

GUÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA REGIÓN METROPOLITANA



Capítulo: 6. Combustión de Maquinaria Fuera de Ruta.

Versión: Junio 2020.

6 COMBUSTIÓN DE MAQUINARIA FUERA DE RUTA

La siguiente metodología está basada en dos documentos, en primer lugar, en el “Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling” (EPA, 2002), que aporta con la fórmula general de obtención de emisiones, y en segundo lugar, en el capítulo 1.A.4 Non Road Mobile Machinery (EMEP/EEA, 2019b), que aporta con factores de emisión y parámetros más actualizados que los indicados por la EPA.

El algoritmo de esta metodología está dado por la Ec. 1.

$$E_{i,j} = h \times P_i \times (1 + FD_i) \times FC_i \times TAF_i \times FE_{Base\ i,j} \quad \text{EC. 1}$$

Dónde:

- $E_{i,j}$: Emisiones del contaminante j, de la maquinaria i, en [g/año].
- h_i : Horas de utilización de la maquinaria i, en [h/año].
- P_i : Potencia del tipo de maquinaria i, en [kW].
- FD_i : Factor de deterioro de la maquinaria i, adimensional.
- FC_i : Factor de carga de la maquinaria i, adimensional.
- TAF_i : Factor de ajuste transiente de la maquinaria i, adimensional.
- FE_{Base} : Factor de emisión del contaminante j, de la maquinaria i, en [g/kWh]

A su vez, el Factor de Deterioro (FD), está dado por la Ec. 2.

$$FD = \frac{K}{VU} \times FD_{VU} \quad \text{EC. 2}$$

Dónde:

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

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

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

- a) FD_{VU} :

A continuación, en la Tabla 6.1 se presentan los factores de deterioro relativos a la vida útil, para distintos contaminantes y tipos de tecnología.

TABLA 6.1. FACTOR DE DETERIORO RELATIVO A LA VIDA ÚTIL DE MAQUINARIA DIÉSEL.¹

Tecnología	MP ²	NOx	CO	COV
Previo a Stage I	0,473	0,024	0,185	0,047
Stage I	0,473	0,024	0,101	0,036
Stage II	0,473	0,009	0,101	0,034
Stage IIIA, IIIB, IV, V	0,473	0,008	0,151	0,027

b) *VU*:

Por otro lado, los valores estándar de la vida útil de distintas maquinarias, pueden observarse en la Tabla 6.2.

TABLA 6.2. VIDA ÚTIL DE MAQUINARIA.³

Maquinaria	Vida útil [años]
Asfaltadora	10
Bomba hormigonera	15
Cargador	10
Cargador telescópico	14
Compactadora	14
Excavadora	10
Minicargador	14
Motoniveladora	10
Montacargas	20
Placa vibradora	10
Plataforma elevadora	10
Retroexcavadora	10
Otras maquinarias pesadas	10

c) *FC*:

Para el factor de carga, en base a lo señalado en (Caterpillar, 2017), y considerando un escenario conservador, se debe utilizar un valor de 0,8 para todas las maquinarias fuera de ruta.

d) *TAF*:

Para el factor de ajuste transiente, contamos con los valores presentados en la Tabla 6.3. Estos dependen del FC y de la tecnología de la maquinaria.

TABLA 6.3. FACTOR DE AJUSTE TRANSIENTE PARA MAQUINARIA DIÉSEL.⁴

Nivel tecnológico	Factor de carga	MP ⁵	NOx	CC	CO	COV
Stage II y previos		1,23	0,95	1,01	1,53	1,05
Stage IIIA	FC > 0,45	1,47	1,04	1,01	1,53	1,05
Stage IIIB-V		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Stage II y previos	0,25 ≤ FC ≤ 0,45	1,6	1,025	1,095	2,05	1,67
Stage IIIA		1,92	1,125	1,095	2,05	1,67

¹ (EMEP/EEA, 2019b), Tabla 3-11.

² Aplicar este factor tanto para MP10 como para MP2,5.

³ (EMEP/EEA, 2019b), Tabla C1.

⁴ (EMEP/EEA, 2019b), Tabla 3-14.

⁵ Aplica tanto para MP10 como para MP2,5.

Stage IIIB-V		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Stage II y previos		1,97	1,10	1,18	2,57	2,29
Stage IIIA	FC < 0,25	2,37	1,21	1,18	2,57	2,29
Stage IIIB-V		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

e) FE_{Base} :

Y finalmente, los factores de emisión base, según potencia, tecnología y contaminante, se presentan en la Tabla 6.4.

TABLA 6.4. FACTORES DE EMISIÓN BASE PARA MAQUINARIA FUERA DE RUTA DIÉSEL.⁶

Potencia [kW]	Tecnología	MP10 [$\frac{g}{kWh}$]	MP2,5 [$\frac{g}{kWh}$]	NOx [$\frac{g}{kWh}$]	CC [$\frac{g}{kWh}$]	SOx ⁷ [$\frac{g}{kWh}$]	NH ₃ [$\frac{g}{kWh}$]	CO [$\frac{g}{kWh}$]	COV [$\frac{g}{kWh}$]
P < 8	1991-Stage I	1,600	1,600	11,20	270	0,0081	0,002	5,000	2,500
	Stage V	0,400	0,400	6,080	270	0,0081	0,002	4,800	0,680
8 ≤ P < 19	1991-Stage I	1,600	1,600	11,20	270	0,0081	0,002	5,000	2,500
	Stage V	0,400	0,400	6,080	270	0,0081	0,002	3,960	0,680
19 ≤ P < 37	1991-Stage I	1,400	1,400	9,800	262	0,0079	0,002	4,500	1,800
	Stage II	0,400	0,400	6,500	262	0,0079	0,002	2,200	0,600
	Stage IIIA	0,400	0,400	6,080	262	0,0079	0,002	2,200	0,600
	Stage V	0,015	0,015	3,810	262	0,0079	0,002	2,200	0,420
37 ≤ P < 56	1991-Stage I	0,800	0,800	11,50	260	0,0078	0,002	4,500	1,500
	Stage I	0,400	0,400	7,700	260	0,0078	0,002	2,200	0,600
	Stage II	0,200	0,200	5,500	260	0,0078	0,002	2,200	0,400
	Stage IIIA	0,200	0,200	3,810	260	0,0078	0,002	2,200	0,400
	Stage IIIB	0,025	0,025	3,810	260	0,0078	0,002	2,200	0,280
	Stage V	0,015	0,015	3,810	260	0,0078	0,002	2,200	0,280
56 ≤ P < 75	1991-Stage I	0,800	0,800	11,50	260	0,0078	0,002	4,500	1,500
	Stage I	0,400	0,400	7,700	260	0,0078	0,002	2,200	0,600
	Stage II	0,200	0,200	5,500	260	0,0078	0,002	2,200	0,400
	Stage IIIA	0,200	0,200	3,810	260	0,0078	0,002	2,200	0,400
	Stage IIIB	0,025	0,025	2,970	260	0,0078	0,002	2,200	0,280
	Stage IV	0,025	0,025	0,400	260	0,0078	0,002	2,200	0,280
	Stage V	0,015	0,015	0,400	260	0,0078	0,002	2,200	0,130
75 ≤ P < 130	1991-Stage I	0,400	0,400	13,30	255	0,0077	0,002	3,500	1,200
	Stage I	0,200	0,200	8,100	255	0,0077	0,002	1,500	0,400
	Stage II	0,200	0,200	5,200	255	0,0077	0,002	1,500	0,300
	Stage IIIA	0,200	0,200	3,240	255	0,0077	0,002	1,500	0,300
	Stage IIIB	0,025	0,025	2,970	255	0,0077	0,002	1,500	0,130

⁶ (EMEP/EEA, 2019b), Tabla 3-6.

⁷ Se utiliza la metodología descrita en el Capítulo 5, considerando que el diésel tiene un contenido de azufre de 15 ppm.

Potencia [kW]	Tecnología	MP10 [$\frac{g}{kWh}$]	MP2,5 [$\frac{g}{kWh}$]	NOx [$\frac{g}{kWh}$]	CC [$\frac{g}{kWh}$]	SOx ⁷ [$\frac{g}{kWh}$]	NH ₃ [$\frac{g}{kWh}$]	CO [$\frac{g}{kWh}$]	COV [$\frac{g}{kWh}$]
	Stage IV	0,025	0,025	0,400	255	0,0077	0,002	1,500	0,130
	Stage V	0,015	0,015	0,400	255	0,0077	0,002	1,500	0,130
130 ≤ P < 560	1991-Stage I	0,400	0,400	11,20	250	0,0075	0,002	2,500	0,500
	Stage I	0,200	0,200	7,600	250	0,0075	0,002	1,500	0,300
	Stage II	0,100	0,100	5,200	250	0,0075	0,002	1,500	0,300
	Stage IIIA	0,100	0,100	3,240	250	0,0075	0,002	1,500	0,300
	Stage IIIB	0,025	0,025	1,800	250	0,0075	0,002	1,500	0,130
	Stage IV	0,025	0,025	0,400	250	0,0075	0,002	1,500	0,130
	Stage V	0,015	0,015	0,400	250	0,0075	0,002	1,500	0,130
560 < P	Stage V	0,045	0,045	3,500	250	0,0075	0,002	1,500	0,130

El **nivel de actividad** corresponde a las horas anuales de utilización de cada maquinaria usada en el proyecto. Estas horas deben estar justificadas en base al rendimiento de las maquinarias, y al material tratado, y en caso de no ser factible esa justificación, se deben indicar las horas diarias y los días al año de utilización.

Cabe señalar, que para efectos de esta Guía, se considerará la equivalencia entre los estándares de emisiones europeos y estadounidenses, mostrada en la Tabla 6.5.

TABLA 6.5. EQUIVALENCIA EN ESTÁNDARES DE EMISIONES

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

Además, se aclara que la estimación de emisiones del proyecto deberá considerar toda la maquinaria fuera de ruta utilizada en este, sin omitir maquinarias como bombas de hormigón, niveladoras, compactadoras, entre otras. En particular, se deberán considerar las emisiones del camión Mixer al momento de la entrega de hormigón en obra. Para esto, se considerará la potencia necesaria para mantener la betonera del camión en movimiento, más un tiempo de estadía en obra de 7 [min/m³] de hormigón (CDT), equivalente a 8,57 [m³/h].

Por último, todos los valores de potencias y rendimientos de las maquinarias deberán ser justificados con sus respectivas fichas técnicas. Además, cuando se utilicen maquinarias Stage IIIA/Tier 3 o superiores, debe incluirse el compromiso voluntario de presentar al momento de ejecutar el proyecto, los medios de verificación adecuados a la Superintendencia del Medio Ambiente (contratos de arriendo, facturas de compra, fichas técnicas, etc.), de manera de asegurar que no se utilizará maquinaria más contaminante en los proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

Caterpillar Caterpillar Performance Handbook. - 2017.

CDT Especificar [En línea]// La plataforma de apoyo online a la especificación técnica. - 2019. - <http://www.especificar.cl/fichas/hormigon-1>.

EMEP/EEA EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook, Ch. 1.A.4 Non Road Mobile Machinery. - 2019b.

EPA Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling. - 2002.

Créditos imagen de portada: [“Maquinaria”](#) de [Alex Banner](#), licencia [Pixabay](#).