.

Las variables relevantes que definen las categorías de estos equipos son:

- Cilindrada.
- Potencia.
- Uso (emergencia o respaldo), define el nivel de actividad previsto.
- Tipo de usuario: Fábricas, Edificios, Hospitales, Escuelas.

En general en las aplicaciones industriales se puede considerar que los equipos utilizados son conformados con motores de cuatro tiempos.

La tecnología de los motores utilizados ha cambiado sólo en los últimos años con la introducción de los motores "common rail" que permiten controlar y reducir las emisiones de material particulado y NOx. El uso de sistemas de control computarizados que regulan la inyección de combustible y aire, así como el desarrollo de equipos de control de emisiones tales como la reducción catalítica selectiva, permiten reducir considerablemente las emisiones cumpliendo la normativa internacional vigente.

FIGURA 12

Fuente: generadores Cummins.

Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados corresponden a los indicados en el AP-42 de EPA, y representan un promedio de una gran cantidad de mediciones de emisiones realizadas en generadores que utilizan los combustibles indicados, con una gran variedad de tecnologías de combustión.

En el caso de la Región Metropolitana, se han realizado una gran cantidad de mediciones de emisiones provenientes de generadores, confirmando sus resultados que los factores de emisión empleados permiten tener una estimación muy acertada respecto a las emisiones esperadas en este tipo de fuentes.

Corrección de factores por calidad de combustible

En el caso de la Región Metropolitana, los factores de emisión de SO_2 son corregidos de acuerdo a los contenidos de azufre de los combustibles empleados en la Región de acuerdo a los límites establecidos en el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA).

TABLA 37

Factores de emisión empleados por generadores eléctricos

Combustible	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg GN)	Fuente/Edición/Año de Publicación
GAS NATURAL (SCC 2-02-003-01)	MP	0,000204	AP-42 de la EPA, Natural gas combustion. Quinta Edición/1998.
	MP_{10}	0,000204	
	$MP_{2,5}$	0,000204	
	CO	0,0640	
	NO_X	0,352	
	VOC	0,0218	
	SO_X	0,0001	
	NH_3	3,9E-08	
	PCDD/PCDF	2,4E-14	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	3,03E-10	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	CO_2	2,69	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 38

Factores de emisión empleados por generadores eléctricos

Combustible	Contam.	Factor de Emisión (kg/kg PET2)	Fuente/Edición/Año de Publicación
PET 2 (Diesel) (SCC 2-02-001-02)	MP	0,00563	AP-42 de la EPA, Fuel Oil Combustion, Quinta Edición/1998.
	MP_{10}	0,00282	
	$MP_{2,5}$	0,00068	
	CO	0,0173	
	NO_X	0,0801	
	VOC	0,00636	
	SO_X	0,00425	
	NH_3	1,4E-04	
	Benceno	1,69E-5	
	Tolueno	7,43E-6	
	PCDD/PCDF	2,12E-14	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	5,05E-8	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
	CO_2	3,12	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

TABLA 39

Porcentaje de azufre de los combustibles empleados por fuentes fijas

Combustible	S PPDA 2004
Gas Licuado	0,008
Kerosene	0,050
Petróleo 6	1,000
Petróleo 5	1,000
Petróleo 2	0,005

Fuente: PPDA R.M.

TABLA 40

Factores de emisión para generadores que operan con combustibles de la RM

Combustible	Contam.	Factor de Emisión	Unidad	Fuente/Edición/Año de Publicación
Diesel	SO_2	0,00010	(kg/kg comb.)	AP-42 de la EPA, LPG Combustion, Industrial Boilers/Quinta Edición/1998, corregido por PPDA para SO_2.

Equipos de control de emisiones

Las tecnologías de abatimiento de emisiones atmosféricas provenientes de generadores eléctricos usados en el país dependen de la tecnología del generador, no se dispone en la actualidad de factores de emisión o porcentajes de eficiencia para los sistemas o equipos de control de emisiones.

Ejemplo de aplicación

Grupo electrógeno a petróleo diesel

Fuente: GRUPO ELECTROGENO.

Marca: CUMMINS.

Modelo: KTA 50.

Combustible: petróleo diesel.

Equipo control: NO.

Consumo de combustible declarado D.S. 138/2005 MINSAL: 1.886.422 lts/año.

Densidad del diesel considerada: 0,84 kg/lt.
Consumos de combustible: 1.584,6 t/año.

Dado que la fuente no cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

E = (FE * 1.886.422 lts/año * 0,84 kg/lts)/ 1000,
en t/año de emisión.

Ecuación 9

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la Tabla 37, por tratarse de un petróleo diesel utilizado en regiones, los resultados estimados son los siguientes:

TABLA 41

Emisiones estimadas generador industrial t/año

Contaminante estimado	MP	MP_{10}	$MP_{2,5}$	CO	NO_X	VOC	SO_X	NH_3	CO_2
Emisión t/año	8,9	4,47	1,07	27,41	126,92	10,08	6,73	0,22	4943,9

TABLA 41A

Emisiones estimadas generador industrial t/año

Contaminante estimado	PCDD/PCDF	Hg
Emisión t/año	33,59E-16	80,02E-10

1.7. Producción de Vidrio

Descripción del Proceso

El vidrio es un producto inorgánico de fusión, enfriado hasta que alcanza el estado sólido no cristalino. Las características del vidrio son dureza, fragilidad y fractura concoidea. Se fabrica vidrio coloreado, translúcido u opaco, variando los materiales disueltos amorfos o cristalinos que lo forman.

Cuando el vidrio se enfría desde el estado de fusión, la viscosidad incrementa gradualmente sin cristalizar en un amplio intervalo de temperaturas hasta que adopta su característica dureza y su forma frágil. El enfriamiento se controla para evitar la cristalización o deformación elástica. Aunque cualquier compuesto que presente estas características físicas es teóricamente un vidrio, la mayoría de los vidrios comerciales se dividen en tres tipos principales y presentan una amplia diversidad de composiciones químicas:

Vidrios de sílice-Cal-Sosa: son los más importantes en términos de cantidad producida y variedad de usos, pues comprenden casi todos los vidrios planos, envases, bajilla económica producida en masa y ampolletas.

Vidrios de sílice-potasa-plomo: contienen una proporción variable, pero normalmente alta de óxido de plomo. En el material óptico se valora su elevado índice de refracción, la cristalería artística y doméstica soplada a boca, su facilidad de corte y de pulido, en las aplicaciones eléctricas y electrónicas, su elevada resistividad eléctrica y la protección frente a las radiaciones.

Vidrios de borosilicato: su baja dilatación térmica los hace resistentes al choque térmico y por ello son ideales para hornos domésticos, material de vidrio de laboratorio y producción de fibra de vidrio para reforzar plásticos.

Proceso de fabricación del vidrio

El proceso puede considerarse dividido en cinco etapas más o menos diferenciadas:

- Fusión.
- Afinado y homogenización.

- Reposo y acondicionamiento térmico.
- Conformado.
- Enfriamiento y recocido.

Una mezcla vitrificable comercial se compone de diversos ingredientes. Sin embargo, la mayor parte la conforman 4 a 6 ingredientes, escogidos entre caliza, arena, dolomita, carbonato sódico, bórax, ácido bórico, feldespatos y sulfato sódico. El resto de la mezcla se compone de aditivos elegidos entre un grupo de 15 a 20 materiales comúnmente denominados ingredientes menores. Estos últimos se añaden durante el proceso de preparación del vidrio para aportar alguna función o cualidad específica, como el color por ejemplo.

Las materias primas se pesan, se mezclan, se les incorpora vidrio roto (vidrio reciclado) y se llevan al horno de fusión donde se aumenta la temperatura hasta un máximo de unos 1600 °C, seguido de un enfriamiento y de un período de estabilización en el que la masa vítrea debe alcanzar la rigurosa homogeneidad química y térmica requerida para su inmediata conformación.

El comportamiento plástico-viscoso de los vidrios a alta temperatura permite conformarlos a lo largo de un amplio intervalo térmico, por diversos procedimientos tales como: colado, soplado, estirado, laminado y prensado. En cada caso, el vidrio debe acondicionarse térmicamente en la zona de trabajo, con objeto de estabilizar su viscosidad ya que de este valor depende la utilización de uno u otro procedimiento de conformado y la cadencia y el rendimiento de los sistemas automáticos.

Después de conformado y moldeado el vidrio para adquirir la forma definitiva, se le somete a un proceso de enfriamiento y recocido, etapa crítica en el proceso ya que se requiere que el vidrio pase de un estado plástico a un estado rígido, con la suficiente lentitud para que su estructura se relaje de forma uniforme y adquiera en todos sus puntos el mismo volumen específico.

Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados corresponden a los indicados en el AP-42 de EPA, y representan un promedio de una gran cantidad de mediciones de emisiones realizadas en fuentes que utilizan los combustibles indicados, con una gran variedad de tecnologías de combustión.

Ejemplo de aplicación

Horno industrial de vidrio

Fuente: HORNO FUNDICION VIDRIO (envases).

Marca: PROPIA.

Modelo: PROPIA.

Combustible: petróleo 5.

Equipo control: Filtro de mangas.

Producción anual declarada D.S. 138/2005 MINSAL: 6.200 t/año.

Consumos de combustible: 1.970 t/año.

Dado que la fuente cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

$$E = (FE * 6.200\ t/año * (1-\%\ EF)/1000,$$

en t/año de emisión.

Ecuación 10

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la Tabla 42, los resultados estimados son los siguientes:

Dado que no se cuenta con factores de emisión para otros contaminantes, como es el caso de CO_2, NH_3 y Hg, estos contaminantes son estimados a partir del consumo de combustible de la fuente. Los factores de emisión utilizados para tal efecto corresponden a los disponibles para calderas, que en este caso usan petróleo N° 5. En el caso de la estimación de mercurio se debe considerar la eficiencia de captación de los filtros de mangas.

TABLA 42

Factores de emisión para hornos de vidrio

Categoría	Contam.	Factor de emisión (kg/ton material procesado)	Fuente
Fundición de envases sin control (SCC 30501402)	MP	0,7	AP-42 de la EPA, Glass Manufacturing
	MP_{10}	0,665	
	$MP_{2,5}$	0,637	
	SO_X	1,7	
	NO_X	3,1	
	VOC	0,1	
	CO	0,1	
	PCDD/PCDF	0,15E-10	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
Fundición de vidrio plano sin control (SCC 30501402)	MP	1,0	AP-42 de la EPA, Glass Manufacturing
	MP_{10}	0,95	
	$MP_{2,5}$	0,91	
	SO_X	1,5	
	NO_X	4,0	
	VOC	0,1	
	CO	0,1	
	PCDD/PCDF	0,15E-10	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.

TABLA 43

Emisiones estimadas caldera industrial t/año

Contaminante estimado	MP	MP_{10}	$MP_{2,5}$	CO	NO_X	VOC	SO_X	NH_3	CO_2
Emisión t/año	0,217	0,206	0,197	0,62	19,22	0,62	10,54	0,236	6166,1

TABLA 43A

Emisiones estimadas caldera industrial t/año

Contaminante estimado	PCDD/PCDF	Hg
Emisión t/año	2,01E-10	4,9E-5

1.8. Producción de celulosa

Descripción del Proceso:

La celulosa es la materia prima para la fabricación del papel, cartón y otros productos finales, se obtiene del procesamiento de la biomasa, separando la lignina que mantiene firmemente unidas las fibras de celulosa, dándole las características de rigidez y elasticidad característica de las fibras vegetales.

Proceso de producción de la celulosa

El proceso de producción de pulpa de papel implica la extracción de la celulosa de la madera por disolución de la lignina que mantiene unidas las fibras. Los procesos más usuales son el conocido como Kraft, sulfato y soda.

Para la fabricación de pulpa de papel se utiliza principalmente madera de pino o eucalipto, las que son transformadas en chips de madera, para ser procesadas mediante su digestión en licor blanco, que es una solución acuosa de sulfato de sodio e hidróxido de sodio, disolviendo químicamente la lignina.

La digestión puede ser realizada en sistemas continuos o Bach, donde se mantienen las condiciones necesarias para la disolución de la lignina completamente, para posteriormente separar la pulpa del licor usado, mediante lavado. El resultado del lavado es llamado licor negro el que es concentrado a un 65% de sólidos, para ser luego quemado en una caldera recuperadora, donde se recupera parte de la energía necesaria en el proceso y los sólidos como materia prima para la reformación de licor verde, el que es mezclado con cal viva (óxido de calcio) para producir el licor blanco que se usará nuevamente en la etapa de digestión.

Para las necesidades de energía de la planta de producción se suele requerir de un suministro de vapor adicional, el que puede ser proporcionado por calderas de vapor convencionales.

La producción de pulpa ácida es similar a la de pulpa Kraft, pero se reemplaza la solución cáustica utilizada para disolver la lignina por ácido sulfúrico, se utilizan también bisulfito de sodio, magnesio, calcio y amonio en el proceso. La digestión es realizada a alta temperatura y presión, una vez terminada la disolución se requiere reducir la temperatura y presión en almacenamientos intermedios, el licor utilizado es llamado licor rojo y es utilizado también para la recuperación de calor y de los productos químicos.

Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados corresponden a los indicados en el AP-42 de EPA, y representan un promedio de una gran cantidad de mediciones de emisiones realizadas en calderas que utilizan los combustibles indicados, con una gran variedad de tecnologías de combustión.

TABLA 44

Factores de emisión producción de celulosa

Fuente	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton de celulosa)	Fuente/Edición/Año de Publicación
Caldera recuperadora con precipitador electroestático, proceso Kraft (SCC 30700104)	MP	1,0	AP-42 de la EPA, Chemical Wood Pulping, September 1990.
	MP_{10}	0,75	
	$MP_{2,5}$	0,538	
	CO	5,5	
	SO_X	3,5	
	TRS	1,5	
	PCDD/PCDF	0,2E-9	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.
	Hg	2E-5	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
Estanque de disolución con lavador de gases (SCC 30700105)	MP	0,1	AP-42 de la EPA, Chemical Wood Pulping, September 1990.
	MP_{10}	0,095	
	$MP_{2,5}$	0,085	
	SO_X	0,1	
	Hg	2,6E-8	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.

TABLA 45

Factores de emisión producción de cal en la industria de celulosa

Fuente	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton de cal)	Fuente/Edición/Año de Publicación
Horno de Cal con precipitador electroestático (SCC 30700106)	MP	0,25	AP-42 de la EPA, Chemical Wood Pulping, September 1990
	MP_{10}	0,245	
	$MP_{2,5}$	0,24	
	CO	0,05	
	NO_X	1,6	
	SO_X	2,7	
	CO_2	1600	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
	Hg	1,5E-6	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005

Ejemplos de aplicación

Caldera recuperadora

Fuente: CALDERA RECUPERADORA.

Marca: BABCOCK ATLANTIC.

Modelo: ACUOTUBULAR.

Combustible: LICOR NEGRO.

Equipo control: PRECIPITADOR ELECTROESTATICO.

Consumo de combustible declarado D.S. 138/2005 MINSAL: 484.264 t/año.

Producción declarada D.S. 138/2005 MINSAL: 160.000 t/año.

Dado que la fuente cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general para el cálculo de la emisión de material particulado es la siguiente:

E = (FE * 160.000) /1000 en t/año de emisión, dado que el factor de emisión ya considera el control de material particulado por medio de precipitador electroestático. En el caso de la emisión de mercurio se debe considerar la eficiencia de captación de un 10%.

Ecuación 11

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la Tabla 44, los resultados estimados son los siguientes:

Digestores

Fuente: DIGESTORES TIPO BATCH, 10 UNIDADES.

Marca: CBC BRASIL.

Equipo control: SCRUBBER.

Producción declarado D.S. 138/2005 MINSAL: 341.000 t/año.

Dado que la fuente cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general para el cálculo de la emisión de material particulado es la siguiente:

E = (FE * 341.000)/1000 en t/año de emisión, dado que la eficiencia de abatimiento del lavador de gases ya está considerada en el Factor de emisión.

Ecuación 12

TABLA 46

Emisiones estimadas caldera industrial t/año

Contaminante estimado	MP	MP_{10}	$MP_{2,5}$	SO_X	Hg
Emisión t/año	34,1	32,4	28,9	34,1	8,8-6

1.9. Fundiciones primarias y secundarias

Descripción del Proceso

Las fundiciones primarias y secundarias involucran una gran cantidad de tipos de procesos de fundición de minerales metálicos y metales. Como fundiciones primarias se entienden aquellas instalaciones que procesan principalmente minerales como materias primas y las secundarias aquellas que procesan chatarra de metal o metales reciclados.

La fundición primaria de mayor volumen en el país es la de cobre, seguidas por la de hierro.

En el caso de las fundiciones secundarias existe una gran variedad de metales que son procesados en plantas de fundición secundarias, destacando el hierro, cobre, bronce y aluminio.

Procesos de fabricación de fundiciones

Fundición primaria de cobre

Las fundiciones primarias de cobre procesan usualmente concentrado de cobre, el que ha sido previamente extraído mediante operaciones de minería y concentrado en una planta de flotación. La primera etapa de procesamiento suele ser el secado del concentrado para reducir su humedad, dado que los concentrados tienen diferentes orígenes y por lo tanto diferentes características, se realiza un almacenamiento intermedio y luego una mezcla de los concentrados, los que son analizados para regular el proceso de fundición.

En una segunda etapa el objetivo es lograr el cambio de estado que permite que el concentrado pase de estado sólido a estado líquido para que el cobre se separe de los otros elementos que componen el concentrado. En la fusión el concentrado de cobre es sometido a altas temperaturas (1.200 °C). Al pasar al estado líquido, los elementos que componen los minerales presentes en el concentrado se separan según su peso, quedando los más livianos en la parte superior del fundido, mientras que el cobre, que es más pesado se concentra en la parte baja, de esta forma es posible separar ambas partes vaciándolas por vías distintas.

La fusión puede realizarse de dos maneras, utilizando dos tipos de hornos: el horno de reverbero para la fusión tradicional y el convertidor modificado Teniente (CMT) que realiza en una sola operación la fusión y la conversión. En las divisiones de Codelco no se utiliza el horno de reverbero, sino que sólo se realiza el proceso de fusión-conversión, utilizando el convertidor modificado Teniente.

Posteriormente en la conversión se tratan los productos obtenidos en la fusión, para obtener cobre de alta pureza. Para esto se utilizan hornos convertidores convencionales llamados Pierce-Smith, que consiste en un reactor cilíndrico de 4,5 m de

diámetro por 11 m de largo, aproximadamente, donde se procesan separadamente el eje proveniente del horno de reverbero y el metal blanco proveniente del convertidor Teniente.

Este es un proceso cerrado, es decir, una misma carga es tratada y llevada hasta el final, sin recarga de material. Finamente se obtiene cobre blister (cobre producido a partir de la fusión de la mata o eje en los hornos convertidores con una pureza de 99,5%). Este cobre es llevado a los hornos de refino y de moldeo desde donde se obtiene el cobre anódico que va a la electrorrefinación.

En la pirorrefinación se incrementa la pureza del cobre blister obtenido de la conversión. Consiste en eliminar el porcentaje de oxígeno presente en este tipo de cobre, llegando a concentraciones de 99,7% de cobre.

El producto final cobre refinado es moldeado en placas gruesas de forma de ánodos, con un peso aproximado de 225 kg, el cual es enviado al proceso de electrorrefinación (para lograr una pureza máxima del cobre) o vendido directamente en diversas formas.

La fundición primaria de hierro es tratada en la guía para Siderurgia.

Fundiciones secundarias

El cobre refinado puede ser utilizado para un gran número de aplicaciones, entre las que se encuentran los cables eléctricos, aleaciones como los bronces y latones, planchas, piezas para artículos electrónicos, etc.

Dependiendo de las aplicaciones y tecnologías de fabricación utilizadas, el cobre y sus aleaciones son transformados de forma y tamaño mediante diferentes tipos de hornos tales como; eléctricos de inducción o resistencias, con combustión, tipo Bach con diferentes tipos de combustibles.

Otros tipos de metales tienen similares procesos de transformación y se puede utilizar materia prima limpia o reciclada; los metales utilizados en fundiciones secundarias más comunes son el hierro, cobre, bronce, aluminio, plomo y zinc.

La primera etapa de la producción secundaria de metales se inicia con la recepción y almacenamiento de la materia prima, la que debe ser clasificada y muestreada para conocer sus características técnicas y planificar su transformación, si corresponde a material reciclado es usual tener que implementar una etapa de limpieza, desengrase, y reclasificación que permita su ingreso a la etapa de fusión.

Para la etapa de fusión, se pueden utilizar una gran variedad de tipos de hornos tales como rotatorios, reverberos, de crisol, cubilotes, de inducción eléctrica, cíclicos de mantenimiento, etc. Para el calentamiento se puede usar algún tipo de combustible o electricidad, una vez que el metal es fundido, se utilizan diferentes tipos de fundentes para eliminar impurezas que estén presentes en el baño de material fundido tales como óxidos de otros metales indeseados. Aprovechando la diferencia de densidad entre el metal fundido y las impurezas, estas son separadas de la superficie en forma mecánica.

Los metales fundidos y refinados, luego son descargados del horno y llevados a los moldes donde se les dará la forma intermedia o final que se requiere, se enfrían y desmoldan para luego someterlos a operaciones de limpieza y afinado de las características físicas de las piezas producidas.

Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados corresponden a los indicados en el AP-42 de EPA, y representan un promedio de una gran cantidad de mediciones de emisiones realizadas en fuentes que utilizan los combustibles indicados, con una gran variedad de tecnologías de combustión.

TABLA 47

Factores de emisión fundición primaria cobre

Fuente	Contam.	Factor de Emisión	Unidad	Fuente/Edición/Año de Publicación
Horno de secado de concentrado (SCC 30300506)	MP	5	(kg/ton de concentrado)	AP-42 de la EPA, Primary Copper Smelting, October 1986.
	MP_{10}	2,4		
	SO_X	0,5		
Horno eléctrico de refinación (SCC 30300510)	MP	50	(kg/ton de concentrado)	AP-42 de la EPA, Primary Copper Smelting, October 1986.
	MP_{10}	29		
	SO_X	45		
Horno Convertidor (SCC 30300504)	MP	18	(kg/ton de concentrado)	AP-42 de la EPA, Primary Copper Smelting, October 1986.
	MP_{10}	10,6		
	$MP_{2,5}$	5,8		
	SO_X	300		
	Plomo	0,135		
	Arsénico	0,0001		
Horno Flash (SCC 30300512)	MP	70	(kg/ton de concentrado)	AP-42 de la EPA, Primary Copper Smelting, October 1986.
	MP_{10}	41,5		
	SO_X	410		
Emisiones fugitivas de hornos convertidores (SCC 30300515)	MP	2,2	(kg/ton de concentrado)	AP-42 de la EPA, Primary Copper Smelting, October 1986.
	MP_{10}	2,1		
	$MP_{2,5}$	1,9		
	Arsénico	0,087		
	SO_X	65		

TABLA 48

Factores de emisión fundiciones secundarias

Combustible	Contam.	Factor de Emisión	Unidad	Fuente/Edición/Año de Publicación
Horno de crisol fundiendo aluminio (SCC 3-04-001-02)	MP	0,95	kg/ton metal procesado	AP-42 de la EPA, Secondary Aluminum Operations, October 1986.
	MP_{10}	0,85		
Horno reverbero fundiendo aluminio (SCC 3-04-001-03)	MP	2,15	kg/ton metal procesado	AP-42 de la EPA, Secondary Aluminum Operations, October 1986.
	MP_{10}	1,29		
	$MP_{2,5}$	1,08		
	VOC	0,1		
Horno de crisol fundiendo latón o bronce (SCC 3-04-002-19)	MP	11	kg/ton metal procesado	AP-42 de la EPA, Secondary Copper Smelting, January 1995.
	MP_{10}	6,2		
	SO_2	0,25		
Horno de inducción fundiendo cobre (SCC 3-04-002-23)	MP	3,5	kg/ton metal procesado	AP-42 de la EPA, Secondary Copper Smelting, January 1995.
	MP_{10}	3,5		
Horno de inducción fundiendo latón o bronce (SCC 3-04-002-24)	MP	10	kg/ton metal procesado	AP-42 de la EPA, Secondary Copper Smelting, January 1995.
	MP_{10}	10		
Horno Ketlle de refinación de plomo (SCC 3-04-004-26)	MP	0,02	kg/ton metal procesado	AP-42 de la EPA, Secondary Lead Processing, October 1986.
	Plomo	0,006		
Horno de reverbero fundiendo plomo (SCC 3-04-004-02)	MP	162	kg/ton metal procesado	AP-42 de la EPA, Secondary Lead Processing, October 1986.
	Plomo	32		
	NOx	0,15		
	SO_2	40		

Ejemplos de aplicación

Horno primario de Cobre

Fuente: HORNO DE FUSION FLASH.

Marca: OUTOKUMPU.

Combustible: PETROLEO N°6.

Equipo control: PRECIPITADOR ELECTROESTÁTICO.

Consumo de combustible declarado D.S. 138/2005 MINSAL: 3909 ton/año.

Producción anual declarada D.S. 138/2005 MINSAL: 620.161 ton/año

Dado que la fuente cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

E = ((FE * 620.161 ton/año) * (1-0,98/100))/ 1000, en t/año de emisión.

Ecuación 13

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la Tabla 47.

TABLA 49

Emisiones estimadas horno t/año

Contaminante estimado	MP	SO_X
Emisión t/año	2.170,5	254.266

Horno secundario de bronce

Fuente: HORNO DE INDUCCION.

Marca: BIRLEC.

Combustible: SIN COMBUSTIBLE.

Equipo control: SIN CONTROL.

Producción anual declarada D.S. 138/2005 MINSAL: 510 ton/año de flejes de cobre.

Dado que la fuente no cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

E = (FE * 510 ton/año)/ 1000, en t/año de emisión.

Ecuación 14

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la Tabla 48.

TABLA 50

Emisiones estimadas horno t/año

Contaminante estimado	MP
Emisión t/año	5,1

1.10. Siderurgia

Descripción del Proceso

La siderurgia corresponde a la fundición primaria de hierro, la que puede ser realizada en una planta integrada de hierro y acero, donde se integran varios procesos entre los que se encuentran una planta de producción de coke, producción de hierro, producción de acero, producción de productos de acero, suministro de energía y sistemas de transporte de productos.

Procesos de la siderurgia

Producción de Coke

El coke metalúrgico es producido por destilación del carbón en un horno, donde es calentado en una atmósfera libre de oxígeno, liberando los elementos más volátiles del carbón, quedando sólo el carbón sólido llamado coke. Las temperaturas y tiempos de calentamiento dependen de la mezcla de carbones usada, las temperaturas van de los 900 a 1100 °C, los gases e hidrocarburos generados por el calentamiento son usados como combustible en los hornos de calentamiento del hierro y acero.

El coke es apagado mediante enfriamiento con agua y trasladado para ser usado en el alto horno para el proceso de reducción del hierro.

Todas las etapas de producción del coke pueden tener emisiones fugitivas de material particulado e hidrocarburos.

Producción de hierro

La producción de hierro se desarrolla en un alto horno por la reducción del mineral de hierro con gases calientes, el horno es cargado por la parte superior con el mineral de hierro, caliza dolomita y el coke como combustible, el hierro fundido y la escoria es recogida en la parte inferior del horno.

Al hierro fundido se adicionan fundentes para eliminar impurezas y el azufre presente en el mineral, luego puede ser trasladado a otro horno para su refinación mediante la incorporación de oxígeno puro para reducir el carbón y otras impurezas. Hornos de arco eléctrico pueden ser usados para la producción de aceros al carbono o aleaciones.

Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados corresponden a los indicados en el AP-42 de EPA, y representan un promedio de una gran cantidad de mediciones de emisiones realizadas en fuentes que utilizan los combustibles indicados, con una gran variedad de tecnologías de combustión.

TABLA 51
Factores de emisión producción de Coke

Fuente	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton de coke)	Fuente/Edición/Año de Publicación
Carga de horno de coke (SCC 3-03-003-02)	MP	0,6	AP-42 de la EPA, Coke Production, May 2008.
Escapes por puerta (SCC 3-03-003-08)	MP	0,26	
	CO	0,011	
	NOx	0,0007	
	SO_2	0,02	
	TOC	0,0028	
Escapes operacionales (SCC 3-03-003-14)	MP	0,047	
Horno de coke (SCC 3-03-003-03)	MP	0,695	AP-42 de la EPA, Coke Production, May 2008.
	CO	0,032	
	NOx	0,0097	
	SO_X	0,049	
	VOC	0,038	

TABLA 51A

Fuente	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton de coke)	Fuente/Edición/Año de Publicación
Horno de coke (SCC 3-03-003-03)	NH_3	0,006	AP-42 de la EPA, Coke Production, May 2008.
	Benceno	0,016	
	Tolueno	2,51E-5	
	Arsénico	1,75E-5	
	Plomo	2,74E-5	
	Hg	1,69E-7	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
Horno de combustión de gases (SCC 3-03-003-17)	MP	0,2	AP-42 de la EPA, Coke Production, May 2008.
	CO	0,34	
	NOx	0,82	
	SO_X	1,47	
	VOC	0,047	
	Plomo	2,22E-6	
	Arsénico	1,64E-6	
	Benceno	0,0075	
	Tolueno	0,0033	

TABLA 52
Factores de emisión producción de hierro y acero

Combustible	Contam.	Factor de Emisión kg/ton Metal Procesado	Fuente/Edición/Año de Publicación
Alto horno (SCC 30301510)	MP	39,5	AP-42 de la EPA, Iron And Steel Production, October 1986.
Desulfuración del metal fundido (SCC 30301518)	MP	0,55	AP-42 de la EPA, Iron And Steel Production, October 1986.
Horno de oxigenación básico (SCC 30301520)	MP	14,25	AP-42 de la EPA, Iron And Steel Production, October 1986.
	CO	69,0	
Horno de arco eléctrico (SCC 30301540)	MP	19,0	AP-42 de la EPA, Iron And Steel Production, October 1986.
	CO	9	
Horno de hogar abierto (SCC 30301551)	MP	10,55	AP-42 de la EPA, Iron And Steel Production, October 1986.

En la Región Metropolitana, se han realizado una gran cantidad de mediciones de emisiones provenientes de distintas fuentes, confirmando sus resultados que los factores de emisión empleados permiten tener una estimación muy acertada respecto a las emisiones esperadas en este tipo de fuentes.

Ejemplos de aplicación

Horno Desulfuración

Fuente: HORNO DESULFURIZACIÓN ARRABIO.

Marca: S/M.

Combustible: SIN COMBUSTIBLE.

Equipo control: FILTRO DE MANGAS.

Producción anual declarada D.S. 138/2005 MINSAL: 1.213.424 ton/año

Dado que la fuente cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

E = ((FE * 1.213.424 ton/año) * (1-0,95/100))/ 1000, en t/año de emisión.

Ecuación 15

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la Tabla 52.

TABLA 53
Emisiones estimadas horno t/año

Contaminante estimado	MP
Emisión t/año	30,33

Alto Horno

Fuente: ALTO HORNO.
Marca: SM.
Combustible: SIN COMBUSTIBLE.
Equipo control: CICLON HUMEDO.
Producción anual declarada D.S. 138/2005 MINSAL: 640.173 ton/año de arrabio.

Dado que la fuente cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

E = ((FE * 640.173 ton/año) * (1-0,75/100))/ 1000,
en t/año de emisión.
Ecuación 16

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la Tabla 53.

TABLA 54
Emisiones estimadas horno t/año

Contaminante estimado	MP
Emisión t/año	6321,7

1.11. Petroquímica

Descripción del Proceso

La petroquímica incluye una gran variedad de fuentes entre las que se encuentran las presentes en las refinerías de petróleo, almacenamiento y distribución de petróleos líquidos, procesamiento de gas natural y procesamiento de productos químicos.

Procesos de la petroquímica

Refinerías de petróleo

Las refinerías de petróleo convierten el petróleo crudo en más de 2.500 productos refinados, incluidos el gas licuado de petróleo, gasolina, kerosene, combustible de aviación, diesel, aceites lubricantes, asfalto y materias primas para la industria petroquímica.

El proceso de una refinería comienza con el almacenamiento del crudo y su posterior transporte a las diferentes etapas de producción las que dependerán del tipo de crudo y de los tipos de subproductos que se quiera generar, entre las que se encuentra:

- Destilación atmosférica.
- Destilación al vacío.
- Cracking térmico o catalítico.
- Reformación.
- Alkilación.
- Polimerización.
- Isomerización.
- Hidrodesulfuración.
- Desasfaltado.
- Hidrotratamiento.
- Almacenamiento y mezcla.
- Planta de tratamiento de aguas.
- Planta de tratamiento de gases.
- Planta de producción de hidrógeno.
- Torres de enfriamiento.
- Calderas y hornos de calentamiento.

Procesamiento de Gas Natural

El gas natural procedente de pozos de alta presión es generalmente procesado en separadores para quitar el condensado y el agua presente, el producto resultante es una mezcla de gas natural, gasolina natural, propano y butano, por lo cual es conducido a una planta que permite separar por destilación estos compuestos.

Si el gas natural contiene algún porcentaje indeseado de azufre es considerado ácido y se requiere su "endulzado" haciéndolo pasar por una solución de amina o por camas de carbonato.

Almacenamiento y distribución de petróleos líquidos

El almacenamiento y distribución de petróleos líquidos implica una gran variedad de operaciones en las cuales se generan emisiones fugitivas de VOCs, el petróleo crudo es almacenado y transportado mediante ductos, camiones, barcos o trenes. Los almacenamientos intermedios o finales de los subproductos dependen del tipo y uso que les será dado, tales como los servicentros de gasolina en la venta final a los usuarios de vehículos.

Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados corresponden a los indicados en el AP-42 de EPA, y representan un promedio de una gran cantidad de mediciones de emisiones realizadas en fuentes que utilizan los combustibles indicados, con una gran variedad de tecnologías de combustión.

TABLA 55

Factores de emisión refinerías de petróleo

Fuente	Contam.	Factor de Emisión	Unidad	Fuente/Edición/Año de Publicación
Unidad de Craking catalítico sin control (SCC 30600301)	MP	0,695	kg/10^3 L alimentación	AP-42 de la EPA, Petroleum Refining, January 1995.
	SO_2	1,413		
	CO	39,2		
	VOC	0,63		
	NOx	0,204		
	Amoniaco	0,155		
Unidad de destilación al vacío (SCC 30600602)	HCT	0,14	kg/10^3 L alimentación	AP-42 de la EPA, Petroleum Refining, January 1995.
Recuperación de vapores y antorcha (SCC 30600401)	SO_2	0,077	kg/10^3 L alimentación	AP-42 de la EPA, Petroleum Refining, January 1995.
	CO	0,012		
	HCT	0,002		
	NOx	0,054		
Unidad de Cokificación sin control (SCC 30601201)	MP	1,5	kg/10^3 L alimentación	AP-42 de la EPA, Petroleum Refining, January 1995.
Compresores (30602401)	SO_2	2 * S Donde S es el contenido de S en el gas de refinería, en kg/1000 m^3	kg/10^3 m^3	AP-42 de la EPA, Petroleum Refining, January 1995.
	CO	7,02		
	HCT	21,8		
	NOx	55,4		
	Amoniaco	3,2		

TABLA 56

Factores de emisión producción de gas natural

Combustible	Contam.	Factor de Emisión	Unidad	Fuente/Edición/Año de Publicación
Planta de endulzado de gas (31000305)	SO_2	26.98 S Donde S es el contenido de H_2S en porcentaje en volumen del gas de entrada.	kg/10^3 m^3 gas procesado	AP-42 de la EPA, Natural Gas Processing, Supplement A, January 1995.

Ejemplos de aplicación

Horno cracking

Fuente: HORNO CRACKING CATALITICO.

Marca: ERA.

Combustible: Gas natural.

Equipo control: sin control.

Consumo combustible declarado D.S. 138/2005 MINSAL: 196.098 m^3/año

Dado que la fuente no cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

E = (FE * 196.098 m^3/año)/ 1000, en t/año de emisión.

Ecuación 17

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la Tabla 61.

TABLA 57

Emisiones estimadas horno t/año

Contaminante estimado	MP	SO_2	CO	HCT	NOx	Amoniaco
Emisión t/año	0,136	0,27	7,68	0,12	0,04	0,03

2. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES

2.1. Metodología para ciudades que cuentan con modelo de transporte

Metodología general

La metodología general para estimar las emisiones vehiculares en ruta consiste en estimar los niveles de actividad de las diferentes categorías vehiculares y asociarles a cada una de ellas un nivel de emisión promedio o factor de emisión (Ecuación 18).

Para los vehículos motorizados, el nivel de actividad es representado, básicamente, por el kilometraje recorrido por el vehículo en el tiempo y área donde se desarrolla el inventario, mientras que los factores de emisión se expresan en unidades de gramos por kilómetro recorrido, los que generalmente son altamente dependientes de la velocidad media de circulación.

$$E_i = \Sigma_{kt} \text{ Nivel de actividad}_k \times FE_{ikt} \qquad \textbf{Ecuación 18}$$

Donde,

E_i : Emisiones [gr] del contaminante considerado i.

$\text{Nivel de actividad}_k$: Nivel de actividad de la categoría vehicular k [km -vehículos].

FE_{ikt} : Factor de emisión del contaminante i para la categoría k evaluada, para el tipo de descarga de emisiones t [gr/km - vehículos].

k : Categoría vehicular "k"

t : Tipo de descarga de emisiones "t"

El nivel de actividad asociado a este tipo de fuentes puede ser obtenido de una manera desagregada y en detalle estimando directamente la información a partir de datos de flujo vehicular (modelos de transporte, conteos vehiculares, etc.), entre otras variables, generados por los modelos de transporte. Sin embargo, muchas veces estos datos no están disponibles y es necesario estimar el nivel de actividad vehicular de forma más agregada con la ayuda de otros parámetros alternativos, tales como las estadísticas de consumo de combustible regionales, caracterización detallada del parque y/o encuestas directas a usuarios. En el caso del RETC estos datos son entregados directamente por las salidas de los modelo de transporte

- **Contaminantes Considerados**

Los contaminantes que se encuentran considerados en la metodología de cálculo de emisiones se indican en el cuadro siguiente:

TABLA 58
Contaminantes Considerados en el RETC

Contaminantes considerados
Material Particulado Respirable (PM_{10})
Material Particulado Respirable Fino ($PM_{2.5}$)
Monóxido de Carbono (CO)
Hidrocarburos Totales (HCT)
Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
Óxidos de Azufre (SO_2)
Dióxido de Carbono (CO_2)
Metano (CH_4)
Óxido Nitroso (N_20)
Amoníaco (NH_3)
Dioxinas y Furanos (PCDD/F)
Mercurio (Hg)
Consumo de Combustible (CC)*

*Si bien el CC no es un contaminante, también está incorporado dentro de la metodología y su uso es de gran utilidad para efectuar validaciones con estadísticas locales de consumo de combustible y utilizar metodologías de estimación más agregadas de emisiones tales como la metodología IPCC para gases de efecto invernadero.

- **Tipos de emisiones que son consideradas en los cálculos (tipos de descarga)**

La metodología de cálculo de emisiones asume que estas provienen de tres fuentes fundamentales: las derivadas del motor cuando éste se encuentra en condiciones de operación estables (emisiones en caliente), aquellas provenientes del motor cuando éste se encuentra frío (emisiones por partidas en frío) y

por último aquellas denominadas evaporativas (emisiones de hidrocarburos evaporados). Además se consideran las emisiones de polvo resuspendido generadas por el paso de los vehículos, el desgaste de freno y desgaste de neumáticos (agrupadas como desgaste en la ecuación). Las emisiones totales serán, en consecuencia, la suma de estos cinco tipos de emisiones, como se observa en la Tabla 60:

TABLA 59

Desagregación de las emisiones totales según su tipo de descarga

Desagregación de las emisiones totales	
$E_{total} = E_{caliente} + E_{partidas\ en\ frío} + E_{evaporativas} + E_{polvo} + E_{desgastes}$ Donde: E_{total} : Emisiones totales del contaminante considerado [gramos] $E_{caliente}$: Emisiones en caliente, fase estabilizada del motor [gramos] $E_{partidas\ en\ frío}$: Emisiones por partidas en frío [gramos] $E_{evaporativas}$: Emisiones por evaporación[3] [gramos] E_{polvo} : Emisiones provenientes del polvo resuspendido por la circulación de vehículos sobre calles pavimentadas [gramos] $E_{desgaste}$: Emisiones por desgaste de frenos, neumáticos y superficie [gramos]	**Ecuación 19**

Por su parte, se considera que las emisiones evaporativas en fuentes móviles provienen de tres fuentes primarias:

TABLA 60

Fuentes primarias de emisiones evaporativas

Tipos de Emisiones Evaporativas
• Emisiones durante el día (diurnal) • Emisiones por detenciones en caliente (hot soak emissions) • Pérdidas durante el recorrido (running losses)

Las emisiones por partidas en frío se asocian a las emisiones producidas en aquella porción del viaje de un vehículo en la cual la conducción se realiza en condiciones de temperatura de motor inferiores a las normales de diseño. Estas emisiones se destacan aún más cuando se estiman emisiones en ciudades donde el largo del viaje promedio es corto y las temperaturas son bajas.

Las emisiones evaporativas durante el día (diurna) se asocian a las variaciones de temperatura naturales que se presentan durante el día. Las emisiones por detenciones en caliente (hot soak) se originan cuando el motor del vehículo es apagado (posterior a haber efectuado un recorrido), en donde el calor remanente calienta las líneas de combustible que ya no están fluyendo produciendo emisiones evaporativas. Estas emisiones pueden dividirse en "hot soak", cuando la temperatura del agua de refrigeración del motor al ser apagado está por sobre los 70 °C, y en "warm soak", cuando la temperatura es menor a 70 °C. Finalmente, se tienen las emisiones evaporativas generadas por pérdidas durante el recorrido (running losses) las cuales también se diferencian según el grado de temperatura del motor, definiéndose "hot running losses" cuando la temperatura del agua refrigerante del motor se encuentra sobre los 70 °C y "warm running losses" cuando se encuentra por debajo de este valor.

[3] Relevantes para especies de Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos en vehículos a gasolina.

Las fuentes anteriores se hacen significativas al tratarse de vehículos a gasolina (vehículos de ciclo Otto), por lo que el cálculo se refiere a este segmento del grupo de fuentes móviles en ruta.

Desde el punto de vista de la metodología utilizada para el cálculo de emisiones, se distinguen dos tipos: metodología para cálculo de emisiones por arco y metodología para cálculo de emisiones por zonas, cuya aplicación de cada una depende del tipo de descarga de emisión que se estime.

Metodología tipo arco

La metodología tipo arco se basa en la existencia de una red vial, e idealmente la disposición de salidas de modelos de transporte. Cada arco tiene asociado características de operación básicas[4] asignadas según condiciones de equilibrio en la red, en un horario determinado (por ejemplo, punta mañana), lo que permite tener valores de velocidad y flujos para cada arco.

A través de la aplicación de esta metodología se calculan con la metodología los siguientes tipos de emisiones:

TABLA 61

Emisiones calculadas con metodología tipo arco

Emisiones Tipo Arco
• Emisiones en caliente provenientes del sistema de escape de los vehículos. • Emisiones evaporativas por pérdidas durante el recorrido (running losses). • Consumo de combustible (CC)[5]. Aunque no se trata de emisiones, bajo esta metodología también se calcula el consumo de combustible para las diferentes categorías. • Emisiones provenientes de desgaste de frenos y neumáticos. • Emisiones de polvo resuspendido desde calles pavimentadas.

Metodología tipo zona

En la metodología tipo Zona, las emisiones difusas (principalmente las originadas en la evaporación de combustibles líquidos) no son calculadas por arco sino por zonas geográficas más extensas (generalmente comunas o agrupación de comunas en ciudades grandes[6] y sectores más pequeños en el caso de ciudades intermedias los que son definidos en función de las características del parque en cada ciudad). Este tipo de metodología se caracteriza por utilizar información de entrada a nivel zonal, principalmente parque vehicular en la zona, viajes entre zonas, lo cual limita el nivel de distribución espacial de las emisiones a la zona en donde se cuenta con dicha información.

A través de la aplicación de esta metodología, se calculan los siguientes tipos de emisiones:

TABLA 62

Emisiones calculadas con metodología tipo zona

Emisiones tipo arco
• Emisiones en caliente provenientes del sistema de escape de los vehículos. • Emisiones evaporativas por pérdidas durante el recorrido (running losses). • Consumo de combustible (CC)[7]. Aunque no se trata de emisiones, bajo esta metodología también se calcula el consumo de combustible para las diferentes categorías. • Emisiones provenientes de desgaste de frenos y neumáticos. • Emisiones de polvo resuspendido desde calles pavimentadas.

4 Capacidad, velocidades, longitud y flujos, entre otros.

5 Se dispone, al igual que factores de emisión, factores de consumo de combustible expresados en [grComb/km] por lo que la aplicación de esta metodología por arcos se hace extensiva también a este cálculo. En este sentido es importante destacar que la incorporación de este factor permite una primera validación del inventario al comparar los resultados con estadísticas locales de consumo de combustibles.

6 Principalmente Gran Santiago, Gran Valparaíso y Gran Concepción.

7 Se dispone, al igual que factores de emisión, factores de consumo de combustible expresados en [grComb/km] por lo que la aplicación de esta metodología por arcos se hace extensiva también a este cálculo. En este sentido es importante destacar que la incorporación de este factor permite una primera validación del inventario al comparar los resultados con estadísticas locales de consumo de combustibles.

- Metodología de cálculo de emisiones en caliente por tubo de escape

La metodología general para este tipo de emisiones corresponde a:

$$E_{ijkhda} = F_{jp}\, CPD_{pkj} \cdot PF_{jkhd} \cdot FE(v_{kjhd})_{ik} \cdot FCC_{ka} \cdot FCD_{ka} \cdot L_j \qquad \textbf{Ecuación 20}$$

Donde:

E_{ijkhda} : Emisiones [gr/hora] del contaminante considerado "i", en un arco "j" para la categoría vehicular "k" en una hora "h" de un día "d" para un año de evaluación "a".

F_{jp} : Flujo vehicular [veh/h] total en el arco "j" para la categoría vehicular "p" (categorías entregado directamente por la corrida del modelo de trasporte) para un día "d"=lunes-jueves en la hora punta mañana (AM). Además este valor es entregado para una hora fuera de punta (FP) y punta tarde (PT), el valor de PF (perfil de flujo) es igual a 1 (PF=1) en los horarios en que se cuenta con el flujo directo del modelo de transporte. Para el resto de las horas y día de la semana el flujo es obtenido a partir del perfil de flujo.

CPD_{pkj} : Composición promedio diaria de la categoría "p" (proveniente del modelo de transporte) en tipos de vehículos "k" para el arco "j", medido en [%] aplicada a los flujos entregados por el modelo de transporte en los horarios punta, fuera de punta y punta tarde. En general todos los arcos pertenecientes a un mismo sector poseen los mismos valores de "CDP" para descomponer las categorías vehiculares "p" entregadas por el modelo de transporte en las categorías "k" requeridas por la metodología de estimación de emisiones.

PF_{jkhd} : Perfil de flujo o fracción del flujo total (Flujo jkhd) correspondiente a la categoría "k" para el arco "j" para la hora "h" de un día "d"), medido en [%]. En general todos los arcos pertenecientes a un mismo sector y sentido de circulación poseen los mismos valores de "PF" para cada categoría vehicular "k".

$FE(v_{kjhd})_{ik}$: Factor de emisión [gr/km*veh] del contaminante "i", para la categoría vehicular "k", en función de la velocidad "v_{kjhd}"en [km/h] que corresponde a la velocidad para la hora "h" del día d para el tipo de vehículo "k" en el arco "j". Es importante aclarar que las velocidades se obtienen para las categorías vehiculares entregadas por el modelo de transporte (categorías "p"), no obstante la velocidad se utiliza en forma idéntica para cada tipo de vehículo "k" obtenido a partir de la categoría "p". En general la metodología no permite velocidades menor a 5 km/hr y mayor a 100 km/hr en el caso de arcos de la red urbana y mayor a 120 km/hr en el caso de arcos de la red interurbana

FCC_{ka} : Factor de corrección por composición del combustible locales para la categoría "k", según las propiedades del combustible en el año de evaluación "a", medido en [%]. En general este factor depende del tipo de combustible que posee la categoría "k".

FCD_{ka} : Factor de corrección por deterioro para la categoría "k" en el año de evaluación "a", medido en [%]. En general este factor depende del kilometraje de los vehículos y debe ser determinado en función del kilometraje promedio de la categoría "k" en el año "a".

L_j : Largo del arco evaluado "j" [km].

d : Día característico tipo "d": lunes-jueves, viernes, sábado y domingo.

A continuación, se describe la obtención de los parámetros a los que se hace referencia en la figura anterior.

- **Información de flujos modelados en red vial (F_{jp})**

La información de flujo entregada por el modelo de trasporte para la aplicación de la metodología se encuentra generalmente desagregada en ruta fija y ruta variable, existiendo una desagregación adicional de la ruta fija en: buses licitados, taxis colectivos, camiones, buses rurales y buses interurbanos. Estos valores vienen expresados vehículos/hora.

- **Clasificación de fuentes móviles en ruta (categorías "k")**

Dentro de las fuentes móviles en ruta, considerando las características de las flotas locales y la información disponible, para el cálculo de emisiones se consideran en términos generales las siguientes categorías básicas de vehículos dentro del RETC:

– Vehículos livianos particulares
– Vehículos livianos comerciales
– Vehículos de alquiler
– Taxis colectivos
– Buses transporte público
– Buses transporte interurbano y rural
– Camiones livianos, medianos y pesados
– Motocicletas

No obstante, para el proceso de cálculo de emisiones se utilizan categorías más desagregadas para el correcto uso de factores de emisión en función del tipo de vehículo, su tecnología y uso. En la presente guía metodológica se entregan las categorías vehiculares tomadas desde el estudio PACIN III de SECTRA, las que se encuentran vigentes a la fecha (ver Tabla 6 3) cuyas definiciones detalladas se encuentran en Anexo 3.

- **Sectorización**

Para efectuar un cálculo de emisiones más adecuado que guarde relación con el comportamiento tanto del flujo vehicular a lo largo del día como de su composición vehicular en distintos sectores dentro de una ciudad, se hace necesario zonificar el área de estudio.

Para el diseño de la zonificación se usa un esquema compatible con la zonificación adoptada en los estudios de ciudades intermedias[8]. La ventaja de esta adopción es que se intenta uniformar la definición espacial de las ciudades de Chile, a modo de disponer de bases comunes, por ejemplo, zonificaciones compatibles entre el Censo Nacional de Población y Vivienda, Servicio de Impuestos Internos y Encuestas de Origen Destino (EOD) de Viajes. Esto ha sido aplicado desde 2001 en las encuestas de origen y destino de viajes[9, 10], en especial, por las facilidades que ofrece la tecnología de los sistemas de información geográfica (SIG), dado que al disponer de entidades espaciales comunes, usualmente manzanas, se pueden conformar diferentes agrupaciones y combinar diferentes atributos asociados a estas entidades.

En consecuencia, para la estimación de emisiones de fuentes móviles en ruta se utiliza una sectorización con la mayor compatibilidad entre las zonas EOD definidas en cada ciudad. Idealmente, debiera ser la misma zonificación EOD, es decir, la unidad mínima es una zona EOD, sin embargo, por razones prácticas y económicas se adoptan zonas que pueden ser agrupaciones de zonas EOD enteras y conexas entre sí. En ningún caso se dividen zonas EOD. La principal ventaja de esta adopción, aparte de aquellas de carácter práctico y universal citadas anteriormente, es que corresponde a la zonificación de la modelación estratégica del sistema de transporte urbano de cada ciudad y de cuyos resultados se toma la información para el cálculo de emisiones.

8 Diagnóstico del Sistema de Transporte Urbano de Ciudades Intermedias, SECTRA (1997-2000), ejecutados individualmente por distintas empresas consultoras

9 Encuesta de Origen y Destino del Gran Santiago 2001-2002. SECTRA-DICTUC (2003).

10 Encuestas Origen-Destino de Viajes en Ciudades Intermedias, IV Etapa. Encuesta de Movilidad en Regiones (10 ciudades). SECTRA-DICTUC (2002-2005).

TABLA 63

Categorías vehiculares base para el cálculo de emisiones
Categorías vehiculares consideradas en PACIN III

Categorías Vehiculares PACIN III
Buses licitados Diesel convencional
Buses licitados Diesel tipo 1
Buses licitados Diesel tipo 2
Buses licitados Diesel tipo 3 (*)
Buses licitados Diesel a gas (*)
Buses licitados Híbridos (*)
Buses licitados otros (*)
Buses Interurbanos Diesel convencional
Buses Interurbanos Diesel tipo 1
Buses Interurbanos Diesel tipo 2
Buses Interurbanos Diesel tipo 3 (*)
Buses Interurbanos otros (*)
Buses Rurales Diesel convencional
Buses Rurales Diesel tipo 1
Buses Rurales Diesel tipo 2
Buses Rurales Diesel tipo 3
Buses Rurales Diesel otros
Buses Particulares
Camiones livianos Diesel convencional
Camiones livianos Diesel tipo 1
Camiones livianos Diesel tipo 2
Camiones livianos Diesel tipo 3 (*)
Camiones livianos a gas (*)
Camiones livianos otros (*)
Camiones medianos Diesel convencional
Camiones medianos Diesel tipo 1
Camiones medianos Diesel tipo 2
Camiones medianos Diesel tipo 3 (*)
Camiones livianos a gas (*)
Camiones livianos otros (*)
Camiones pesados Diesel convencional
Camiones pesados Diesel tipo 1
Camiones pesados Diesel tipo 2
Camiones pesados Diesel tipo 3 (*)
Camiones livianos a gas (*)
Camiones livianos otros (*)
Particulares Cat. tipo 1
Particulares Cat. tipo 2 (*)
Particulares No-Cat
Particulares a gas (*)
Particulares Otros
Particulares Diesel Tipo 1 (*)
Particulares Diesel Tipo 2 (*)
Particulares Diesel Tipo 3 (*)
Alquiler Cat. tipo 1
Alquiler Cat. tipo 2
Alquiler No-Cat
Alquiler Otros
Alquiler Gas (*)
Alquiler Diesel Tipo 1 (*)
Alquiler Diesel Tipo 2 (*)
Alquiler Diesel Tipo 3 (*)
Taxis Col. Cat. tipo 1
Taxis Col. Cat. tipo 2 (*)
Taxis Col. No-Cat
Taxis Col. Otros
Taxis Col. A gas
Taxis Col. Diesel tipo 1
Taxis Col. Diesel tipo 2 (*)
Taxis Col. Diesel tipo 3 (*)
Comerciales Cat. tipo 1
Comerciales Cat. tipo 2 (*)
Comerciales No-Cat
Comerciales Diesel tipo 1
Comerciales Diesel tipo 2 (*)
Comerciales Diesel tipo 3 (*)
Comerciales Otros (*)
Comerciales a Gas (*)
Motocicletas 2 tpos. Convencional
Motocicletas 2 tpos. tipo 1 (*)
Motocicletas 4 tpos. convencional
Motocicletas 4 tpos. tipo 1 (*)

(*): Estas categorías han sido agregadas para actualizar el listado del estudio PACIN III de la SECTRA

Otra ventaja de esta definición, es que la información del sistema de transporte está en permanente actualización de parte de SECTRA, tanto de carácter estratégico (cada 5 años) como táctico (estudios menores de distinta índole). Las actualizaciones, en lo relacionado a zonificación, consisten en la incorporación de cambios como proyectos inmobiliarios, proyectos viales o cambio de uso del suelo y por la incorporación de nuevas manzanas al contexto urbano de cada ciudad.

Como síntesis se puede indicar que los sectores reflejan, fundamentalmente, similares características geográficas, socioeconómicas de la población y de operación vehicular.

En términos de la metodología de estimación de emisiones, estos sectores permiten aplicar el concepto de tipo de calle ya que a arcos de un mismo sector se les asignan composiciones y perfiles temporales de flujo equivalentes.

En la actualización actual del sistema MODEM que desarrolló SECTRA se ha ampliado el concepto de sectores geográficos tipo polígonos a rutas (sectores lineales) lo cual es aplicado directamente a las unidades de negocios troncales de Transantiago, ya que en este caso para cada ruta se dispone de información de perfil temporal y composición de buses según su tecnología. Además se ha incorporado una sectorización tipo polígono especial para los buses alimentados ya que estos se agrupan en 10 zonas, una para cada unidad de negocio. Aplicaciones similares podrían ser requeridas en otras ciudades del país.

- **Composición del flujo vehicular (CPD_{pkj})**

Tal como se ha mencionado la información que entrega el modelo de transporte sólo trae flujos modelados de vehículos de flujo variable y flujo fijo: taxis colectivos, buses licitados, y camiones (categorías "p").

Por tanto, es necesario complementar esta información para llegar a las categorías más específicas requeridas por la metodología (categorías k). Para esto se utilizan composiciones promedio diarias obtenidas a partir de datos provenientes de campañas de caracterización de flujos vehiculares en caso que estén disponibles y principalmente datos provenientes de plantas de revisión técnica del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) y permisos de circulación del INE.

Esta caracterización del flujo vehicular en cuanto a su composición específica hace posible obtener la mejor "fotografía" posible acerca de las diferentes clases de vehículos que circulan diariamente por cada ciudad y conocer sus proporciones relativas, vale decir, qué porcentaje del flujo variable total corresponde a vehículos particulares, cuántos a vehículos comerciales, cuántos a taxis básicos. Posteriormente, hay que conocer qué porcentaje del flujo de vehículos particulares corresponde a vehículos particulares sin convertidor catalítico y cuántos a con convertidor catalítico, etc. Esto es necesario ya que la estimación de emisiones debe desagregarse en diferentes categorías vehiculares "k" debido a las apreciables diferencias de emisiones entre un tipo de vehículo y otro.

- **Expansión temporal de flujos vehiculares (PF_{jkhd})**

Los modelos de transporte entregan solamente evaluaciones o asignaciones de flujos para ciertas horas específicas de modelación, generalmente uno en horario de punta y otro fuera de punta. Entonces, como el modelo de emisiones requiere calcular emisiones en un periodo continuo de tiempo, es necesario extrapolar estas asignaciones a todas las horas del día, a días característicos de la semana y a todo el año, para lo cual se debe contar con dos perfiles de flujo: un perfil semanal horario y un perfil mensual. En este sentido, los conteos continuos de flujos en terreno entregan la información relevante para su obtención.

Así, en la Ecuación 20, se tiene la siguiente expresión: $F_{jp} \cdot CPD_{pkj} \cdot PF_{jkhd}$, en donde el flujo modelado "F_{jp}" es en primer lugar descompuesto en las categorías requeridas por la metodología (categorías "k") y luego cada flujo en ese horario punta es expandido al resto de las horas y tipos de días mediante el factor "PF_{jkhd}", con lo cual es posible obtener una matriz de flujo semanal para el arco en estudio.

Finalmente, para obtener el flujo expandido al mes se debe en primer lugar sumar todas las emisiones de la matriz de flujo semanal obtenida y luego este valor debe ser multiplicado por el número de semanas equivalentes para el mes, lo cual puede ser: 31/7, 30/7 o 28/7 en función del número de días del mes en particular.

- **Factores de emisión ($FE(v_{kjhd})_{ik}$)**

Paralelo a la caracterización y expansión de flujos, composiciones vehiculares y todos aquellos aspectos que tienen que ver con la descripción y cuantificación del nivel de actividad de las fuentes móviles en ruta, es necesario incorporar al proceso de cálculo de emisiones el nivel de emisión de contaminantes atmosféricos generados por las diferentes categorías vehiculares existentes, lo que se conoce como la tasa de emisión másica por unidad de desplazamiento o "factores de emisión". Estos tienen en general la unidad de gramos por kilómetro recorrido y dependen, en su mayoría, de la velocidad media de circulación.

Como el factor de emisión "$FE(v_{kjhd})_{ik}$" depende de la velocidad, esta última puede ser obtenida directamente desde el modelo de transporte, de datos provenientes de la calibración del modelo o bien mediante el empleo de técnicas específicas para estos fines. La descripción del manejo de la velocidad se realiza dentro del siguiente punto en la guía.

En los inventarios desarrollados a la fecha se han utilizado factores de emisión (en gr/km) provenientes de la literatura internacional (fundamentalmente europea) y también se han determinado curvas de emisión a nivel nacional[11] representativas de la ciudad de Santiago, lo que se encuentra reportado en los informes del estudio "Mejoramiento del Inventario de Emisiones Atmosférica de la Región Metropolitana", realizado para CONAMA RM, año 2000. En este estudio se generaron factores de emisión nacionales a través de la ejecución de programas experimentales locales (efectuados en 3CV) y se validaron factores de emisión provenientes de la literatura internacional.

En resumen, los factores de emisión utilizados en el estudio CONAMA RM, año 2000, provienen en su mayoría del modelo europeo COPERT[12] en sus versiones II y III, así como también de mediciones experimentales realizadas en Chile sobre una muestra superior a 160 vehículos livianos con más de 2.000 ensayos válidos bajo diferentes condiciones de operación (diferentes modos de conducción internacionales y nacionales).

El modelo COPERT, modelo de estimación de emisiones vehiculares de la Agencia Europea del Ambiente (EEA), tiene la ventaja de que los factores de emisión registrados en su documentación metodológica están expresados como ecuaciones que relacionan la tasa de emisión de un vehículo con su velocidad media de circulación. La metodología utilizada dentro de este modelo es la base de todos los estudios realizados a la fecha en Chile.

Durante el año 2008, en nuestro país se efectuaron nuevos estudios asociados a la investigación de factores de emisión, estudios desarrollados por SECTRA[13] y CONAMA RM[14]. Los objetivos fundamentales de estos estudios fueron llevar a cabo una revisión de la información internacional disponible asociada a factores de emisiones vehiculares y efectuar una actualización de los factores de emisión para vehículos livianos, medianos y de carga representativos de la realidad nacional.

En los Anexo 4 y 5 de la presente guía metodológica se entrega una recopilación de los factores de emisión recomendados por SECTRA en la última actualización de su sistema MODEM. En el caso del anexo 4, estos factores son los utilizados en los principales inventarios de emisiones desarrollados por CONAMA y SECTRA los que provienen

11 Para vehículos particulares.

12 Computer Programme to Calculate Emissions From Road Transport.

13 "Actualización de Factores de Emisión para Vehículos Livianos y Medianos" e "Investigación de Factores de Emisión para Vehículos de Carga", ambos desarrollados por la Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, para SECTRA, año 2007.

14 "Actualización de Factores de Emisión para Buses y Transporte de Carga de la Región Metropolitana" y "Generación de Factores de Emisión para Vehículos Livianos, Medianos y Pesados de la Región Metropolitana" ambos desarrollados por la Fundación para la Transferencia Tecnológica de la Universidad de Chile, para CONAMA RM, año 2007 y 2008, respectivamente.

principalmente del COPERT III y de mediciones locales para vehículos livianos y la actualización de estos factores de emisión recomendados por el estudio: "Generación de Factores de Emisión para Vehículos Livianos, Medianos y Pesados de la Región Metropolitana", desarrollado por la Fundación para la Transferencia Tecnológica – UNTEC, para CONAMA RM, durante el año 2008.

- **Emisiones de CO_2 y SO_2**

Para la estimación de las emisiones de CO_2 se utiliza la metodología presentada en COPERT III, la cual básicamente indica que el carbono contenido en el combustible es oxidado principalmente a CO_2, considerando, además, que el carbono es emitido, en menor manera, como CO, COV y material particulado. La siguiente ecuación indica esta forma de estimación.

$$E_{CO_2 j} = 44{,}011 \times \frac{CC_{jm}}{12{,}011 + 1{,}008 \times r_{H:C_m}} - \frac{E_{jm}^{CO}}{28{,}011} - \frac{E_{jm}^{HCT}}{13{,}85} - \frac{E_{jm}^{MP}}{12{,}011} \qquad \textbf{Ecuación 21}$$

Donde,

$E_{CO_2 j}$: Emisiones de CO_2 emitidas por el vehículo tipo j, (ton/año)

CC_{jm} : Consumo de Combustible del vehículo tipo j que utiliza combustible m (ton/año)

E_{jm}^{CO} : Emisiones de CO emitidas por el vehículo tipo j que utiliza combustible m (ton/año)

E_{jm}^{HCT} : Emisiones de HCT emitidas por el vehículo tipo j que utiliza combustible m (ton/año)

E_{jm}^{MP} : Emisiones de MP emitidas por el vehículo tipo j que utiliza combustible m (ton/año)

$r_{H:C_m}$: Relación entre el hidrógeno y carbono existente en el combustible (1,8 para gasolina; 2,0 para diesel)

Respecto a las emisiones de SO_2 se asume que todo el contenido de azufre (S) en el combustible se transforma completamente en SO2. Considerando que el peso atómico del azufre es 32 y el del oxígeno 16, el peso final será entonces el doble que el del azufre, siendo su fórmula de cálculo la siguiente:

$$E_{SO_2 j} = 2 \times CC_{j,m} \times Scomb_m \qquad \textbf{Ecuación 22}$$

Donde,

$E_{SO_2 J}$: Emisiones de SO_2 emitidas por el vehículo tipo j, (ton/año)

$CC_{j,m}$: Consumo de combustible del vehículo tipo j que utiliza combustible m (ton/año)

$Scomb_m$: Contenido de azufre del combustible tipo m (en peso m/m)

- **Factores de Emisiones de Hg**

Los factores utilizados se obtienen del "Instrumental para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de mercurio" (toolkit), Borrador Preliminar, preparado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Ginebra Suiza, noviembre del 2005, última versión disponible a la fecha en la página WEB del PNUMA[15]; en donde se entregan las concentraciones de mercurio en diversos productos refinados del petróleo a partir de la compilación de Wilhelm (2001).

Es importante mencionar que este instrumental corresponde a la primera versión de una publicación preliminar y su objetivo es orientar a los países en la elaboración de inventarios nacionales o regionales de liberaciones de mercurio.

15 http://www.chem.unep.ch/mercury/publications/default.htm

TABLA 64

Concentraciones de mercurio para Diesel y Gasolina

(con base en Wilhelm, 2001)

Tipo	Media (ppb o ug/kg de combustible consumido)	Rango (ppb)	Desviación estándar	Número de muestras	Referencias *1	Notas
Diesel	0.4	0.4	NR	1	Liang et al., 1996	EE.UU.
Gasolina	0.7	0.22-1.43	NR	5	Liang et al., 1996	EE.UU.

Notas: *1 Las referencias corresponden a las citadas en Wilhelm, 2001. NR: no reportado.

La Tabla 70, muestra datos sobre las concentraciones de mercurio en diversos productos refinados del petróleo a partir de la compilación de Wilhelm (2001).

- **Factores de Emisiones de PCDDF/F**

Los combustibles más utilizados para el transporte son la nafta / gasolina, el aceite diesel y el gas licuado de petróleo (GLP). En el Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos del PNUMA, segunda edición del 2005, última versión disponible en la página WEB del PNUMA[16], los factores de emisión se dan para la subcategoría como se muestra en la siguiente tabla, siendo los principios guía el tipo de combustible y el tipo de motor de combustión. Hay un mercado creciente de otros combustibles para los cuales, hasta el momento, no hay mediciones de dioxinas disponibles. Para ubicar las liberaciones de estos combustibles, se proponen las siguientes asignaciones:

– Para automóviles a GLP: tomar el factor de emisión para motores de cuatro tiempos con catalizador (categoría 5a3)

– Para mezclas aceite / gas o nafta / gasolina: deberá ser aplicado el factor de emisión para aceite diesel (categoría 5c)

Posibles vías de liberación al aire, subcategorías de la categoría principal Transporte:

a. Motores de 4 tiempos
b. Motores de 2 tiempos

- **Motores de 4 tiempos**

TABLA 65

Factores de emisión de motores de 4 tiempos

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de combustible quemado
1. Combustible con plomo	2,2
2. Combustible sin plomo, sin catalizador	0,1
3. Combustible sin plomo, con catalizador	0

EQT: Equivalente de toxicidad.

[16] http://www.chem.unep.ch/pops/pcdd_activities/toolkit/default.htm

- **Motores de 2 tiempos**

TABLA 66
Factores de emisión para los motores de 2 tiempos

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de combustible quemado
1. Combustible con plomo	3,5
2. Combustible sin plomo, sin catalizador	2,5

EQT: Equivalente de toxicidad.

- **Motores Diesel**

TABLA 67
Factores de emisión para motores Diesel

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de combustible quemado
1. Motores Diesel	0,1

EQT: Equivalente de toxicidad.

- **Velocidad (v_{kjhd})**

En la metodología actualizada, el modelo de trasporte entregará en forma directa las velocidades en los horarios de modelación para cada arco de la red vial estratégica, entre estas se tiene:

– Velocidad punta y libre obtenida de la corrida punta
– Velocidad fuera de punta
– Velocidad punta tarde

Para el caso de los vehículos livianos lo que se determina es el tiempo de viaje a partir de una función de flujo demora llamada BPR. Posteriormente este tiempo es transformado en velocidad utilizando la longitud de cada arco.

Para el resto de los vehículos de ruta fija la velocidad se obtiene como una fracción de la velocidad de flujo variable para lo cual existe un factor de corrección para cada categoría de arco vial manejada por el modelo de trasporte. No obstante estos valores ya estarán disponibles en los horarios de modelación.

Al igual que en el caso de los flujos vehiculares las velocidades también están disponibles sólo para los horarios de modelación, por tanto se requiere de una metodología para ser utilizada en el resto de los horarios. Para esto se utilizará la última actualización de las funciones BPR (Bureau of Public Roads) y los factores de corrección señalados para ruta fija.

A continuación se describe el modelo de velocidades señalado:

En general, funciones flujo-demora o BPR de la forma siguiente:

$$t_a = t_a^o \left(1 + \alpha_a \left(\frac{\sum_v f_v}{k} \right)^{\beta_a} \right) \qquad \textbf{Ecuación 23}$$

Donde,

t_a : Tiempo de viaje en auto en el arco a (vehículo de flujo variable)

t_a^o : Tiempo de viaje en auto a flujo libre en el arco a

$\sum_v f_v$: Sumatoria del flujo de vehículos (v) que circulan por el arco evaluado, en vehículos equivalentes

k : Capacidad del arco a

α, β : Parámetro entregado por la categoría del arco según el período de modelación

Un aspecto importante a destacar es que la BPR utiliza el flujo equivalente a un vehículo liviano. Es así por ejemplo que el flujo de camiones livianos y medianos tiene un flujo equivalente a 2, es decir, equivale a dos vehículos livianos y por tanto su flujo

se suma al flujo equivalente del arco como flujo real*2 (número equivalente) = flujo equivalente.

En el caso de camiones pesados el número equivalente corresponde a 2,5, en el caso de bus articulado (160 pasajeros), bus de 75 o 90 pasajeros, los números equivalentes corresponden a: 3, 2.5 y 2.5 respectivamente.

Para determinar la velocidad de vehículos de flujo variable a partir de la utilización de la BPR, para los horarios del día distintos a aquellos de la modelación de transporte y distintos a aquellos horarios identificados como flujo libre, se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_a = \frac{Longitud}{t_a}$$ **Ecuación 24**

En donde:

V_a : Velocidad de vehículos de flujo variable para el arco evaluado, obtenido a partir de la BPR.

Longitud : Longitud del arco evaluado.

t_a : Tiempo de viaje en auto (vehículo de flujo variable) para el arco evaluado, obtenido a partir de la BPR.

En general, para determinar la velocidad de los otros modos de transportes de ruta fija, se utilizan factores de corrección, entregados por el modelo de transporte, los cuales se aplican sobre la velocidad de flujo variable según la siguiente ecuación:

$$V_v = \frac{V_a}{Fac_v}$$ **Ecuación 25**

En donde:

V_v : Velocidad del vehículo tipo *v* para el arco evaluado, en donde *v* = taxi colectivo, bus urbano, bus rural e interurbano, camión.

V_a : Velocidad de vehículos de flujo variable para el arco evaluado.

Fac_v : Factor de corrección entregado por la categoría del arco para obtener la velocidad de los vehículos tipo *v*.

Tal como se dijo los factores de corrección de los modos de transporte de ruta fija serán utilizados para corregir la velocidad en los otros períodos del día distintos a la modelación de transporte y distintos periodos de flujo libre.

De esta manera, el cálculo de la velocidad para los tipos de vehículos distintos a vehículos de flujo variable estará dado por la siguiente ecuación:

$$V_{v,BPR} = \frac{V(BPR)}{Fac_v}$$ **Ecuación 26**

Donde:

$V_{v,\,BPR}$: Velocidad de la categoría vehicular v en función de la velocidad de vehículos de flujo variable obtenida a partir de la BPR, con *v* = taxis colectivos, buses urbanos, buses rurales e interurbanos y camiones.

V(BPR) : Velocidad del flujo variable obtenida a partir de la BPR.

Fac_v : Factor de corrección, entregado por la categoría del arco, para obtener la velocidad de los vehículos tipo *v*, con *v* = taxis colectivos, buses urbanos, buses rurales e interurbanos y camiones.

La Tabla 68 entrega un resumen de la aplicación de la metodología de obtención de la velocidad según el período del día.

Cabe mencionar que como las motos no se encuentran modeladas dentro de los modelos de trasporte, éstas se consideran con la misma velocidad de los vehículos de flujo variable.

Otro aspecto importante de mencionar, es que las funciones flujo-demora (BPR que permiten determinar el tiempo de viaje en función del flujo en el arco) tienen restricciones de uso cuando el flujo del arco es mayor a su capacidad. En el caso de ESTRAUS cuando el flujo es mayor al de su capacidad no se utiliza la BPR, en su reemplazo se utiliza una función llamada XSlope. Esta función corresponde a una recta construida a partir de un punto tomado de la función BPR evaluada al flujo de capacidad

TABLA 68

Matriz de visualización de asignación de velocidades según el período del día y tipo de vehículos

(día laboral)

Hora	Variable	BUS_URB	TXC	Camión	BUS_RI
0	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE
1	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE
2	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE
3	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE
4	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE
5	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE
6	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE
7	BPR (am)	Vel bus (BPRam)	Vel txc (BPRam)	Vel cam (BPRam)	Vel ri (BPRam)
8	ESTRAUS^{AM}	ESTRAUS^{AM}	ESTRAUS^{AM}	ESTRAUS^{AM}	ESTRAUS^{AM}
9	BPR (am)	Vel bus (BPRam)	Vel txc (BPRam)	Vel cam (BPRam)	Vel ri (BPRam)
10	ESTRAUS^{FP}	ESTRAUS^{FP}	ESTRAUS^{FP}	ESTRAUS^{FP}	ESTRAUS^{FP}
11	ESTRAUS^{FP}	ESTRAUS^{FP}	ESTRAUS^{FP}	ESTRAUS^{FP}	ESTRAUS^{FP}
12	BPR (fp)	Vel bus (BPRfp)	Vel txc (BPRfp)	Vel cam (BPRfp)	Vel ri (BPRfp)
13	BPR (fp)	Vel bus (BPRfp)	Vel txc (BPRfp)	Vel cam (BPRfp)	Vel ri (BPRfp)
14	BPR (fp)	Vel bus (BPRfp)	Vel txc (BPRfp)	Vel cam (BPRfp)	Vel ri (BPRfp)
15	BPR (fp)	Vel bus (BPRfp)	Vel txc (BPRfp)	Vel cam (BPRfp)	Vel ri (BPRfp)
16	BPR (fp)	Vel bus (BPRfp)	Vel txc (BPRfp)	Vel cam (BPRfp)	Vel ri (BPRfp)
17	BPR (fp)	Vel bus (BPRfp)	Vel txc (BPRfp)	Vel cam (BPRfp)	Vel ri (BPRfp)
18	ESTRAUS^{PT}	ESTRAUS^{PT}	ESTRAUS^{PT}	ESTRAUS^{PT}	ESTRAUS^{PT}
19	BPR (fp)	BPR (fp)	BPR (fp)	BPR (fp)	BPR (fp)
20	BPR (fp)	Vel bus (BPRfp)	Vel txc (BPRfp)	Vel cam (BPRfp)	Vel ri (BPRfp)
21	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE
22	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE
23	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE	VEL_LIBRE

TABLA 69

Ecuaciones asociadas a factores de corrección de vehículos a diesel[17]

Factores de corrección para vehículos diesel
Veh. Pesados a diesel: F_{Corr} = [0,06959 + 0,00006 • DEN + 0,00065 • PAH - 0,00001 • CN] • [1-0,0086 •(450 - S)/100] Veh.
Livianos y pasajeros a diesel: F_{Corr} = [-0,3879873 + 0,0004677 • DEN + 0,0004488 • PAH + 0,0004098 • CN + 0,0000788 • T95] • [1 0,015 •(450 - S)/100]
Donde: DEN = Densidad a 15°C [kg/m3] S = Contenido de Azufre en ppm PAH = Porcentaje de Policíclicos Aromáticos Contenidos CN = Número de Cetano T95 = Temperatura final de destilación en °C

Fuente: Copert III.

máxima del arco, y una pendiente a la que se le denomina XSlope. Pero con respecto a este caso en la metodología de estimación de emisiones de fuentes móviles se acordó por parte de SECTRA, que de existir flujos mayores a la capacidad del arco en este caso el flujo se tomara igual a la capacidad, lo cual implica que no será necesario utilizar la función XSlope en el modelo de emisiones.

Por otra parte, al aplicar la BPR es posible obtener velocidades fuera de los rangos de operación normal del parque vehicular en la ciudad, en este caso se acordó asignar una velocidad mínima de 5 (km/h) y una velocidad máxima de 100 (km/h) y 120 (km/h), en arcos de la red urbana y red interurbana, respectivamente. Por lo tanto, si el valor obtenido a partir de la aplicación de la BPR es menor a 5 (km/h), el modelo debe asignar una velocidad de 5 (km/h) en esa hora para el arco específico. De modo análogo se procederá si la velocidad obtenida supera los 100 (km/h) en un arco de la red urbana y 120 (km/h) en arcos de la red interurbana.

Finalmente, en el caso de corredores segregados el modelo de trasporte entrega la velocidad en forma directa y este valor se asume constante durante todo el día.

- **Factor de corrección por composición del combustible ($FCCk_{ka}$)**

En base a las metodologías de corrección de factores de emisión indicadas en COPERT III, es factible hacer correcciones a los factores de material particulado, NOx, CO y COV de acuerdo a las mejoras en la composición de los combustibles, mediante la siguiente ecuación:

$$FE_{Corr} = (F'_{Corr} / F_{Corr)} \times FE \qquad \textbf{Ecuación 27}$$

En donde,

FE_{Corr} : Factor de emisión corregido
F'_{Corr} : Factor de corrección de vehículos diesel asociado a mejora de combustibles
F_{Corr} : Factor de corrección base de vehículos diesel
FE : Factor de emisión original

Las ecuaciones de factores de corrección en base a los parámetros asociadas a las características de los combustibles se diferencian en vehículos pesados a

17 Ecuaciones ocupadas para F_{Corr} y F'_{Corr}

diesel y vehículos livianos a diesel, cuyas ecuaciones se muestran en la Tabla 75. Estas ecuaciones fueron utilizadas para corregir los factores de emisión utilizados en el RETC.

A modo de ejemplo la siguiente tabla muestra los parámetros de los combustibles que regirán para el escenario 2010[18] en la Región Metropolitana, cuya composición, particularmente en lo que se refiere al contenido de azufre disminuido, aportará a reducir las emisiones de material particulado, así como también las emisiones de SO_2.

TABLA 70
Parámetros de combustibles

Propiedad	1996 Base Fuel (market average)	Fuel 2010 Regiones*
Cetane Number [-]	51	50
Density at 15oC [kg/m3]	840	840
T95 [ºC]	350	338
PAH [%]	9	11
Sulphur [ppm]	400	50
Total Aromatics [%]	28	35

* Diario Oficial, martes 17 de enero de 2006. Establece Especificaciones de Calidad de Combustibles, Artículo 1º.

Finalmente, luego de aplicar los valores en las ecuaciones anteriores, se obtiene un factor de corrección de 0,9794 para vehículos pesados a diesel y 0,9395 para vehículos livianos.

- **Factor de corrección por deterioro ($FCDk_{ka}$)**

Tal como se dijo, los factores de emisión utilizados en Chile para la generación de inventarios de vehículos son emisiones unitarias generalmente expresadas en gramos de contaminante arrojados por el tubo de escape por cada kilómetro recorrido por el vehículo. Estos factores de emisión utilizados en los inventarios nacionales, en su mayoría, corresponden a aquellos tomados de la literatura europea y no necesariamente coinciden con nuestra realidad, por lo que existe una alta probabilidad de estar subestimados. Se suma el hecho de que los valores nacionales han sido desarrollados con muestras de vehículos que pertenecen al parque de la Región Metropolitana, donde históricamente ha existido un grave problema de contaminación atmosférica, que ha redundado en que las campañas de fiscalización y plantas de revisión técnica han sido más rigurosas que en otras regiones haciendo del parque de la Región Metropolitana un parque mejor cuidado y con menos emisiones contaminantes en promedio que el que pudiera existir en otras regiones del país.

Es claro que las emisiones vehiculares varían considerablemente de un vehículo a otro o de un instante a otro dependiendo de innumerables factores como pueden ser estado de mantención, tecnología del vehículo, hábitos de conducción, condiciones ambientales, carga, etc. Lo anterior también plantea la necesidad y el desafío de que en el futuro se puedan distinguir diferencias entre ciudades.

Dentro de estas consideraciones, un tema relevante se refiere al incremento en emisiones vehiculares producto del deterioro. Al respecto, dentro del estudio ejecutado por DICTUC S.A. para CONAMA RM denominado "Evaluación de Nuevas Medidas de Control de Emisiones para el Sector Transporte en la Región Metropolitana" se efectuó una revisión de estudios relacionados a factores de deterioro a nivel nacional[19] e internacional. El estudio concluyó mediante un seguimiento de vehículos específicos

[18] Los factores de emisión que son utilizados en el escenario 2005 ya fueron modificados en el marco del estudio de Inventario de Emisiones de CONAMA.

[19] Experimental analysis of emission deterioration factors for light duty catalytic vehicles. Case study: Santiago, Chile", 2003, Roberto M. Corvalán, David Vargas, Universidad de Chile.

dentro de una muestra utilizando la placa patente, a partir de los resultados obtenidos en las mediciones efectuadas en plantas de revisión técnica de la Región Metropolitana para los últimos 10 años, que es posible obtener indicadores de la evolución del deterioro del vehículo desde el punto de vista de sus emisiones y obtener de esta forma porcentajes promedio de deterioro anual para CO y HC por tipo de vehículo.

Además de la información de las mediciones efectuadas en las plantas de revisión técnicas se utilizó información de mediciones hechas en el 3CV desde el año 1997 a la fecha para vehículos nuevos. A partir de estas revisiones, dentro de dicho estudio se obtuvieron factores de deterioro para vehículos gasolineros con y sin convertidor catalítico y vehículos diesel para emisiones de CO, NOX y HCT.

Para el deterioro en la metodología de estimación de emisiones se dispone de dos fuentes: COPERT 4 (Samaras, Ntziachristosa et al., 2008) y (DICTUC, 2007). La inclusión de los valores de DICTUC (2007) obedece a dos razones importantes:

- Copert 4 no posee valores para vehículos pesados por lo que se utilizaron los valores de DICTUC (2007) para este tipo de vehículo
- Copert 4 estima que por sobre los 120.000 km recorridos el deterioro se estabiliza, lo que no permite una discriminación entre los vehículos de mayor kilometraje. Por eso se recomienda incluir un deterioro sobre este valor (120.000 km) según lo estimado por DICTUC (2007) para vehículos livianos.

COPERT 4

(Samaras, Ntziachristosa et al., 2008) recomiendan la utilización de curvas de deterioro de los vehículos en función del kilometraje recorrido estimadas para dos ciclos de conducción diferentes (UDC [19 km/hr] y UEDC [63 km/hr]). La forma funcional de la curva sugerida es la siguiente:

$$MC_{c,i} = A_M * M_{mean} + B_M \qquad \textbf{Ecuación 28}$$

Donde;

$MC_{c,i}$: Factor de corrección por deterioro según kilometraje recorrido, contaminante i y ciclo de conducción C

M_{mean} : Kilometraje promedio de la flota para el que fue estimado el FE original de COPERT 4

A_M y B_M : Parámetros estimados

El parámetro A_M corresponde a la degradación del vehículo por kilómetro recorrido y el parámetro B_M corresponde a la corrección de los FE de COPERT 4 a 0 km recorridos con el objetivo de reflejar las emisiones de vehículos nuevos. Naturalmente, se espera que B_M sea menor que 1 ya que los FE estimados por COPERT representan un parque vehicular promedio con entre 30.000 y 50.000 km ya recorridos, y por ende los vehículos nuevos emitan menos que los incluidos en la muestra de (Samaras, Ntziachristosa et al., 2008).

Para aplicar los factores de corrección se recomienda utilizar velocidades promedio de circulación promedio de los vehículos en una ciudad (esto puede ser obtenido de la misma metodología de velocidades) interpolando el valor obtenido a partir de las estimaciones realizadas en los dos distintos ciclos de conducción considerados (Ciclo de conducción European UDC y Ciclo de conducción European EUDC).

Los vehículos incluidos en la muestra utilizada en Samaras, Ntziachristosa et al., (2008) tienden a estabilizar sus emisiones por encima de 120.000 kilómetros recorridos, por lo que para kilómetros recorridos superiores a este valor se recomienda utilizar los factores de deterioro estimados en DICTUC (2007).

A continuación se entregan los parámetros de Copert 4 para la aplicación de la metodología.

TABLA 71

Deterioro para vehículos livianos Euro I y Euro II por contaminante y ciclo de conducción

Parámetro	Cilindrada	Kilometraje medio [km]	AM	BM*	Valor a >120000 km
Corrección para Velocidad < 19 km/h (CKMUDC)					
CO	<1,4	29.057	1,5E-05	0,557	2,39
	1,4-2,0	39.837	1,1E-05	0,543	1,92
	>2,0	47.028	9,2E-06	0,565	1,67
NOX	ALL	44.931	1,6E-05	0,282	2,2
HC	<1,4	29.057	1,2E-05	0,647	2,1
	1,4-2,0	39.837	1,2E-05	0,509	1,99
	>2,0	47.028	1,2E-05	0,432	1,88
Corrección para Velocidad > 63 km/h (CKmEUDC)					
CO	<1,4	29.057	1,7E-05	0,509	2,54
	1,4-2,0	39.837	9,6E-06	0,617	1,77
	>2,0	47.028	2,7E-06	0,873	1,2
NOX	ALL	47.186	1,2E-05	0,424	1,89
HC	<1,4	29.057	6,6E-06	0,809	1,6
	1,4-2,0	39.837	9,8E-06	0,609	1,79
	>2,0	47.028	6,2E-06	0,707	1,45

* Valor a 0 km.
** Ciclo de conducción: European UDC.
*** Ciclo de conducción: European EUDC.

Fuente: Samaras, Ntziachristosa et al., (2008).

TABLA 72

Deterioro para vehículos livianos Euro III y Euro IV por contaminante y ciclo de conducción

Parámetro	Cilindrada	Kilometraje medio [km]	AM	BM*	Kilometraje de estabilización
Corrección para Velocidad < 19 km/h (CKMUDC)					
CO	<1,4	1,15E-05	0,557	1,93	159.488
	1,4-2,0	8,35E-06	0,543	1,54	165.085
	>2,0	6,41E-06	0,565	1,33	173.001
NOX	ALL	1,30E-05	0,282	1,84	148.071
HC	<1,4	8,87E-06	0,647	1,71	164.278
	1,4-2,0	9,33E-06	0,509	1,63	158.456
	>2,0	9,30E-06	0,432	1,55	155.881
Corrección para Velocidad > 63 km/h (CKmEUDC)					
CO	<1,4	1,30E-05	0,509	2,07	156.273
	1,4-2,0	6,59E-06	0,617	1,41	174.868
	>2,0	1,82E-07	0,873	0,89	179.775
NOX	ALL	9,42E-06	0,424	1,55	155.436
HC	<1,4	3,77E-06	0,809	1,26	209.152
	1,4-2,0	6,98E-06	0,609	1,45	168.823
	>2,0	3,70E-06	0,707	1,15	201.667

*Valor a 0 km.
** Ciclo de conducción: European UDC.
*** Ciclo de conducción: European EUDC.

Fuente: Samaras, Ntziachristosa et al., (2008).

DICTUC 2007

Las siguientes tablas presentan los valores de deterioro utilizados en (DICTUC 2007) para vehículos livianos y camiones.

TABLA 73

Deterioro anual (porcentaje por año) para vehículos livianos

Combustible	Categoría	Sello	CO	CO_2	COV	NH_3	NOX	PM_{25}	SOX
Diesel	Particular	Con sello verde	6	4	3	3	3	6	3
		Sin sello verde	3	3	6	1	6	3	10
	Comercial	Con sello verde	6	4	4	3	3	1	3
		Sin sello verde	3	3	6	1	6	3	10
Gasolina	Particular	Con sello verde	8	3	6	1	6	3	2
		Sin sello verde	3	8	3	10	10	3	2
	Comercial	Con sello verde	3	3	3	1	2	3	2
		Sin sello verde	3	3	8	10	10	1	2

Fuente: (DICTUC, 2007).

TABLA 74

Deterioro anual (porcentaje por año) para camiones

Sello	Categoría	CO	CO_2	COV	NH_3	NOX	PM25	SOX
Con sello verde (posteriores a 1993)	Liviano	6	4	3	3	3	6	3
	Mediano	6	4	4	3	3	1	3
	Pesado	6	4	3	3	3	1	3
Sin sello verde (anteriores a 1993)	Liviano	3	3	6	1	6	3	10
	Mediano	3	3	6	1	6	3	10
	Pesado	3	3	6	1	6	3	10

Fuente: (DICTUC, 2007).

Metodología de cálculo de emisiones por partidas en frío Copert 3

Las emisiones por partidas en frío se asocian a las emisiones producidas en aquella porción del viaje de un vehículo en la cual la conducción se realiza en condiciones de temperatura de motor inferiores a las normales de diseño. Estas emisiones se destacan aun más cuando se estiman emisiones en ciudades donde el largo del viaje promedio es corto y las temperaturas son bajas.

La metodología de cálculo para este tipo de emisiones se basa en la fórmula genérica mostrada a continuación:

$$E_{i,j,k,m} = E_{cal,\,ijkm} * (e_{frío}/e_{cal})_{jk} * (T_m) * F_{viaje}(T_m, LV_k)$$ **Ecuación 29**

Donde,

E_{ijkm} : Emisión de la comuna *i*, para el contaminante *j*, para la categoría de vehículo *k*, para el mes *m*, en Ton del contaminante/mes

$E_{cal,\,ijkm}$: Emisiones calculadas con la metodología de arcos (emisiones en caliente) para la comuna i, contaminante j, vehículo k, en el mes m, en Ton/mes

$(e_{frío}/e_{cal})_{jk}^{*}$: Razón de emisiones entre motor frío y motor caliente para el contaminante *j* y vehículo *k* (adimensional).

$^{*}F_{viaje}$: Fracción de un viaje efectuado por un vehículo con el motor en frío dependiente de T_m y L_v

T_m : Temperatura promedio del mes *m*

LV_k : Largo de un viaje promedio para un vehículo de categoría *k*

La ecuación anterior calcula las emisiones en frío asociadas al tramo en que el vehículo transita con el motor frío. La ecuación siguiente muestra el cálculo de las emisiones en caliente que habían sido calculadas para el tramo frío. Por lo tanto, éstas tendrán que ser restadas en el sistema de las calientes originales calculadas en la metodología antes que se incorporaren este tipo de emisiones.

$$E_{ijkm} = E_{cal,ijkm} \times F_{viaje}(T_m, LV_k)$$ **Ecuación 30**

Donde,

E_{ijkm} : Emisión de la comuna i, para el contaminante j, para la categoría de vehículo k, para el mes m, en Ton del contaminante/mes.

$E_{cal,\,ijkm}$: Emisiones calculadas con la metodología de arcos (emisiones en caliente) para la comuna i, contaminante j, vehículo k, en el mes m, en Ton/mes.

F_{viaje} : Fracción de un viaje efectuado por un vehículo con el motor en frío dependiente de Tm y LV.

T_m : Temperatura promedio del mes m.

LV_k : Largo de un viaje promedio para un vehículo de categoría k.

En las ecuaciones anteriores se hace referencia a dos parámetros importantes. Uno de ellos es la relación "$e_{frío}/e_{cal}$", correspondiente a la razón de emisiones en frío sobre las de tipo caliente. Este factor se aplica a la fracción del viaje en frío y depende de la temperatura ambiental, rangos de velocidad y del contaminante considerado. Las expresiones utilizadas para el cálculo de esta razón se muestran en la Tabla 81. El otro parámetro importante corresponde al "F_{viaje}" o fracción del viaje que se considera realizada en frío. Este depende de la temperatura y del modo de conducción, en particular del largo del viaje promedio asignado y está dado por la siguiente ecuación:

$$F_{viaje} = 0.6474 - 0.02545 * LV_k - (0.00975 - 0.000384 * LV_k) * T_m$$ **Ecuación 31**

Donde,

F_{viaje} : Fracción de un viaje efectuado por un vehículo con el motor en frío dependiente de T_m y LV_k.

LV_k : Largo de un viaje promedio para un vehículo de categoría *k*.

T_m : Temperatura promedio del mes *m*.

TABLA 75

Razón de Emisión $e_{frío}/e_{cal}$ por partidas en frío

Vehículos livianos de pasajeros a gasolina convencionales	Temperatura (ºC)	$e_{frío} / e_{cal}$
CO	–10 : 30	3,7 – 0,09 * ta
NO_x	–10 : 30	1,14 – 0,006 * ta
HCT	–10 : 30	2,8 – 0,06 *ta

Vehículos livianos de pasajeros a gasolina Euro I	Velocidad (km/hr)	T (ºC)	$e_{frío} / e_{cal}$ = AxV + BxTº + C		
			A	B	C
CO	5–25	–20 : 15	0.121	–0.146	3.766
	26–45	–20 : 15	0.299	–0.286	–0.58
	5–45	>15	0.0503	–0.363	8.604
NO_x	5–25	>–20	0.0458	0.00747	0.764
	26–45	>–20	0.0484	0.028	0.685
HCT	5–25	–20 : 15	0.0157	–0.207	7.009
	26–45	–20 : 15	0.282	–0.338	4.098
	5–45	>15	0.0476	–0.477	13.44

Fuente.: COPERT III[20], 2001.
t_a : temperatura ambiente.

Metodología de cálculo de emisiones evaporativas por pérdidas durante el recorrido Copert III

En el caso de las running losses, por tratarse de pérdidas durante el recorrido del vehículo, es decir, en el trayecto recorrido sobre los arcos de la red vial, éstas se incluyen como cualquier otro contaminante en el cálculo de las emisiones totales, por lo que se consideran como emisiones de arco, es decir, bajo la metodología denominada tipo arco. Esta metodología hace diferencia según el grado de temperatura del motor, es decir, se denomina "hot running losses" cuando la temperatura del agua refrigerante del motor se encuentra sobre los 70°C y "warm running losses" cuando se encuentra por debajo de este valor. La expresión genérica para el cálculo por arco es:

[20] Computer programme to calculate emissions from road transport, Methodology and emission factors (Version 2.1), 2001.

$$E_{evap}RL_{kj} = \Sigma\ (\ FE_{evap}RL_k \cdot F_{kj}\ x\ L_j) \qquad \textbf{Ecuación 32}$$

Donde:

$E_{evap}RL_{kj}$: Emisiones evaporativas totales debidas al recorrido diario (running losses) de la categoría *k* por arco de la red vial *j* [gr/hr].

$FE_{evap}RL_k$: Factor de emisión para emisiones evaporativas debidas al recorrido diario (hot running losses o warm running losses según corresponda) de la categoría *k* en estudio [gr/km].

F_{kj} : Flujo de vehículos de la categoría *k* en el arco *j* evaluado.

L_j : Longitud del arco *j* [km].

La Tabla 77 entrega los factores de emisión para emisiones evaporativas por pérdidas durante el recorrido diario.

Metodología de cálculo de emisiones evaporativas durante el día (diurnal) Copert III

Las emisiones evaporativas durante el día (diurna), se asocian a las variaciones de temperatura naturales que se presentan durante el día. La expresión de cálculo de emisiones totales diarias se presenta en la Ecuación 33:

$$EevapD_k = Nv_k \cdot FEevapD_k \qquad \textbf{Ecuación 33}$$

Donde,

$EevapD_k$: Emisiones evaporativas totales debidas a las variaciones naturales de temperatura (diurna) de la categoría k, en el área de estudio [gr/día].

Nv_k : Número de vehículos de la categoría k en el área de estudio.

$FEevapD_k$: Factor de emisión para emisiones diarias debidas a cambios en la temperatura ambiente (diurnal) correspondiente a la categoría k [gr/día].

El número de vehículos Nv_k se obtiene a partir de la información proveniente de INE (permisos de circulación) para el año en evaluación. Además, con el fin de redistribuir de una manera más representativa el parque en la ciudad durante el día, y estimar qué fracción de los vehículos realmente se mantiene en su sector de origen y cuáles salen o entran, se utiliza la información de matrices de viajes de transporte privado, por sectores EOD, de los estudios de Diagnóstico del Sistema de Transporte Urbano efectuados por SECTRA en distintas ciudades del país.

La Tabla 78 entrega los factores de emisión para emisiones evaporativas durante el día.

TABLA 76

Factores de emisión de evaporativas durante el recorrido

Factor de emisión	Unidades	Vehículos no controlados (sin dispositivo canister)	Vehículos controlados (dotados con canister)
Emisiones por pérdidas durante el recorrido con Tº motor < 70ºC. (Warm Running losses)	[gr/km]	0,1 * exp(-5,967 + 0,04259 * RVP + 0,1773 * t_a)	0,1 * (no controlado)
Emisiones por pérdidas durante el recorrido con Tº motor ≥ 70ºC. (Hot Running losses)	[gr/km]	0,136 * exp(-5,967 + 0,04259 * RVP + 0,1773 * t_a)	0,1 * (no controlado)

TABLA 77
Factores de emisión de evaporativas durante el día

Factor de emisión	Unidades	Vehículos no controlados (sin dispositivo canister)	Vehículos controlados (dotados con canister)
Emisiones durante el día (Diurnal)	[gr/día]	9,1 * exp(0,0158 * (RVP - 61,2) + 0,0574* (t_{min} - 22,5) + 0,0614 * (t_{inc}-11,7))	0,2 * (no controlado)

Metodología de cálculo de emisiones evaporativas por detenciones en caliente (hot snack) COPERT III

Las emisiones por detenciones en caliente (hot soak) se originan cuando el motor del vehículo es apagado (posterior a haber efectuado un recorrido), en donde el calor remanente calienta las líneas de combustible que ya no está fluyendo produciendo emisiones evaporativas. Estas emisiones pueden dividirse en "hot soak" cuando la temperatura del agua de refrigeración del motor al ser apagado está por sobre los 70 °C y en "warm soak" cuando la temperatura es menor a 70 °C.

Al igual que para las emisiones durante el día, para las detenciones en caliente se considera la población de vehículos de acuerdo a la información base INE y a la distribución de la EOD.

La expresión de cálculo de emisiones totales diarias se presenta a continuación:

$$EevapHS_k = Nv_k \bullet Nvd_k \bullet FEevapHS_k \qquad \textbf{Ecuación 34}$$

Donde,

$EevapHS_k$: Emisiones evaporativas totales debidas a las detenciones en caliente (hot o warm soak según corresponda) de la categoría k, en el área de estudio expresadas en [gr/día].

Nv_k : Número de vehículos de la categoría k en el área de estudio.

Nvd_k : Número de viajes diarios promedio realizado por la categoría k.

$FEevapHS_k$: Factor de emisión para emisiones provenientes de las detenciones en caliente (hot o warm soak) de la categoría k [gr/detención].

La Tabla 78 entrega los factores de emisión para emisiones evaporativas por detenciones en caliente.

Metodología de cálculo de emisiones proveniente del desgaste de frenos y neumáticos CORINAIR COPERT IV-Simplificada

La metodología base de estimación de emisiones corresponde a:

$$Ed = \Sigma k\ NA_k\ x\ FE_{d,k} \qquad \textbf{Ecuación 35}$$

Donde,

E_d : Emisiones [gr] de material particulado provenientes de la descarga d

NA_k : Nivel de actividad de la categoría vehicular k [km]

$FE_{d,k}$: Factor de emisión de material particulado para la categoría vehicular k y tipo de descarga d [gr/km]

Σk : Categorías vehiculares (vehículos livianos, buses, camiones, motos)

Los factores de emisión se presentan en la Tabla 80:

TABLA 78

Factores de emisiones evaporativas por detenciones en caliente

Factor de emisión	Unidades	Vehículos no controlados (sin dispositivo canister)	Vehículos controlados (dotados con canister)
Emisiones por detenciones en caliente, con Tº motor < 70ºC. (Warm soak)	[gr/detención]	exp (-1,644 + 0,01993 * RVP + 0,07521)	0,2 * exp (-2,41 + 0,02302 *RVP + 0,09408 ta)
Emisiones por detenciones en caliente, con Tº motor ≥ 70ºC. (Hot soak)	[gr/detención]	3,0042 * exp(0,02 * RVP)	0,3 * exp(-2,41 + 0,02302 * RVP + 0,09408 * t_a)
Hot soak y Warm soak (vehículos con inyección de combustible)	[gr/detención]	0,7	No aplicable

TABLA 79

Factores de emisión de material particulado de descargas por desgaste de frenos, neumáticos y de superficie, según Metodología Simplificada de COPERT IV

Categoría Vehicular	Desgaste de Neumáticos (g/km)	Desgaste de Frenos (g/km)	Desgaste de superficie (g/km)
Motocicletas	0,0028	0,0037	0,0030
Autos Livianos	0,0064	0,0073	0,0075
Camiones Livianos	0,0101	0,0115	0,0075
Camiones Pesados y Buses	0,0270	0,0320	0,0380

Metodología de cálculo de emisiones de polvo resuspendido desde calles pavimentadas AP-42 EPA

La metodología de estimación de emisiones de polvo resuspendido proviene de la última actualización del AP-42 de la EPA, año 2006.

A continuación se describe 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.

$$Epa = Ed(1 - P/4N)$$

$$con\ Ed = e*F*L$$

Ecuación 36

Donde:

Epa : Tasa de emisión anual (o del período bajo estudio) de partículas para el tramo de calle pavimentada [g/año].

Ed : Tasa de emisión diaria de partículas para el tramo de calle pavimentada [g/día].

P : Días con precipitaciones mayores de 0.254 mm. durante el periodo considerado.

N : Número de días del periodo de estudio (365 en el caso anual).

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

e : Factor de emisión de partículas por calles [g vehículo-km].

F : Flujo vehicular diario [vehículos/día].

L : Longitud del tramo [km].

Los factores de emisión de polvo desde calles pavimentadas corresponden a la última versión (año 2006) del AP-42 de la EPA relativo a fuentes misceláneas de emisiones de polvo fugitivo desde calles pavimentadas[21]. El factor de emisión se puede obtener de la siguiente forma:

$$e = k\left(\frac{Sp}{2}\right)^{0,65}\left(\frac{W}{3}\right)^{1,5} - C$$

Ecuación 37

Donde,

C Comisión de polvo fugitivo.

Sp : Contenido de material fino, fracción de polvo de diámetro ≤ 75 micrones [g/m^2].

k : Constante, depende del tamaño de partícula a considerar [gr/VKT].

W : Peso promedio de la categoría de vehículo en movimiento [ton].

C : Factor de emisión de ajuste, asociado a emisiones de escape y desgaste de frenos y neumáticos.

El valor de la constante *k* varía según el tamaño de partícula como se indica en la siguiente tabla:

TABLA 80
Valores de k, según tamaño de partícula

Tamaño de partícula	Valores de k en [gr/VKT].
PM 2.5	1.1
PM 10	4.6
PM 15	5.5
PM 30*	24

Fuente: AP42.
* Se asocia a PTS.

Respecto a la carga de sedimentos de material fino de la superficie del camino, la tabla siguiente entrega los valores por defecto del AP-42 Capítulo 13, Cuadro 13.2.1-3.

TABLA 81
Carga de finos

Flujo vehicular (v/día)	≤ 500	> 500 ≤ 10.000	> 10.000
Carga de finos (g/m^2)	0,6	0,11*	0,03

Fuente: AP42.
* En AP-42 se encuentra separado en flujos entre 500-5000 y 5000-10000, con valores de 0,2 y 0,06 respectivamente.

Respecto a la Región Metropolitana la carga de sedimentos de material fino que debe ser utilizada se entrega en la siguiente tabla:

TABLA 82
Carga de finos en calles pavimentadas

Flujo (v/día)	Carga de finos (g/m^2)
≤ 500	4,2
> 500 ≤10000	0,96
> 10000	0,18

Fuente: INTEC.

[21] http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201.pdf

El valor de W será obtenido de valores promedio utilizados para vehículos en movimiento. La siguiente tabla entrega estos valores:

TABLA 89
Peso de vehículos

Tipo de vehículo	Peso (ton)
Vehículos Particulares	1,2
Vehículos Comerciales	2
Motos	0,2
Buses	17,2
Camiones Livianos	7,5
Camiones Medianos Diesel	12
Camiones Pesados	45

Fuente: Inventario de emisiones RM 2005, DICTUC.

2.2. Metodología para ciudades que no cuentan con modelo de transporte

Actualmente existen modelaciones de transporte y estimación de emisiones de fuentes móviles realizadas por SECTRA para 17 ciudades del país: Arica, Iquique, Antofagasta, Calama, Copiapó, La Serena, Valparaíso, Santiago, Rancagua, Talca, Concepción, Chillán, Temuco, Valdivia, Osorno, Los Ángeles y Puerto Montt. Adicionalmente existen estimaciones de emisiones en otras ciudades sin modelos de transporte en donde se ha generado información equivalente a la requerida por la metodología, lo cual ha permitido utilizar la misma metodología de estimación de emisiones (bottom Up) que la utilizada en las ciudades que cuentan con modelo. En este caso están los inventarios de Tocopilla, Ventanas y San Fernando, no obstante, estas metodologías requieren de la existencia de modelos de transportes operacionales como Saturno[22], como en el caso de San Fernando, o bien la obtención de datos a partir de campañas de conteos vehiculares y medición de velocidades, lo cual hace costosa la implementación de estas metodologías.

En el marco de los estudios:

- "Mejoramiento y desarrollo de inventario de emisiones atmosféricas (2ª parte)". Desarrollado por AMBIOSIS S.A. para CONAMA (2008-2009).
- "Diseño de una metodología que permita el cálculo de emisiones con un método alternativo a los modelos de transporte y calcular emisiones de fuentes móviles en formatos requeridos por el RETC" Desarrollado por AMBIOSIS S.A. para CONAMA (2009).

Se desarrolló una metodología TOP down que permite estimar emisiones en ciudades que no cuentan con modelo de transporte de manera sencilla y a bajo costo mediante la utilización de información estadística disponible, entre las que se encuentran:

- Base de datos de permisos de circulación del INE a nivel comunal.

22 MODELO SATURNO PARA ASIGNACIÓN Y SIMULACIÓN DE TRÁFICO EN REDES URBANAS:
En la planificación de transporte son conocidas las consecuencias del cambio de la demanda o de la oferta de viajes en términos del rendimiento del sistema de transporte. Los modelos de transporte han sido desarrollados para poder asimilar los potenciales cambios y sus interacciones y así evitar que las decisiones sean tomadas de manera intuitiva.
Sin embargo, no existe un único modelo, porque dependiendo de la magnitud del problema de transporte a modelar puede que el modelo sobrepase sus capacidades de modelación. Así, para determinar el modelo a utilizar es que se han seguido ciertas reglas que tienen como variables determinantes el número de intersecciones y el nivel de detalle de la modelación. El programa SATURNO cae dentro de los llamados modelos tácticos. Estos son caracterizados por redes "pequeñas" de entre 50 y 150 intersecciones y que requieren un detallado análisis de la codificación de ellas.
Para el caso de redes de transporte urbano existe el modelo llamado Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks, de ahora en adelante SATURNO, el cual trata de reflejar un conjunto de vías y el comportamiento de los vehículos que las ocupan. Para SATURNO los datos para poder modelar consisten en una red de arcos y una matriz de viajes y posiblemente algunos conteos de vehículos. Asimismo SATURN cuenta con un conjunto de programas interrelacionados y programas individuales que presentan funciones específicas dentro del modelo. Estos son los llamados submodelos, e.g el submodelo de asignación.

– Base de datos de revisiones técnicas proveniente del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.
– Información del parque vehicular de INE a nivel comunal.
– Resultados de emisiones, kilómetros-vehículos y horas-vehículos provenientes de la aplicación de la metodología para ciudades con modelo de transporte, como base para obtener los niveles de actividad (kilómetros recorridos y velocidades promedio) para el caso emisiones tipo arco y emisiones promedio por vehículo en el caso de emisiones tipo zona.

Metodología de estimación de emisiones del tipo arco

La forma de obtención de las emisiones presenta la misma manera de calcular las emisiones que la metodología de ciudades que tienen modelo de transporte, es decir, multiplicar los kilómetros recorridos por un factor de emisión. La diferencia fundamental radica en la forma de estimar el nivel de actividad y en la utilización de un factor de emisión promedio.

La emisión total queda determinada por la siguiente ecuación.

$$E_{cp} = \sum_i \sum_k FE(v_{ip})_{ck} * PV_i * C_{ik} * KR_{ip} \qquad \textbf{Ecuación 38}$$

Donde:

E_{cp} : Emisión total del contaminante "c" para una ciudad de tamaño de parque vehicular "p".

$FE(v_{ip})_{ck}$: Factor de emisión para el contaminante "c" del vehículo "k" evaluada a una velocidad "v" promedio característica por tipo de vehículo "i" para una ciudad de tamaño del parque vehicular "p". Esta velocidad es obtenida a partir de ciudades que cuentan con modelo de transporte.

PV_i : Parque de vehículos tipo "i" las que pueden ser obtenidas directamente a partir de agrupaciones del parque vehicular del INE.

C_{ik} : Composiciones vehiculares específicas de la ciudad en estudio, para trasformar vehículos tipos "i" en vehículos tipo "k" compatibles con los factores de emisión de las ciudades que cuentan con modelo de transporte.

KR_{ip} : Kilómetros promedios recorridos por el tipo de vehículo "i" para una ciudad de tamaño de parque "p".

$\sum_i$: Sumatoria con respecto a los tipos de vehículos "i"

$\sum_k$: Sumatoria con respecto a los tipos de vehículos "k"

A continuación se describe cada uno de los elementos de la metodología presentada:

- **Factor de emisión ($FE(VIP)_{ck}$)**

Estos factores de emisión son los mismos que los utilizados en ciudades con modelo de trasporte para tipo arco evaluadas a las velocidades promedios según el tamaño del parque de la ciudad en estudio y el tipo de vehículo "i".

- **Composiciones vehiculares (C_{ik})**

En la Tabla 84 se indica la forma de agrupar las categorías vehiculares de las estadísticas de parque vehicular del INE en categorías "i".

Una vez obtenidas estas categorías mediante el procesamiento de información provenientes de plantas de revisión técnica y permisos de circulación fue posible determinar las composiciones de categorías i en categorías k utilizando los criterios del Anexo.

TABLA 84

Equivalencia entre categorías INE para parque vehicular y las categorías i de la metodología top down

Categoría i	Categoría INE
Particulares	"Automóvil y Station wagon"
Comerciales	"Jeep", "Furgón", "Minibús", "Camioneta", "Minibús, furgón escolar y trabajadores" y "Minibús, transporte colectivo"
Motos	"Motocicleta y similares"
Bus	"Bus Articulado", "Bus, transporte colectivo" y "Bus, transporte escolar y trabajadores"
Camión liviano–Mediano	"Camión simple"
Camión Pesado	"Tracto camión"
Taxi - Taxi Colectivo	"Taxi básico", "Taxi colectivo" y "Taxi turismo"

Fuente: estudios CONAMA 2009, AMBIOSIS S.A.

- **Kilómetros promedios recorridos KR_{ip} y velocidad promedio vip**

En general los kilómetros promedios y velocidades promedio son obtenidos a partir de ciudades que cuentan con modelo de transporte y estas se agrupan según el tamaño del parque vehicular y se promedian.

En las tablas 85 y 86 se entregan los valores kilómetros y velocidades promedio obtenidos a partir de los inventarios 2007 desarrollado en el marco del RETC para las 17 ciudades con modelo de trasporte.

Metodologías de estimación de emisiones del tipo zona

Para el caso de correcciones por partidas en frío y emisiones evaporativas, en general las ecuaciones dependen de un número mayor de parámetros que las emisiones tipo arco. Por tanto, en este caso la metodología utilizada en los estudios CONAMA 2009 es equivalente a la presentada en la Ecuación 38, pero en este caso a partir de las 17 ciudades que cuentan con modelo de transporte se determinan para cada categoría vehicular tipo i emisiones promedio según el tamaño del parque de la zona en estudio "p".

Para la obtención de un factor de emisión promedio se utiliza la siguiente ecuación:

$$FE_{ciz} = \frac{E_{ciz}}{P_{iz}} \qquad \textbf{Ecuación 39}$$

En donde:

FE_{ciz} : Factor de emisión promedio (en ton/año) para el contaminante c, de un vehículo tipo i, en la ciudad z.

E_{ciz} : Emisión promedio (en ton/año) para el contaminante c, de un vehículo tipo i, en la ciudad z.

P_{iz} : Parque para el tipo de vehículo i en la ciudad z.

Para la determinación de E_{ciz} los vehículos de categoría k de las ciudades con modelo de transporte deben ser agrupadas en categorías "i" según Tabla 85.

TABLA 85

Valores de kilómetros promedios y velocidades promedio, obtenidas para el año 2007 en ciudades con modelo de trasporte y parque vehicular menor o igual a 25.000 vehículos

Tamaño del parque de la ciudad: "p"	Tipo Vehículo: "i"	Kilómetros/Vehículo	Velocidad Promedio
<= 25.000	Bus	30212	20
<= 25.000	Camión Liviano - Mediano	3789	31
<= 25.000	Camión Pesado	24445	35
<= 25.000	Comerciales	7990	36
<= 25.000	Motos	1796	35
<= 25.000	Particulares	5592	35
<= 25.000	taxi - taxi colectivo	31677	27

Fuente: estudios CONAMA 2009, AMBIOSIS S.A.

TABLA 86

Valores de kilómetros promedios y velocidades promedio, obtenidas para el año 2007 en ciudades con modelo de modelo de trasporte y parque vehicular mayor a 25.000 vehículos y menor o igual a 50.000 vehículos

Tamaño del parque de la ciudad: "p"	Tipo Vehículo: "i"	Kilómetros/Vehículo	Velocidad Promedio
> 25.000 <= 50.000	Bus	34.436	23
> 25.000 <= 50.000	Camión Liviano - Mediano	10.332	38
> 25.000 <= 50.000	Camión Pesado	25.569	47
> 25.000 <= 50.000	Comerciales	12.331	37
> 25.000 <= 50.000	Motos	4.358	37
> 25.000 <= 50.000	Particulares	6.841	37
> 25.000 <= 50.000	taxi - taxi colectivo	44.975	29

Fuente: estudios CONAMA 2009, AMBIOSIS S.A.

TABLA 87

Valores de kilómetros promedios y velocidades promedio, obtenidas para el año 2007 en ciudades con modelo de modelo de trasporte y parque vehicular mayor a 50.000 vehículos

Tamaño del parque de la ciudad: "p"	Tipo Vehículo: "i"	Kilómetros/Vehículo	Velocidad Promedio
> 50.000	Bus	54.497	19
> 50.000	Camión Liviano-Mediano	54.295	43
> 50.000	Camión Pesado	120.876	46
> 50.000	Comerciales	13.549	37
> 50.000	Motos	6.652	36
> 50.000	Particulares	9.511	39
> 50.000	taxi - taxi colectivo	54.785	25

Fuente: estudios CONAMA 2009, AMBIOSIS S.A.

TABLA 88

Agrupación de categorías "i" en categorías "k"

Descripción (categoría k)	Categoría "i"
Vehículos Particulares Cat. Tipo 1	particular
Vehículos Particulares Cat. Tipo 2	particular
Vehículos Particulares No Catalíticos	particular
Vehículos Particulares a Gas	particular
Vehículos Particulares Otros	particular
Vehículos de Alquiler Cat. Tipo 1	taxi - taxi colectivo
Vehículos de Alquiler Cat. Tipo 2	taxi - taxi colectivo
Vehículos de Alquiler No Catalíticos	taxi - taxi colectivo
Vehículos de Alquiler a Gas	taxi - taxi colectivo
Vehículos de Alquiler Otros	taxi - taxi colectivo
Vehículos Comerciales Cat. Tipo 1	comercial

(Continúa en págima siguiente)

Descripción (categoría k)	Categoría "i"
Vehículos Comerciales Cat. Tipo 2	comercial
Vehículos Comerciales No Catalíticos	comercial
Vehículos Comerciales Diesel Tipo 1	comercial
Vehículos Comerciales Diesel Tipo 2	comercial
Vehículos Comerciales a Gas	comercial
Vehículos Comerciales Otros	comercial
Buses particulares	comercial
Vehículos Escolares Cat. Tipo 1	comercial
Vehículos Escolares No Catalíticos	comercial
Vehículos Escolares a Diesel	comercial
Camiones Livianos Diesel Convencional	camión liviano mediano
Camiones Livianos Diesel Tipo 1	camión liviano mediano
Camiones Livianos Diesel Tipo 2	camión liviano mediano
Camiones Livianos Diesel Tipo 3	camión liviano mediano
Camiones Livianos a Gas	camión liviano mediano
Camiones Livianos Otros	camión liviano mediano
Camiones Medianos Diesel Convencional	camión liviano mediano
Camiones Medianos Diesel Tipo 1	camión liviano mediano
Camiones Medianos Diesel Tipo 2	camión liviano mediano
Camiones Medianos Diesel Tipo 3	camión liviano mediano
Camiones Medianos a Gas	camión liviano mediano
Camiones Medianos Otros	camión liviano mediano
Motos de Dos Tiempos Convencional	moto
Motos de Dos Tiempos Tipo 1	moto
Motos de Cuatro Tiempos Convencional	moto
Motos de Cuatro Tiempos Tipo 1	moto
Buses Interurbanos Diesel Convencional	Bus

(Continúa en págima siguiente)

Descripción (categoría k)	Categoría "i"
Buses Interurbanos Diesel Tipo1	Bus
Buses Interurbanos Diesel Tipo 2	Bus
Buses Interurbanos Diesel Tipo 3	Bus
Buses Interurbanos Otros	Bus
Buses Rurales Diesel Convencional	Bus
Buses Rurales Diesel Tipo 1	Bus
Buses Rurales Diesel Tipo 2	Bus
Buses Rurales Diesel Tipo 3	Bus
Buses Rurales Otros	Bus
Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 1	taxi - taxi colectivo
Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 2	taxi - taxi colectivo
Taxis Colectivos No Catalíticos	taxi - taxi colectivo
Taxis Colectivos a Gas	taxi - taxi colectivo
Taxis Colectivos Otros	taxi - taxi colectivo
Camiones Pesados Diesel Convencional	camión pesado
Camiones Pesados Diesel Tipo 1	camión pesado
Camiones Pesados Diesel Tipo 2	camión pesado
Camiones Pesados Diesel Tipo 3	camión pesado
Camiones Pesados Otros	camión pesado
Buses Licitados Urbanos Diesel VTT	Bus
Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 1	Bus
Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 2	Bus

Fuente: estudios CONAMA 2009, AMBIOSIS S.A.

Seguidamente se toman los FE_{ciz} de cada ciudad y estos se promedian por ciudades que pertenecen a un mismo intervalo de parque vehicular "p" cuyos resultados se presentan en las siguientes tablas. Es importante señalar que este tipo de emisiones sólo se determina para vehículos gasolineras

En donde:

CC : Factor de cálculo de consumo de combustible por corrección de partidas en frío expresado en ton/vehículo.

CO : Factor de cálculo de emisiones de CO por corrección de partidas en frío expresado en ton/vehículo.

HC : Factor de cálculo de emisiones de HC por corrección de partidas en frío más emisiones evaporativas, expresado en ton/vehículo.

NOX : Factor de cálculo de emisiones de NOx por corrección de partidas en frío expresado en ton/vehículo.

TABLA 89

Factores de emisión en (ton del contaminante/vehículos) para corrección por partida en frío y emisiones evaporativas para vehículos gasolineras en ciudades con parque vehicular menor o igual a 25.000 vehículos

Tamaño del parque de la ciudad: "p"	Tipo Vehículo: "i"	CC	CO	HC	NOX
< 25.000	Comerciales	0.0199	0.0080	0.0114	0.0003
< 25.000	Particulares	0.0166	0.0076	0.0119	0.0002
< 25.000	taxi - taxi colectivo	0.0387	0.0066	0.0193	0.0007

Fuente: estudios CONAMA 2009, AMBIOSIS S.A.

TABLA 90

Factores de emisión en (ton del contaminante/vehículos) para corrección por partida en frío y emisiones evaporativas para vehículos gasolineras en ciudades con parque vehicular mayor a 25.000 vehículos y menor o igual a 50.000 vehículos

Tamaño del parque de la ciudad: "p"	Tipo Vehículo: "i"	CC	CO	HC	NOX
> 25.000 < 50.000	Comerciales	0.0465	0.0230	0.0112	0.0006
> 25.000 < 50.000	Particulares	0.0342	0.0181	0.0102	0.0004
> 25.000 < 50.000	taxi - taxi colectivo	0.1911	0.0410	0.0308	0.0032

Fuente: estudios CONAMA 2009, AMBIOSIS S.A.

TABLA 91

Factores de emisión en (ton del contaminante/vehículos) para corrección por partida en frío y emisiones evaporativas para vehículos gasolineras en ciudades con parque vehicular mayor a 50.000 vehículos

Tamaño del parque de la ciudad: "p"	Tipo Vehículo: "i"	CC	CO	HC	NOX
> 50.000	Comerciales	0.0304	0.0131	0.0112	0.0004
> 50.000	Particulares	0.0210	0.0102	0.0110	0.0003
> 50.000	taxi - taxi colectivo	0.0908	0.0212	0.0287	0.0015

Fuente: estudios CONAMA 2009, AMBIOSIS S.A.

BIBLIOGRAFÍA

Fuentes Fijas

- Instrumental normalizado del PNUMA para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, desarrollado por el PNUMA, edición 2.1. Diciembre de 2005.
- Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
- AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors,Volume 1: Stationary Point and Area Sources, October 14, 2009.
- Hojas de datos -Tecnologías de control de contaminantes del aire, EPA-452/F-03-005.

Fuentes Móviles

- "Mejoramiento del inventario de emisiones de la Región Metropolitana". Desarrollado por CENMA para CONAMA RM (2001).
- "Análisis de Evaluaciones y Reevaluaciones ExPost, VI Etapa". Desarrollado por la Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas para MIDEPLAN (2000).
- "Actualización modelo de cálculo de emisiones vehiculares". Desarrollado por la Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (2001 para MIDEPLAN (2001).
- Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA (2001). "Desarrollo de un sistema de actualización automático del inventario de emisiones del sector fuentes móviles, Primera parte ". Proyecto desarrollado para MOPTT.
- Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA (2002). "Desarrollo de un sistema de actualización automático del inventario de emisiones del sector fuentes móviles, Segunda parte".
- "Investigación Instrumentos de Planificación Ambiental para Ciudades Intermedias Etapa III". MIDEPLAN-SECTRA (2006).
- "Mejoramiento del Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Región Metropolitana" de CONAMA , año 2000, y resumidos y complementados por los estudios "Investigación de Instrumentos de Planificación Ambiental, para Ciudades Intermedias, Etapas I, II y III" desarrollados por SECTRA, hasta el año 2006.
- "Cálculo de emisiones de fuentes móviles en formatos requeridos por el RETC". Desarrollado por RIALTO Consultores Ltda. para CONAMA (2008).
- "Generación de Factores de Emisión para Vehículos Livianos, Medianos y Pesados de la Región Metropolitana", desarrollado por la Fundación para la Transferencia Tecnológica-UNTEC, para CONAMA RM, durante el año 2008.
- "Actualización metodología MODEM-MODEC para el Gran Santiago. Actualmente en desarrollo por DICTUC S.A. para MIDEPLAN-SECTRA (2009).
- "Mejoramiento y desarrollo de inventario de emisiones atmosférica+s (2ª parte)". Desarrollado por AMBIOSIS S.A. para CONAMA (2009).

3. ANEXO 1

Densidades y poderes caloríficos de los combustibles nacionales

DENSIDADES Y PODERES CALORIFICOS UTILIZADOS EN EL BALANCE		
Producto	Densidad	Poder Calorif.
	ton/m^3	KCal/kg
PETR. CRUDO NACIONAL	0,825	10.963
PETR. CRUDO IMPORTADO	0,855	10.860
PETR. COMBUSTIBLE 5	0,927	10.500
PETR. COMBUSTIBLE IFO 180	0,936	10.500
PETR. COMBUSTIBLE 6	0,945	10.500
NAFTA	0,700	11.500
GAS LICUADO	0,550	12.100
GASOLINA AUTOMOVILES	0,730	11.200
GASOLINA AVIACION	0,700	11.400
KEROSENE AVIACION	0,810	11.100
KEROSENE	0,810	11.100
DIESEL	0,840	10.900
GAS NATURAL PROCESADO	–	9.341
LEÑA	–	3.500
CARBON	–	7.000
BIOGAS	–	4.000
GAS DE REFINERIA	–	4.260
ELECTRICIDAD	–	860

(*) Promedio Isla, Continente y Costa Afuera.
(**) KCal/m3.
(***) KCal/lts.
(****) KCal/KWh (Equivelente Calórico Teórico Internacional).
(1) Equivalente Calórico práctico para Chile 2.750 KCal/KWh hasta 1997.
(1) Equivalente Calórico práctico para Chile 2.504 KCal/KWh desde 1998.

Fuente: Balance Nacional de Energía, CNE.

4. ANEXO 2

Laboratorios autorizados por la Secretaría Regional Ministerial de Salud Región Metropolitana para realizar muestreos Isocinéticos de Material Particulado Ch-5

Laboratorio	Supervisor	Fono	Fax	Dirección	Comuna
AAIR ENVIRONMENTAL	RICARDO PERALTA	723 62 33	723 62 97	ORLEÁNS 3542	MAIPU
AIRÓN S.A.	JOSÉ SOTO RAFAEL BRIONES PATRICIA ROJAS	523 12 38 312 89 34 523 12 38	312 89 74	CARLOS EDWARDS 1155	SAN MIGUEL
AMBIQUIM	ROBERTO PÉREZ PATRICIO VARAS ALEXANDER ESPINOZA	813 63 58	813 63 58	CALLE 4 Nº 2720	QUINTA NORMAL
ASITEC	RADEK DÍAZ CARMONA	277 68 78	277 68 78	AV. FRANCISCO BILBAO 5375	LA REINA
AYMA LTDA.	CLAUDIO RIVAS PEDRO CORTÉS	416 53 35	459 33 62	ÁNGEL GUARELLO 1699	P. A. CERDA
CESMEC LTDA.	PEDRO FOUQUET LUIS OLAVARRÍA GERARDO PALMA	350 21 88	238 41 35	MARATHÓN 2595	MACUL
CIMM T&S S.A.	JOHN ZAVALA CONTRERAS PEDRO MARTÍNEZ CORNEJO	585 61 34	585 60 58	AV. PARQUE ANTONIO RABAT 6500	VITACURA
LABS & TESTING CHILE S.A.	MARCOS GÓMEZ JUAN MÉNDEZ PATRICIO HERNÁNDEZ	481 91 00	481 91 91	LOS LEONES 1871	PROVIDENCIA
JHG SERVICIOS AMBIENTALES LTDA.	JUAN CASTILLO LUIS AGUILERA ANDRÉS AGUAYO RAÚL PEÑA	274 43 77	225 26 48	JOSÉ DOMINGO CAÑAS 2802	ÑUÑOA
SERPRAM S.A.	PABLO HIDALGO MIGUEL LIZAMA JUAN C. ALARCÓN	352 61 00	352 61 30	LOS ALERCES 2742	ÑUÑOA
S.G.S. CHILE S.A.	CARLOS CAMPOS	898 95 00	898 96 05	IGNACIO VALDIVIESO 2409	SAN JOAQUÍN

NOTA: Para mayores informaciones dirigirse a oficinas de Calidad del Aire, ubicadas en calle Padre Miguel de Olivares 1229, 6º piso, comuna de Santiago, teléfono 5767824, fax 3992543. Listado actualizado el día 8 de septiembre de 2009.

5. ANEXO 3

Listado de categorías vehiculares de la metodología y su descripción

A continuación se describen las 61 categorías originales de la metodología y en aquellos casos en que se hace diferencia entre regiones, estas se detallan para su comprensión y análisis.

- ***Buses Licitados Urbanos DieselVTT (convencional).*** Corresponden a buses destinados al transporte público de pasajeros dentro de la ciudad (buses de servicio urbano) cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados es anterior o igual a septiembre de 1993 (esto es para RM). Se trata de Vehículos con Tecnología Tradicional (VTT) que no cumplen con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos. Para el caso de regiones distintas a la RM, la norma superior siguiente, EPA91 norteamericano o Euro I europeo, comenzó a regir en el año 1994.
- ***Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 1.*** Corresponden a buses destinados al transporte público de pasajeros dentro de la ciudad (buses de servicio urbano) cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados se encuentra entre septiembre de 1993 y septiembre de 1996. El D.S. 82/93 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones establece que a partir del primero de septiembre de 1993, todos los vehículos de este tipo que se inscriban deberán cumplir con un estándar de emisión similar o superior al EPA91 norteamericano o Euro I europeo. Según el D.S. 55/94 para buses distintos a la RM, esta categoría incorpora buses de servicio urbano cuyo año de fabricación se encuentra entre 1995 y 1998.
- ***Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 2.*** Corresponden a buses destinados al transporte público de pasajeros dentro de la ciudad (buses de servicio urbano) cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados es posterior a septiembre de 1996. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 94 o Euro II. Para las ciudades consideradas en ese estudio, de acuerdo a lo indicado en el D.S. 55/94 para buses distintos a la RM, esta categoría incorpora buses de servicio urbano cuyo año de fabricación es igual o posterior a 1999.
- ***Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 3.*** Corresponden a buses destinados al transporte público de pasajeros dentro de la ciudad (buses de servicio urbano) cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a septiembre del año 2002. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 98 o Euro III. A la fecha, esta categoría sólo es considerada para la RM.
- ***Buses Licitados Urbanos a Gas.*** Corresponden a buses destinados al transporte público de pasajeros (buses de servicio urbano) que utilizan como combustible Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de Petróleo (GLP). Estos buses deben cumplir, ingresando al parque a partir de septiembre del 2002, con la normativa equivalente a EPA 98 o Euro III para circular por la RM.
- ***Buses Licitados Urbanos Híbridos.*** Corresponden a buses destinados al transporte público de pasajeros (buses de servicio urbano) del tipo híbrido (diesel eléctrico o gas eléctrico). Estos buses deben cumplir de todas maneras, ingresando al parque a partir de septiembre del 2002, con la normativa EPA 98 o Euro III para circular por la RM.
- ***Buses Licitados Urbanos Otros.*** Corresponden a buses destinados al transporte público de pasajeros (buses de servicio urbano) que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en la metodología, por ejemplo, para evaluar buses urbanos con tecnología avanzada, buses que utilizan gasolina como combustible o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular. Estos buses deben cumplir de todas maneras, ingresando al parque a partir de septiembre del 2002, con la normativa equivalente a EPA 98 o Euro III para circular por la RM.

- ***Buses Interurbanos Diesel Convencional.*** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros del tipo interurbano licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados es anterior o igual a septiembre de 1993. No cumplen ninguna norma de emisión para vehículos nuevos. Para el caso de regiones distintas a la RM la norma superior siguiente, EPA91 norteamericano o Euro I europeo, comienza a regir en el año 1994. Para el caso de ciudades fuera de la RM, esta categoría incorpora buses interurbanos cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados es anterior o igual a septiembre de 1994.
- ***Buses Interurbanos Diesel Tipo 1.*** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros del tipo interurbano licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados se encuentra entre septiembre de 1993 y septiembre de 1996. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA91 norteamericano o Euro I europeo. Para el caso de ciudades fuera de la RM, de acuerdo a lo indicado en el D.S. 55/94, esta categoría incorpora buses cuyo año de fabricación se encuentra entre 1995 y 1998.
- ***Buses Interurbanos Diesel Tipo 2.*** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros del tipo interurbano licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados es posterior a septiembre de 1996. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 94 o Euro II. Para el caso de ciudades fuera de la RM, de acuerdo a lo indicado en el D.S. 55/94, esta categoría incorpora buses cuyo año de fabricación es igual o posterior a 1999.
- ***Buses Interurbanos Diesel Tipo 3.*** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros del tipo interurbano licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a septiembre del año 2002. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 98 o Euro III. A la fecha, esta categoría sólo es considerada para la R.M.
- ***Buses Interurbanos Otros.*** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros del tipo interurbano que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en la metodología, por ejemplo, para evaluar buses interurbanos con tecnología híbrida, buses que utilizan gasolina como combustible o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular. Estos buses deben cumplir de todas maneras, ingresando al parque a partir de septiembre del 2002, con la normativa EPA 98 o Euro III para circular por la RM.
- ***Buses Rurales Diesel Convencional.*** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros de tipo rural licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados es anterior o igual a septiembre de 1993. No cumplen ninguna norma de emisión para vehículos nuevos. Para el caso de regiones distintas a la RM la norma superior siguiente, EPA91 norteamericano o Euro I europeo, comienza a regir en el año 1994. Para el caso de ciudades fuera de la RM, esta categoría incorpora buses cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados es anterior o igual a septiembre de 1994.
- ***Buses Rurales Diesel Tipo 1.*** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros de tipo rural licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados se encuentra entre septiembre de 1993 y septiembre de 1996. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA91 norteamericano o Euro I europeo. Para el caso de ciudades fuera de la RM, de acuerdo a lo indicado en el D.S. 55/94 para buses distintos a la RM, esta categoría incorpora buses cuyo año de fabricación se encuentra entre 1995 y 1998.

- ***Buses Rurales Diesel Tipo 2.*** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros de tipo rural licitados. En esta categoría se encuentran los buses con fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados es posterior a septiembre de 1996. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 94 o Euro II. Para las ciudades consideradas en ese estudio, de acuerdo con el D.S. 55/94 para buses distintos a la RM, esta categoría incorpora buses cuyo año de fabricación es igual o posterior a 1999.
- ***Buses Rurales Diesel Tipo 3.*** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros de tipo rural licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a septiembre del año 2002. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 98 o Euro III. A la fecha, esta categoría sólo es considerada para la RM.
- ***Buses Rurales Otros.*** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros de tipo rural que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en la metodología, por ejemplo, para evaluar buses rurales con tecnología híbrida, buses que utilizan gasolina como combustible o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular. Estos buses deben cumplir de todas maneras, ingresando al parque a partir de septiembre del 2002, con la normativa EPA 98 o Euro III para circular por la RM.
- ***Buses Particulares.*** Corresponden a buses destinados al transporte privado de pasajeros dentro de la ciudad (buses de servicio urbano) que no caen dentro de las alternativas anteriores. Se trata de buses institucionales o privados que no tienen recorrido definido ni son licitados por la autoridad.
- ***Camiones Livianos Diesel Convencional.*** Corresponden a camiones livianos con peso bruto inferior a 7.5 toneladas y cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados es anterior a septiembre de 1994. Estos camiones no cumplen obligatoriamente con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos aplicable en Chile, según indica el D.S.55/1994.
- ***Camiones Livianos Diesel Tipo 1.*** Corresponden a camiones livianos con peso bruto inferior a 7.5 toneladas y cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados se encuentra entre septiembre de 1994 y septiembre de 1998. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA91 norteamericano o EURO I europeo. Norma válida en las regiones: Metropolitana, de Coquimbo, del Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule, del Bío Bío, de La Araucanía, de Los Lagos y de Valparaíso.
- ***Camiones Livianos Diesel Tipo 2.*** Corresponden a camiones livianos con peso bruto inferior a 7.5 toneladas y cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a septiembre de 1998. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA94 norteamericano o EURO II Europeo. Norma válida en las regiones: Metropolitana, de Coquimbo, del Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule, del Bío Bío, de La Araucanía, de Los Lagos y de Valparaíso.
- ***Camiones Livianos Diesel Tipo 3.*** Corresponden a camiones livianos con peso bruto inferior a 7.5 toneladas que cumplen con la normativa EPA 98 o Euro III. Norma válida en las regiones: Metropolitana, de Coquimbo, del Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule, del Bío Bío, de La Araucanía, de Los Lagos y de Valparaíso. Para el caso de las regiones de: Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Aysén y Magallanes, los vehículos pesados que circulan en ellas no están obligados a cumplir norma de emisión para vehículos nuevos. En general se considerarán necesariamente de esta categoría a todos los camiones cuyo año de fabricación sea igual o superior al 2007, según se desprende del D.S.55/1994 y sus posteriores modificaciones, fecha en que comienza a regir la norma de combustible de bajo azufre (inferior a 350ppm) para todo el país.

- ***Camiones Livianos a Gas.*** Corresponden a camiones livianos con peso bruto inferior a 7.5 toneladas que utilizan como combustible Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de Petróleo (GLP).
- ***Camiones Livianos Otros.*** Corresponden a camiones livianos con peso bruto inferior a 7.5 toneladas que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en la metodología, por ejemplo, para evaluar camiones con tecnología híbrida, camiones que utilizan gasolina como combustible o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular.
- ***Camiones Medianos Diesel Convencional.*** Corresponden a camiones medianos con peso bruto entre 7.5 y 16 toneladas y cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados es anterior a septiembre de 1994. Estos camiones no cumplen obligatoriamente con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos aplicable en Chile, según indica el D.S.55/1994.
- ***Camiones Medianos Diesel Tipo 1.*** Corresponden a camiones medianos con peso bruto entre 7.5 y 16 toneladas y cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados se encuentra entre septiembre de 1994 y septiembre de 1998. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA91 norteamericano o EURO I europeo. Norma válida en las regiones: Metropolitana, de Coquimbo, del Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule, del Bío Bío, de La Araucanía, de Los Lagos y de Valparaíso.
- ***Camiones Medianos DieselTipo 2.*** Corresponden a camiones medianos con peso bruto entre 7.5 y 16 toneladas y cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a septiembre de 1998. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA94 norteamericano o EURO II europeo. Norma válida en las regiones: Metropolitana, de Coquimbo, del Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule, del Bío Bío, de La Araucanía, de Los Lagos y de Valparaíso.
- ***Camiones Medianos DieselTipo 3.*** Corresponden a camiones medianos con peso bruto entre 7.5 y 16 toneladas que cumplen con la normativa EPA 98 o Euro III. Norma válida en las regiones: Metropolitana, de Coquimbo, del Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule, del Bío Bío, de La Araucanía, de Los Lagos y de Valparaíso. Para el caso de las regiones de: Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Aysén y Magallanes, los vehículos pesados que circulan en ellas no están obligados a cumplir norma de emisión para vehículos nuevos. En general se considerarán necesariamente de esta categoría a todos los camiones cuyo año de fabricación sea igual o superior al 2007, según se desprende del D.S.55/1994 y sus posteriores modificaciones, fecha en que comienza a regir la norma de combustible de bajo azufre (inferior a 350ppm) para todo el país.
- ***Camiones Medianos a Gas.*** Corresponden a camiones medianos con peso bruto entre 7.5 y 16 toneladas que utilizan como combustible Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de Petróleo (GLP).
- ***Camiones Medianos Otros.*** Corresponden a camiones medianos con peso bruto entre 7.5 y 16 toneladas que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en la metodología, por ejemplo, para evaluar camiones con tecnología híbrida, camiones que utilizan gasolina como combustible o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular.
- ***Camiones Pesados Diesel Convencional.*** Corresponden a camiones pesados con peso bruto superior a 16 toneladas y cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados es anterior a septiembre de 1994. Estos camiones no cumplen obligatoriamente con ninguna norma de emisión para

vehículos nuevos aplicable en Chile, según indica el D.S.55/1994.

- ***Camiones Pesados Diesel Tipo 1.*** Corresponden a camiones pesados con peso bruto superior a 16 toneladas y cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados se encuentra entre septiembre de 1994 y septiembre de 1998. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA91 norteamericano o EURO I europeo. Norma válida en las regiones: Metropolitana, de Coquimbo, del Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule, del Bío Bío, de La Araucanía, de Los Lagos y de Valparaíso.
- ***Camiones Pesados Diesel Tipo 2.*** Corresponden a camiones pesados con peso bruto superior a 16 toneladas y cuya fecha de inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a septiembre de 1998. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA94 norteamericano o EURO II europeo. Norma válida en las regiones: Metropolitana, de Coquimbo, del Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule, del Bío Bío, de La Araucanía, de Los Lagos y de Valparaíso.
- ***Camiones Pesados Diesel Tipo 3.*** Corresponden a camiones pesados con peso bruto superior a 16 toneladas. Cumplen con la normativa EPA 98 o EURO III. Norma válida en las regiones: Metropolitana, de Coquimbo, del Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule, del Bío Bío, de La Araucanía, de Los Lagos y de Valparaíso. Para el caso de las regiones de: Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Aysén y Magallanes, los vehículos pesados que circulan en ellas no están obligados a cumplir norma de emisión para vehículos nuevos. Para este estudio se considerarán necesariamente de esta categoría a todos los camiones cuyo año de fabricación sea igual o superior al 2007, según se desprende del D.S.55/1994 y sus posteriores modificaciones, fecha en que comienza a regir la norma de combustible de bajo azufre (inferior a 350ppm) para todo el país.
- ***Camiones Pesados Otros.*** Corresponden a camiones pesados con peso bruto superior a 16 toneladas que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en la metodología, por ejemplo, para evaluar camiones con tecnología híbrida, camiones que utilizan gasolina como combustible o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular.
- ***Vehículos particulares catalíticos tipo 1.*** Corresponden a vehículos livianos de pasajeros privados, que utilizan gasolina como combustible, principalmente del tipo auto sedan y station wagon. Cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a EURO I, EURO II EPA83, EPA91 y/o TIER 0. En general se considerarán de esta categoría a todos los vehículos cuyo año de fabricación se encuentre entre los años 1993 y 2005.
- ***Vehículos particulares catalíticos tipo 2.*** Corresponden a vehículos livianos de pasajeros privados, que utilizan gasolina como combustible, principalmente del tipo auto sedan y station wagon. Cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape y cumplen con normativa equivalente a la TIER I norteamericana o la Euro III europea. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos cuyo año de fabricación sea igual o posterior al año 2006.
- ***Vehículos particulares No catalíticos.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros privados, principalmente del tipo auto sedan y station wagon y que no cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape. No cumplen con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos aplicable en Chile.
- ***Vehículos particulares Otros.*** Corresponden a vehículos livianos de pasajeros privados, principalmente del tipo auto sedan y station wagon que no caen dentro de las alternativas

anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en la metodología, por ejemplo, para evaluar vehículos con tecnología híbrida o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular.

- ***Vehículos Particulares a Gas.*** Corresponden a vehículos livianos de pasajeros privados, principalmente del tipo auto sedan y station wagon que utilizan como combustible Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de Petróleo (GLP).
- ***Vehículos Particulares Diesel Tipo 1.*** Corresponden a vehículos livianos de pasajeros privados, que utilizan diesel como combustible, principalmente del tipo auto sedan y station wagon. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a TIER 0. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos cuyo año de fabricación sea anterior al 2005.
- ***Vehículos Particulares Diesel Tipo 2.*** Corresponden a vehículos livianos de pasajeros privados, que utilizan diesel como combustible, principalmente del tipo auto sedan y station wagon. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a EURO III. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos con año de fabricación 2005.
- ***Vehículos Particulares Diesel Tipo 3.*** Corresponden a vehículos livianos de pasajeros privados, que utilizan diesel como combustible, principalmente del tipo auto sedan y station wagon. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a EPA 94, TIER I y/o EURO IV. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos con año de fabricación igual o superior al 2006.
- ***Vehículos de Alquiler catalíticos tipo 1.*** Corresponden a vehículos de alquiler tipo taxis básicos, principalmente del tipo auto sedan, que utilizan gasolina como combustible. Cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a EURO I, EURO II EPA83, EPA91 y/o TIER 0. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos cuyo año de fabricación se encuentre entre los años 1993 y 2005.
- ***Vehículos de Alquiler catalíticos tipo 2.*** Corresponden a vehículos de alquiler tipo taxis básicos, principalmente del tipo auto sedan, que utilizan gasolina como combustible. Cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape y cumplen con normativa equivalente a la TIER I norteamericana o la Euro III europea. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos cuyo año de fabricación sea igual o posterior al año 2006.
- ***Vehículos de Alquiler No catalíticos.*** Corresponden a vehículos de alquiler tipo taxis básicos, principalmente del tipo auto sedan que no cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape. No cumplen con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos aplicable en Chile.
- ***Vehículos de Alquiler Otros.*** Corresponden a vehículos de alquiler tipo taxis básicos, principalmente del tipo auto sedan que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en la metodología, por ejemplo, para evaluar vehículos con tecnología híbrida o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular.
- ***Vehículos de Alquiler a Gas.*** Corresponden a vehículos de alquiler tipo taxis básicos, principalmente del tipo auto sedan, que utilizan como combustible Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de Petróleo (GLP).
- ***Vehículos de Alquiler Diesel Tipo 1.*** Corresponden a vehículos de alquiler tipo taxis básicos, principalmente del tipo auto sedan, que utilizan diesel como combustible. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a TIER 0. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos cuyo año de fabricación sea anterior al 2005.

- ***Vehículos de Alquiler Diesel Tipo 2.*** Corresponden a vehículos de alquiler tipo taxis básicos, principalmente del tipo auto sedan, que utilizan diesel como combustible. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a EURO III. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos con año de fabricación 2005.
- ***Vehículos de Alquiler Diesel Tipo 3.*** Corresponden a vehículos de alquiler tipo taxis básicos, principalmente del tipo auto sedan, que utilizan diesel como combustible. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a EPA 94, TIER I y/o EURO IV. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos con año de fabricación igual o superior al 2006.
- ***Vehículos Comerciales Catalíticos Tipo 1.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, de uso particular o comerciales y que funcionan con combustible gasolina, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón y que cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a EURO I, EURO II EPA83, EPA91 y/o TIER 0. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos cuyo año de fabricación se encuentre entre los años 1993 y 2005.
- ***Vehículos Comerciales Catalíticos Tipo 2.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, de uso particular o comerciales y que funcionan con combustible gasolina, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón y cumplen con normativa equivalente a la TIER I norteamericana o la Euro III europea. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos cuyo año de fabricación sea igual o posterior al año 2006.
- ***Vehículos Comerciales No catalíticos.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, privados o comerciales y que funcionan con combustible gasolina, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón y que no cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape. Estos no cumplen con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos aplicable en Chile.
- ***Vehículos Comerciales Diesel Tipo 1.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, de uso particular o comerciales y que funcionan con combustible diesel, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a TIER 0. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos cuyo año de fabricación sea anterior al 2005.
- ***Vehículos Comerciales Diesel Tipo 2.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, de uso particular o comerciales y que funcionan con combustible diesel, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a EURO III. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos con año de fabricación 2005.
- ***Vehículos Comerciales Diesel Tipo 3.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, de uso particular o comerciales y que funcionan con combustible diesel, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a EURO III. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos con año de fabricación 2005.
- ***Vehículos Comerciales Otros.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, privados o comerciales y que funcionan con combustible diesel, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en la metodología, por ejemplo, para evaluar vehículos con tecnología híbrida o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular.

- ***Vehículos Comerciales a Gas.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, privados o comerciales y que funcionan con combustible diesel, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón que utilizan como combustible Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de Petróleo (GLP).
- ***Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 1.*** Corresponden a los vehículos de alquiler de recorrido fijo. Cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape y funcionan con combustible gasolina. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a EURO I, EURO II EPA83, EPA91 y/o TIER 0. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos cuyo año de fabricación se encuentre entre los años 1993 y 2005.
- ***Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 2.*** Corresponden a los vehículos de alquiler de recorrido fijo. Que cuenten con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape y que utilizan gasolina como combustible. Cumplen con normativa equivalente a la TIER I norteamericana o la Euro III europea. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos cuyo año de fabricación sea igual o posterior al año 2006.
- ***Taxis Colectivos No catalíticos.*** Corresponden a los vehículos de alquiler de recorrido fijo que no cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape. No cumplen con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos aplicable en Chile.
- ***Taxis Colectivos a Gas.*** Corresponden a los vehículos de alquiler de recorrido fijo que utilizan como combustible Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de Petróleo (GLP). Estos vehículos cumplen con la normativa EPA 94 federal o Euro III.
- ***Taxis Colectivos Otros.*** Corresponden a los vehículos de alquiler de recorrido fijo que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en la metodología, por ejemplo, para evaluar vehículos con tecnología híbrida o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular.
- ***Taxis Colectivos Diesel Tipo 1.*** Corresponden a los vehículos de alquiler de recorrido fijo, principalmente del tipo auto sedan, que utilizan diesel como combustible. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a TIER 0. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos cuyo año de fabricación sea anterior al 2005.
- ***Taxis Colectivos Diesel Tipo 2.*** Corresponden a los vehículos de alquiler de recorrido fijo, principalmente del tipo auto sedan, que utilizan diesel como combustible. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a EURO III. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos con año de fabricación 2005.
- ***Taxis Colectivos Diesel Tipo 3.*** Corresponden a los vehículos de alquiler de recorrido fijo, principalmente del tipo auto sedan, que utilizan diesel como combustible. Estos vehículos cumplen con normas de ingreso equivalentes a EPA 94, TIER I y/o EURO IV. Para este estudio se considerarán de esta categoría a todos los vehículos con año de fabricación igual o superior al 2006.
- ***Motocicleta de Dos Tiempos Convencional.*** Corresponden a motocicletas equipadas con motores de dos tiempos y que no cumplen ninguna norma de emisión.
- ***Motocicleta de Dos Tiempos Tipo 1.*** Corresponden a motocicletas equipadas con motores de dos tiempos. Estos vehículos cumplen con la normativa Euro I.
- ***Motocicleta de Cuatro Tiempos Convencional.*** Corresponden a motocicletas equipadas con motores de dos tiempos y que no cumplen ninguna norma de emisión.
- ***Motocicleta de Cuatro Tiempos Tipo 1.*** Corresponden a motocicletas equipadas con motores de dos tiempos. Estos vehículos cumplen con la normativa Euro I.

6. ANEXO 4

Factores de emisión provenientes de COPERT III y mediciones locales en 3CV.

A continuación se presentan los factores de emisión utilizados a la fecha en los inventarios disponibles en el RETC, otros inventarios de emisiones desarrollados por CONAMA y estudios de SECTRA (estudios "Investigación de Instrumentos de Planificación Ambiental para Ciudades Intermedias, Etapas I, II y III").

TABLA 92

Factores de Emisión para Vehículos Livianos de pasajeros y Taxis

Categoría	Contaminante	Factor Emisión (gr/km)
Vehículos particulares livianos sin convertidor catalítico. (sin normas de emisión) Taxis sin convertidor catalítico (sin normas de emisión)	PM10 CO HCT NO_X SO_2 CO_2 CH_4 N_2O NH_3 CC	0.019 $0.0203*V^2-2.2662*V+77.661$ $11.589*V^{-0.5595}$ $9.5*^{10-6}*V^3-0.0016*V^2+0.0738*V+1.2586$ (1) (2) $3.31*10^{-5}V^2-0.00573V+0.268$ 0.005 0.002 $595.76*V^{-0.534}$
Vehículos particulares livianos con convertidor catalítico Tipo I. (EURO I o superior) Taxis con convertidor catalítico Tipo I. (EURO I o superior)	PM10 CO HCT NO_X SO_2 CO_2 CH_4 N_2O NH_3 CC	0.0046 $28.844*V^{-0.8384}$ $1.1851*V^{-0.616}$ $1.1*10^{-6}*V^3$- $0.0001677V^2+0.0031795*V+0.4835758$ (1) (2) $1.1176*10^{-5}*V^2-0.00196*V+0.099652$ 0.053 0.070 $552.25*V^{-0.5486}$
Vehículos particulares livianos otros.[23] (sin norma de emisión)	PM_{10} CO HCT NOX SO2 CO2 CH4 N2O NH3 CC	$0.000058*V^2-0.0086*V+0.45$ $5.41301*V^{-0.574}$ $4.61*V^{-0.937}$ $0.000101*V^2-0.014*V+0.918$ (1) (2) $0.0000019*V^2-0.1775*V+7.9936$ 0.027 0.001 $0.014*V^2-2.084*V+118.489$

[23] Corresponde a vehículos particulares a diesel.

TABLA 93

Factores de Emisión para Vehículos Livianos Comerciales

Categoría	Contaminante	Factor Emisión (gr/km)
Vehículos livianos comerciales sin convertidor catalítico < 3.5 ton (sin normas de emisión)	PM10	0.019
	CO	$0.01104*V^2-1.5132*V+57.789$
	HCT	$0.000677*V^2-0.1170*V+5.4734$
	NO_X	$0.0179*V+1.9547$
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.15
	N_2O	0.006
	NH_3	0.002
	CC	$0.0234*V^2-3.3718*V+195.96$
Vehículos livianos comerciales con convertidor catalítico < 3.5 ton, Tipo I (EURO I o superior)	PM10	0.0046
	CO	$0.0037*V^2-0.5215*V+19.127$
	HCT	$0.0000577*V^2-0.01047*V+0.5462$
	NO_X	$0.0000755*V^2-0.009*V+0.666$
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	$1.2969*10^{-5}*V^2-0.0021098*V+0.101995$
	N_2O	0.053
	NH_3	0.07
	CC	$0.0234*V^2-3.3718*V+195.96$
Vehículos livianos comerciales diesel < 3.5 ton, Tipo I (sin normas de emisión)	PM_{10}	$0.000045*V^2-0.004885*V+0.1932$
	CO	$0.000223*V^2- 0.026*V+1.076$
	HCT	$0.0000175*V^2-0.00284*V+0.2162$
	NO_X	$0.000241*V^2-0.03181*V+2.0247$
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.005
	N_2O	0.017
	NH_3	0.001
	CC	$0.0198*V^2-2.506*V+137.42$
Vehículos livianos comerciales diesel < 3.5 ton (EURO I o superior), Tipo II	PM_{10}	$0.00003015*V^2-0.00327295*V+0.12944$
	CO	$0.00018286*V^2-0.02132*V+0.88232$
	HCT	$0.00001085*V^2-0.0017608*V+0.134044$
	NO_X	$0.00020244*V^2-0.0267204*V+1.660254$
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.005
	N_2O	0.017
	NH_3	0.001
	CC	$0.0198*V^2-2.506*V+137.42$

TABLA 94

Factores de Emisión para Camiones Livianos

Categoría	Contaminante	Factor Emisión (gr/km)
Camiones livianos Tipo I Convencionales <7.5 t (sin normas de emisión)	PM_{10} CO HCT NO_X SO_2 CO_2 CH_4 N_2O NH_3 CC	$4.5563*V^{-0.707}$ $37.280*V^{-0.6945}$ $40.120*V^{-0.8774}$ $50.305*V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.0014 *V^2 – 0.1737 *V + 7.5506$ (1) (2) 0.085 0.03 0.003 $1425.2*V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 *V^2 – 0.043*V + 60.12$
Camiones livianos Tipo II < 7.5 ton (EURO I o superior)	PM_{10} CO HCT NO_X SO_2 CO_2 CH_4 N_2O NH_3 CC	$2.96159*V^{-0.7070}$ $18.64*V^{-0.6945}$ $30.09*V^{-0.8774}$ $35.2135*V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.00098*V^2 – 0.12159 *V + 5.28542$ (1) (2) 0.06375 0.03 0.003 $1425.2*V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 *V^2 – 0.043*V + 60.12$
Camiones livianos Tipo III < 7.5 ton (EURO II o superior)	PM_{10} CO HCT NO_X SO_2 CO_2 CH_4 N_2O NH_3 CC	$1.82252*V^{-0.7070}$ $14.912*V^{-0.6945}$ $19.6585*V^{-0.8774}$ $25.1525*V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.0007*V^2 – 0.060795*V + 3.7753$ (1) (2) 0.0595 0.03 0.003 $1425.2*V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 *V^2 – 0.043*V + 60.12$
Camiones livianos Tipo IV < 7.5 ton (EURO III o superior)	PM_{10} CO HCT NO_X SO_2 CO_2 CH_4 N_2O NH_3 CC	$1.2757*V^{-0.7070}$ $10.438*V^{-0.6945}$ $14.7441*V^{-0.8774}$ $17.60675*V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.00049*V^2 – 0.060795*V + 2.64271$ (1) (2) 0.04165 0.03 0.003 $1425.2*V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 *V^2 – 0.043*V + 60.12$

TABLA 95

Factores de Emisión para Camiones Medianos

Categoría	Contaminante	Factor Emisión (gr/km)
Camiones Medianos Tipo I 7.5 – 16 ton (sin normas de emisión)	PM_{10} CO HCT NO_X SO_2 CO_2 CH_4 N_2O NH_3 CC	$9.6037*V^{-0.7259}$ $37.28*V^{-0.6945}$ $40.12*V^{-0.8774}$ $92.584*V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.0006*V^2 - 0.0941*V + 7.7785$ (1) (2) 0.085 0.03 0.003 $1068.4*V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126*V^2 - 0.6589*V + 141.18$
Camiones Medianos Tipo II 7.5 – 16 ton (EURO I o superior)	PM_{10} CO HCT NO_X SO_2 CO_2 CH_4 N_2O NH_3 CC	$6.242405*V^{-0.7259}$ $18.64*V^{-0.6945}$ $30.09*V^{-0.8774}$ $64.8088*V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.00042*V^2 - 0.06587*V + 5.44495$ (1) (2) 0.06375 0.03 0.003 $1068.4*V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126*V^2 - 0.6589*V + 141.18$
Camiones Medianos Tipo III 7.5 – 16 ton (EURO II o superior)	PM_{10} CO HCT NO_X SO_2 CO_2 CH_4 N_2O NH_3 CC	$3.84184*V^{-0.7259}$ $14.912*V^{-0.6945}$ $28.084*V^{-0.8774}$ $46.292*V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.0003*V^2 - 0.04705*V + 3.88925$ (1) (2) 0.0595 0.03 0.003 $1068.4*V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126*V^2 - 0.6589*V + 141.18$
Camiones Medianos Tipo IV 7.5 – 16 ton (EURO III o superior)	PM_{10} CO HCT NO_X SO_2 CO_2 CH_4 N_2O NH_3 CC	$2.689036*V^{-0.7259}$ $10.4384*V^{-0.6945}$ $19.6588*V^{-0.8774}$ $32.4044*V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.00021*V^2 - 0.032935*V + 2.722475$ (1) (2) 0.04165 0.03 0.003 $1068.4*V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126*V^2 - 0.6589*V + 141.18$

TABLA 96

Factores de Emisión para Camiones Pesados

Categoría	Contaminante	Factor Emisión (gr/km)
Camiones Pesados Tipo I convencionales (sin normas de emisión)	PM_{10}	$10.933*V^{-0.7054}$
	CO	$37.280*V^{-0.6945}$
	HCT	$40.12*V^{-0.8774}$
	NO_X	$116.16*V^{-0.5859}$
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.175
	N_2O	0.03
	NH_3	0.003
	CC	$1678.7*V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051*V^2 - 7.2508*V + 506.71$
Camiones Pesados Tipo II (EURO I o superior)	PM_{10}	$7.10645*V^{-0.7054}$
	CO	$20.504*V^{-0.6945}$
	HCT	$20.06*V^{-0.8774}$
	NO_X	$63.888*V^{-0.5859}$
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.0875
	N_2O	0.03
	NH_3	0.003
	CC	$1678.7*V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051*V^2 - 7.2508*V + 506.71$
Camiones Pesados Tipo III (EURO II o superior)	PM_{10}	$2.73325*V^{-0.7054}$
	CO	$16.776*V^{-0.6945}$
	HCT	$18.054*V^{-0.8774}$
	NO_X	$46.464*V^{-0.5859}$
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.07875
	N_2O	0.03
	NH_3	0.003
	CC	$1678.7*V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051*V^2 - 7.2508*V + 506.71$
Camiones Pesados Tipo IV (EURO III o superior)	PM_{10}	$1.913275*V^{-0.7054}$
	CO	$11.7432*V^{-0.6945}$
	HCT	$12.6378V^{-0.8774}$
	NO_X	$32.5248*V^{-0.5859}$
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.055125
	N_2O	0.03
	NH_3	0.003
	CC	$1678.7*V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051*V^2 - 7.2508*V + 506.71$

TABLA 97

Factores de Emisión para Buses Transporte Público, Rurales, Particulares e Institucionales

Categoría	Contaminante	Factores Emisión (gr/km)
Buses Transporte Público Tipo I (sin normas de emisión)	PM_{10}	$12.09253*V^{-0.7360}$
	CO	$59.003*V^{-0.7447}$
	HCT	$43.647*V^{-1.0301}$
	NO_X	$89.174*V^{-0.5185}$
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.175
	N_2O	0.03
	NH_3	0.003
	CC	$864.1*V^{-0.4318}$
Buses Transporte Público Tipo II (Norma EURO I o superior)	PM_{10}	$5.109585*V^{-0.7360}$
	CO	$29.5015*V^{-0.7447}$
	HCT	$32.73525*V^{-1.0301}$
	NO_X	$62.4218*V^{-0.5185}$
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.13125
	N_2O	0.03
	NH_3	0.003
	CC	$1001.3*V^{-0.4318}$
Buses Transporte Público Tipo III (EURO II o superior)	PM_{10}	$3.14436*V^{-0.7360}$
	CO	$23.6012*V^{-0.7447}$
	HCT	$30.5529*V^{-1.0301}$
	NO_X	$44.587*V^{-0.5185}$
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.1225
	N_2O	0.03
	NH_3	0.003
	CC	$1645.9*V^{-0.4318}$
Buses Transporte Público Tipo IV (EURO III o superior)	PM_{10}	$2.201052*V^{-0.7360}$
	CO	$16.52084*V^{-0.7447}$
	HCT	$21.38703*V^{-1.0301}$
	NO_X	$31.2109*V^{-0.5185}$
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.08575
	N_2O	0.03
	NH_3	0.003
	CC	$1645.9*V^{-0.4318}$

TABLA 98

Factores de Emisión para Buses Interurbanos

Categoría	Contaminante	Factor Emisión (gr/km)
Otros Buses Interurbanos y Rurales Tipo I Otros Buses Particulares e Institucionales Tipo I (sin normas de emisión)	PM_{10} CO HCT NO_X SO_2 CO_2 CH_4 N_2O NH_3 CC	$9.2934*V^{-0.7373}$ $63.791*V^{-0.8393}$ $44.217*V^{-0.8870}$ $125.87*V^{-0.6562}$ (V<60 km/h) $0.0010*V^2 - 0.1608*V + 14.308$ (1) (2) 0.175 0.03 0.003 $1708*V^{-0.5396}$ (V<60 km/h) $0.0398*V^2 - 6.294*V + 425$
Otros Buses Interurbanos y Rurales Tipo II Otros Buses Particulares e Institucionales Tipo II (EURO I o superior)	PM_{10} CO HCT NO_X SO_2 CO_2 CH_4 N_2O NH_3 CC	$6.04071*V^{-0.7373}$ $35.08505*V^{-0.8393}$ $22.1085*V^{-0.8870}$ $69.2285*V^{-0.6562}$ (V<60 km/h) $0.00055*V^2 - 0.08844*V + 7.8694$ (1) (2) 0.0875 0.03 0.003 $1708*V^{-0.5396}$ (V<60 km/h) $0.0398*V^2 - 6.294*V + 425$
Otros Buses Interurbanos y Rurales Tipo III Otros Buses Particulares e Institucionales Tipo III (EURO II o superior)	PM_{10} CO HCT NO_X SO_2 CO_2 CH_4 N_2O NH_3 CC	$2.32335*V^{-0.7373}$ $28.70595*V^{-0.8393}$ $19.89765*V^{-0.8870}$ $50.348*V^{-0.6562}$ (V<60 km/h) $0.0004*V^2 - 0.06432*V + 5.7232$ (1) (2) 0.07875 0.03 0.003 $1708*V^{-0.5396}$ (V<60 km/h) $0.0398*V^2 - 6.294*V + 425$
Otros Buses Interurbanos y Rurales Tipo IV Otros Buses Particulares e Institucionales Tipo IV (EURO I II o superior)	PM_{10} CO HCT NO_X SO_2 CO_2 CH_4 N_2O NH_3 CC	$1.626345*V^{-0.7373}$ $20.0942*V^{-0.8393}$ $13.928355*V^{-0.8870}$ $35.2436*V^{-0.6562}$ (V<60 km/h) $0.00028*V^2 - 0.045024*V + 4.00624$ (1) (2) 0.055125 0.03 0.003 $1708*V^{-0.5396}$ (V<60 km/h) $0.0398*V^2 - 6.294*V + 425$

TABLA 99

Factores de Emisión para Motocicletas

Categoría	Contaminante	Factores Emisión (gr/km)
Motocicletas 2 tiempos Convencional	CO	-0.001*V^2+0.172*V+18.1 (V<60 km/h) 0.0001*V^2 – 0.05*V +21.5
	HCT	0.0035*V^2-0.409*V+20.1 (V<60 km/h) 0.0003*V^2 – 0.0524*V + 10.6
	NO_X	0.00003*V^2-0.002+V+0.064 (V<60 km/h) -0.00002*V^2 –0.0049*V – 0.157
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.15
	N_2O	0.002
	NH_3	0.002
	CC	0.006300*V^2-0.6028*V+44.40 (V<60 km/h) -0.0005*V^2 +0.2375*V + 18.2
Motocicletas 2 tiempos Tipo I	CO	-0.0063*V^2+0.715*V-6.9 (V<60 km/h) 0.0007*V^2 +0.157*V +6.0
	HCT	-0.00100*V^2+0.0970*V+3.90 (V<60 km/h) -0.0003*V^2 + 0.0325*V + 5.2
	NO_X	0.00002*V^2-0.0010+V+0.032 (V<60 km/h) -0.00002*V^2 +0.0041*V – 0.152
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.15
	N_2O	0.002
	NH_3	0.002
	CC	-0.0011*V^2 +0.2008*V+17.8 (V<60 km/h) -0.001*V^2 +0.2425*V + 14.6
Motocicletas 4 tiempos Convencional	CO	0.0139*V^2-1.42*V+55.0 (V<60 km/h) 0.0009*V^2 + 0.0099*V +17.8
	HCT	0.0015*V^2-0.164+V+5.51 (V<60 km/h) 0.00001*V^2 +0.0005*V + 0.86
	NO_X	0.00005*V^2-0.0009*V+0.092 (V<60 km/h) 0.00002*V^2 +0.0007*V +0.104
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.2
	N_2O	0.002
	NH_3	0.002
	CC	0.02730*V^2-2.8490*V+98.90 (V<60 km/h) 0.00210*V^2 -0.1550*V + 29.20
Motocicletas 4 tiempos Tipo I	CO	0.00760*V^2-0.7300+V+23.50 (V<60 km/h) 0.001*V^2 +0.051*V+0.8
	HCT	0.00070*V^2-0.0755*V+2.630 (V<60 km/h) 0.00007*V^2 – 0.0152*V + 1.19

(Continúa en página siguiente)

Categoría	Contaminante	Factores Emisión (gr/km)
Motocicletas 4 tiempos Tipo I	NO_X	$0.00005*V^2-0.0007*V+0.137$ (V<60 km/h) $0.00002*V^2 +0.001*V + 0.143$
	SO_2	(1)
	CO_2	(2)
	CH_4	0.2
	N_2O	0.002
	NH_3	0.002
	CC	$0.02000*V^2-2.0750*V+77.10$ (V<60 km/h) $0.0013*V^2 -0.0391*V + 23.5$

(1) y (2): A continuación se describirá el procedimiento de cálculo de emisiones de SO2 y de CO2.

7. ANEXO 5

Factores de emisión propuestos por estudio CONAMA RM 2008

A continuación se presentan los factores de emisión propuestos dentro del estudio "Generación de Factores de Emisión para Vehículos Livianos, Medianos y Pesados de la Región Metropolitana", desarrollado por la Fundación para la Transferencia Tecnológica-UNTEC, para CONAMA RM, durante el año 2008.

Dentro de cada tabla se entrega el indicativo de la calidad del factor de emisión propuesto, en base a la codificación propuesta por la Agencia Europea Ambiental reportada dentro de la documentación metodológica de COPERT IV. A continuación se indica la descripción de esta codificación.

A : Factores de emisión con base estadística significativa sobre una gran base de datos medida y evaluada.

B : Factores de emisión con una base estadística no significativa, sobre un arreglo pequeño de datos medidos y re-evaluados.

C : Factores de emisión, estimados en base a la literatura disponible.

D : Factores de emisión estimados aplicando consideraciones de similitud y/o extrapolación.

Dentro de cada tabla se indica, además, la fuente de información del factor de emisión recomendado dentro del citado estudio. Los factores de emisión indicados como recomendación COPERT IV, corresponden a la versión del COPERT IV de agosto de 2007, disponible en http://lat.eng.auth.gr/copert/.

Como se indicaba anteriormente, dentro del citado estudio se efectuaron también mediciones locales a una muestra determinada de vehículos, según categoría vehicular. Los factores de emisión acompañados del indicativo DIMEC corresponden a los valores experimentales generados en dicho estudio.

TABLA 100

Factores de emisión para vehículos de pasajeros, propuestos dentro del estudio CONAMA RM 2008

Sub-Categoría	Norma	Respaldo Estadístico		Cont.	Recomendación	Expresión
		COPERT IV	DIMEC			
Pasajeros Gasolina	S/Catalítico	A	B (10)	CO	COPERT IV	E = 281· V ^–0.63
				HC		E = 30.34 · V ^–0.693
				NOx		E = – 0.00014·V^2 + 0.0225·V + 1.173
				MP		N/A
	Euro I	A	B (17)	CO	DIMEC	E = 188,3 · V ^ –0,64
				HC		E = 17,64 · V ^ –0,78
				NOx		E = 4,07 · V ^ –0,41
				MP		N/A
	Euro III	D	B (12)	CO	DIMEC	E = 5.97· V ^–0.45
				HC		E = 2.323 · V ^–0.82
				NOx		E = –1.00E–06· V^3 + 0.000258·V^2–0.013084·V + 0.522927
				MP		N/A

(Continuación Tabla 100)

Sub-Categoría	Norma	Respaldo Estadístico		Cont.	Recomendación	Expresión
		COPERT IV	DIMEC			
Pasajeros Diesel	Euro I	A	B (7)	CO	COPERT IV	E = 9,96E-01 + -1.88E-02 × V + 1.09E-04 × V²
				HC		E = (1,42E-01 + 1,38E-02 × V + 1,15E-05 × V²)/(1 + 1,38E-02 × V + -1,90E-05 × V²)
				NOx		E = (3,1+ -6,18E-03 × V + 4,22E-04 × V²)/(1 + 1,41E-01 × V + -5,03E-04 × V²)
				MP		E = 1,14E-01 + -2,33E-03 × V + 2,26E-05 × V²
	Euro III	D	B (5)	CO	COPERT IV	E = 1,69E-01 + -2,92E-03 × V + 1,25E-05 × V²+ 1,1/V
				HC		E = (9,65E-02 + -2,38E-04 × V + 1,93E-06 × V²)/(1 + 1,03E-01× V + -7,24E-05× V²)
				NOx		E = (2,82 + 6,69E-02 × V + -4,63E-04 × V²)/(1 + 1,98E-01 × V + -1,43E-03 × V²)
				MP		E = 5,15E-02 + -8,80E-04 × V + 8,12E-06 × V²
	Euro IV	D	B (3)	CO	COPERT IV	Ver nota 5
				HC		E = (3,47E-02+ -6,41E-04 × V + 1,12E-05 × V²)/(1 + 2,69E-02× V + 1,59E-03 × V²)
				NOx		E = 1,11 + -2,02E-02 × V + 1,48E-04 × V²
				MP		E = 4,50E-02 + -5,39E-04 × V + 3,48E-06 × V²

Nota: La ecuación para CO en la categoría Pasajeros Diesel Euro 4 es la siguiente:

$$CO = 17,5E-3+86,42\cdot\left[1+e^{\left(\frac{-V+117,67}{-21.99}\right)}\right]^{-1}$$ **Ecuación 40**

TABLA 101

Factores de emisión para vehículos comerciales, propuestos dentro del estudio CONAMA RM 2008

Subcategoría	Norma	Respaldo Estadístico		Cont.	Recomendación	Expresión
		COPERT IV	DIMEC			
Comerciales Gasolina	S/Catalítico	A	B (10)	CO	COPERT IV	$E = 57,789 + -1,5132 \times V + 0,01104 \times V^2$
				HC		$E = 5,4734 + -0,117 \times V + 67,7E-05 \times V^2$
				NOx		$E = 1,9547 + 0,0179 \times V$
				MP		N/A
	Euro I	A	B (10)	CO	COPERT IV	$E = 19,127 + -0,5215 \times V + 0,0037 \times V^2$
				HC		$E = 0,5462 + -0,01047 \times V + 5,77E-05 \times V^2$
				NOx		$E = 0,666 + -0,009 \times V + 7,55E-05 \times V^2$
				MP		N/A
	Euro III	D	B (10)	CO	COPERT IV	$E = (19,127 + -0,5215 \times V + 0,0037 \times V^2) \times (1- 0,48)$
				HC		$E = (0,5462 + -0,01047 \times V + 5,77E-05 \times V^2) \times (1- 0,86)$
				NOx		$E = (0,666 + -0,009 \times V + 7,55E-05 \times V^2) \times (1- 0,79)$
				MP		N/A

(Continuación Tabla 101)

Subcategoría	Norma	Respaldo Estadístico		Cont.	Recomendación	Expresión
		COPERT IV	DIMEC			
Comerciales Diesel	Euro I	A	B (9)	CO	COPERT IV	$E = 1{,}076 + - 0{,}026 \times V + 22{,}3E{-}05 \times V^2$
				HC		$E = 0{,}2162 + - 0{,}00284 \times V + 1{,}75E{-}05 \times V^2$
				NOx		$E = 2{,}0247 + - 0{,}03181 \times V + 24{,}1E{-}05 \times V^2$
				MP		$E = 0{,}1932 + - 0{,}004885 \times V + 4{,}5E{-}05 \times V^2$
	Euro III	D	B (9)	CO	COPERT IV	$E = (1{,}076 + - 0{,}026 \times V + 22{,}3E{-}05 \times V^2) \times (1 - 0{,}18)$
				HC		$E = (0{,}2162 + - 0{,}00284 \times V + 1{,}75E{-}05 \times V^2) \times (1 - 0{,}38)$
				NOx		$E = (2{,}0247 + - 0{,}03181 \times V + 24{,}1E{-}05 \times V^2) \times (1 - 0{,}16)$
				MP		$E = (0{,}1932 + - 0{,}004885 \times V + 4{,}5E{-}05 \times V^2) \times (1 - 0{,}33)$
	Euro IV	D	B (5)	CO	COPERT IV	$E = (1{,}076 + - 0{,}026 \times V + 22{,}3E{-}05 \times V^2) \times (1 - 0{,}35)$
				HC		$E = (0{,}2162 + - 0{,}00284 \times V + 1{,}75E{-}05 \times V^2) \times (1 - 77)$
				NOx		$E = (2{,}0247 + - 0{,}03181 \times V + 24{,}1E{-}05 \times V^2) \times (1 - 0{,}32)$
				MP		$E = (0{,}1932 + - 0{,}004885 \times V + 4{,}5E{-}05 \times V^2) \times (1 - 0{,}65)$

TABLA 102

Factores de emisión para camiones livianos, propuestos dentro del estudio CONAMA RM 2008

Norma	Cont.	Expresión	Constantes				
			a	b	c	d	e
Convencional	CO	E=(a+(b/(1+exp((((–1) · c)+(d · ln(V)))+(e · V)))))	1,33101	21,84497	–0,50497	0,31282	0,04756
	HC	E=(1/(((c · (V^2))+(b · V))+a))	0,11191	0,01586	0,00003	N/A	N/A
	NOx	E=((a+(b · V))+(((c–b) · (1–exp(((–1) · d) · V)))/d))	9,46863	0,04430	–0,32702	0,04443	N/A
	MP	E=((e+(a · exp(((–1) · b) · V)))+(c · exp(((–1) · d) · V)))	0,98445	0,05739	1,35753	0,26750	0,24668
Euro I	CO	E=((a+(b · V))+(((c–b) · (1–exp(((–1) · d) · V)))/d))	2,76261	0,00422	–0,13881	0,05544	N/A
	HC	E=((e+(a · exp(((–1) · b) · V)))+(c · exp(((–1) · d) · V)))	0,65568	0,04141	0,57990	0,17988	0,13036
	NOx	E=((a+(b · V))+(((c–b) · (1–exp(((–1) · d) · V)))/d))	8,13180	0,02422	–0,40716	0,06587	8,13180
	MP	E=(a+(b/(1+exp((((–1) · c)+(d · ln(V)))+(e · V)))))	0,09642	3,43780	–1,41939	0,24971	0,05487
Euro II	CO	E=(1/(((c · (V^2))+(b · V))+a))	0,25114	0,05609	–0,00040	N/A	N/A
	HC	E=((e+(a · exp(((–1) · b) · V)))+(c · exp(((–1) · d) · V)))	0,40811	0,03907	0,41562	0,17018	0,07849
	NOx	E=((a+(b · V))+(((c–b) · (1–exp(((–1) · d) · V)))/d))	8,95292	0,01950	–0,46074	0,06887	N/A
	MP	E=(1/(((c · (V^2))+(b · V))+a))	5,35203	0,43012	–0,00355	N/A	N/A
Euro III	CO	E=((e+(a · exp(((–1) · b) · V)))+(c · exp(((–1) · d) · V)))	1,84805	0,05096	1,93686	0,26974	0,38418
	HC	E=exp((a+(b/V))+(c · ln(V)))	1,61797	–3,95602	–0,92863	N/A	N/A
	NOx	E=((a · (V^b))+(c · (V^d)))	0,00737	1,21572	31,19256	–0,77024	N/A
	MP	E=((e+(a · exp(((–1) · b) · V)))+(c · exp(((–1) · d) · V)))	0,13963	0,04368	0,04259	0,13884	0,03679

Nota:
1. Recomendación indicada: COPERT IV.
2. Calidad de factor de emisión: B.

TABLA 103

Factores de emisión para camiones medianos, propuestos dentro del estudio CONAMA RM 2008

Norma	Cont.	Expresión	Constantes				
			a	b	C	d	e
Convencional	CO	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	7,53708	0,05691	11,81221	0,22768	1,64080
	HC	E=(a+(b/(1+exp((((–1)·c)+(d·ln(V)))+(e·V)))))	0,24376	7,10826	3,51237	1,60928	–0,00670
	NOx	E=((a+(b·V))+(((c–b)·(1–exp(((–1)·d)·V)))/d))	23,96352	0,02477	–1,01041	0,05861	N/A
	MP	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	1,12883	0,05529	2,07272	0,23151	0,25746
Euro I	CO	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	3,61193	0,05690	5,46378	0,27378	0,79032
	HC	E=(a+(b/(1+exp((((–1)·c)+(d·ln(V)))+(e·V)))))	0,17806	2,23782	3,89161	1,64983	–0,00256
	NOx	E=((a+(b·V))+(((c–b)·(1–exp(((–1)·d)·V)))/d))	16,14980	0,00592	–0,82536	0,07115	N/A
	MP	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	0,75056	0,05956	0,78475	0,19012	0,15621
Euro II	CO	E=(1/(((c·(V^2))+(b·V))+a))	0,13353	0,03011	–0,00020	N/A	N/A
	HC	E=(a+(b/(1+exp((((–1)·c)+(d·ln(V)))+(e·V)))))	0,12497	1,62341	3,17356	1,41627	0,00676
	NOx	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	12,01628	0,07187	1472,9743	1,22281	5,03805
	MP	E=((a+(b·V))+(((c–b)·(1–exp(((–1)·d)·V)))/d))	0,29584	0,00221	–0,00987	0,02931	N/A
Euro III	CO	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	3,66458	0,05637	5,23029	0,22941	0,73169
	HC	E=(a+(b/(1+exp((((–1)·c)+(d·ln(V)))+(e·V)))))	0,08374	1,32104	4,53135	1,89349	–0,01039
	NOx	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	8,83992	0,05821	32,81191	0,32466	3,75961
	MP	E=(a+(b/(1+exp((((–1)·c)+(d·ln(V)))+(e·V)))))	0,00753	0,48178	4,57741	1,88064	–0,02242

Nota:
1. Recomendación indicada: COPERT IV.
2. Calidad de factor de emisión: B.

TABLA 104

Factores de emisión para camiones pesados, propuestos dentro del estudio CONAMA RM 2008

Norma	Cont.	Expresión	Constantes				
			a	b	c	d	e
Convencional	CO	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	8,13412	0,05421	15,86435	0,27532	1,64310
	HC	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	1,53168	0,02452	5,36992	0,12401	0,24634
	NOx	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	20,11845	0,04617	94,28352	0,53788	9,89341
	MP	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	1,43156	0,04901	2,59732	0,24736	0,35539
Euro I	CO	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	5,73535	0,05148	13,72923	0,27700	1,34370
	HC	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	1,36913	0,03008	4,16528	0,13081	0,32133
	NOx	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	14,76494	0,04714	93,36928	0,55074	6,93778
	MP	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	1,19643	0,04966	2,79764	0,21110	0,24625
Euro II	CO	E=(1/(((c·(V^2))+(b·V))+a))	0,07792	0,01741	–0,00011	N/A	N/A
	HC	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	0,82801	0,02481	2,67001	0,12488	0,16291
	NOx	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	16,40014	0,04782	55,70027	0,44467	7,20537
	MP	E=((a+(b·V))+(((c–b)·(1–exp(((–1)·d)·V)))/d))	0,52247	0,00449	–0,01628	0,02492	N/A
Euro III	CO	E=(a+(b/(1+exp(((((–1)·c)+(d·ln(x)))+(e·V)))))	1,24588	103,70054	–1,39063	0,54345	0,03901
	HC	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	0,71588	0,02347	2,79878	0,12346	0,13594
	NOx	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	14,57250	0,05104	45,65188	0,30924	5,58301
	MP	E=((e+(a·exp(((–1)·b)·V)))+(c·exp(((–1)·d)·V)))	0,42445	0,04164	0,86433	0,15995	0,10082

Nota:
1. Recomendación indicada: COPERT IV.
2. Calidad de factor de emisión: B.

TABLA 105

Factores de emisión para buses, propuestos dentro del estudio CONAMA RM 2008

Subcategoría	Norma	Respaldo Estadístico		Contaminante	Recomendación	Expresión
		COPERT IV	DIMEC			
Pre-Transantiago	Euro I	S/I	B (6)	CO	Experimental Extrapolado	$E=a\cdot V^b$
				HC		$E=a\cdot V^b$
				NOx		$E=a\cdot V^b$
				MP	Promedio	$E=(1/(((c\cdot(V^2))+(b\cdot V))+a))\cdot 1{,}83$
	Euro II	S/I	B (7)	CO	Experimental Extrapolado	$E=a\cdot V^b$
				HC		$E=a\cdot V^b$
				NOx		$E=a\cdot V^b$
				MP	Promedio	$E=(c+(a\cdot\exp(b\cdot V)))\cdot 2{,}76$
	Euro III	S/I	B (6)	CO	Experimental Extrapolado	$E=a\cdot V^b$
				HC		$E=a\cdot V^b$
				NOx		$E=a\cdot V^b$
				MP	Promedio	$E=((e+(a\cdot\exp(((-1)\cdot b)\cdot V)))+(c\cdot\exp(((-1)\cdot d)\cdot V)))\cdot 1{,}12$
Transantiago	Rig.-Euro III	S/I	B (7)	CO	Experimental Extrapolado	$E=a\cdot V^b$
				HC		$E=a\cdot V^b$
				NOx		$E=a\cdot V^b$
				MP	Promedio	$E=((e+(a\cdot\exp(((-1)\cdot b)\cdot V)))+(c\cdot\exp(((-1)\cdot d)\cdot V)))\cdot 1{,}13$
	Art.-Euro III	S/I	B (7)	CO	Experimental Extrapolado	$E=a\cdot V^b$
				HC		$E=a\cdot V^b$
				NOx		$E=a\cdot V^b$
				MP	Promedio	$E=(c+(a\cdot\exp(b\cdot V)))\cdot 2{,}31$

Diciembre 2009
Se autoriza la reproducción total o parcial de esta publicación señalando la fuente.

ANDROS IMPRESORES
www.androsimpresores.cl

www.retc.cl