

ANEXO 4. FACTORES DE EMISIÓN POR COMBUSTIÓN

La EAB – ESP estableció factores de emisión asociados al N_2O y CH_4 , producto de la combustión de biogás, gasolina, ACPM y gas natural, aplicando metodologías establecidas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático- (IPCC por sus siglas en inglés), y para el caso de la combustión del gas acetileno la EAB-ESP decidió calcular su propio factor de emisión utilizando la metodología propuesta por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y ecuaciones de combustión.

A continuación se establece la descripción de los factores de emisión:

1.1 BIOGÁS

Se consideran las emisiones generadas en la combustión de biogás, producidas en la PTAR Salitre, producto de la estabilización de lodo generado en el tratamiento de agua residual. Esta estabilización se realiza en 3 digestores anaerobios, gracias a la acción de una serie de procesos microbiológicos encadenados, los cuales son requeridos para descomponer la materia orgánica, y transformarla en agua y biogás.

El biogás se produce en la última fase de la digestión anaerobia, y los parámetros de combustión han sido ajustados para reducir el consumo de ACPM en las calderas; aprovechando el 30% en calderas y quemando el 70% en teas.

Biogás Óxido Nitroso (N_2O)

Factor Emisión IPCC: $0,1 \text{ Kg } N_2O/TJ^1$

Poder Calorífico FECOC²: $23,30 \text{ MJ}/Nm^3$

Potencial de calentamiento global N_2O : 298

De acuerdo a la información obtenida por las fuentes bibliográficas se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$23,30 \frac{\text{MJ}}{\text{Nm}^3} * \frac{1TJ}{1'000.000MJ} = 0,0000233 \frac{TJ}{\text{Nm}^3}$$

$$0,1 \frac{\text{Kg}N_2O}{TJ} * 0,0000233 \frac{TJ}{\text{Nm}^3} = 0,00000233 \frac{\text{Kg}N_2O}{\text{Nm}^3}$$

¹ Tomado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php

² FECOC: factores de emisión de los combustibles colombianos

Con el fin de obtener las emisiones en Ton CO₂/año, se utiliza el potencial de calentamiento global del N₂O del GHG Protocol.

$$0,00000233 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{Nm}^3} * \text{PCG N}_2\text{O}$$

$$0,00000233 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{Nm}^3} * 298 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Kg N}_2\text{O}} = 0,0006943 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Nm}^3}$$

Factor de emisión N₂O = 0,0006943 $\frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Nm}^3}$

De acuerdo a estas ecuaciones y la relación entre el potencial de calentamiento global del N₂O, se estima que por el total de la producción de Biogás del año 2014 (5.322.771 Nm³/año) se generan aproximadamente 3,7 tCO₂, representando un 0,0073% del total de emisiones del inventario GEI 2014 de la EAB-ESP.

$$5'322.771 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Año}} * 0,0006943 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Nm}^3} = 3.695,6 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Año}} = 3,7 \frac{\text{t CO}_2\text{e}}{\text{Año}}$$

Biogás Metano (CH₄)

Factor Emisión IPCC: 1 kgCH₄/TJ³

Poder Calorífico FECOC: 23,30 MJ/Nm³⁴

Potencial de calentamiento global CH₄: 25

De acuerdo a la información obtenida por las fuentes bibliográficas se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$23,30 \frac{\text{MJ}}{\text{Nm}^3} * \frac{1\text{TJ}}{1'000.000\text{MJ}} = 0,0000233 \frac{\text{TJ}}{\text{Nm}^3}$$

$$1 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{TJ}} * 0,0000233 \frac{\text{TJ}}{\text{Nm}^3} = 0,0000233 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{Nm}^3}$$

Con el fin de obtener las emisiones en tCO₂/año, se utiliza el potencial de calentamiento global del CH₄ del GHG Protocol.

³ Tomado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php

⁴ FECOC: factores de emisión de los combustibles colombianos

$$0,0000233 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{Nm}^3} * \text{PCG CH}_4$$

$$0,0000233 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{Nm}^3} * 25 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Kg CH}_4} = 0,0005825 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Nm}^3}$$

Factor de emisión CH₄ = 0,0005825 $\frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Nm}^3}$

De acuerdo a estas ecuaciones y la relación entre el potencial de calentamiento global del CH₄, se estima que por el total de la producción de Biogás al año (5.322.771 Nm³/año) se generan aproximadamente 3,1 tCO₂ representando un 0,0061% del total de emisiones del inventario GEI 2014 de la EAB-ESP.

$$5'322.771 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Año}} * 0,0005825 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Nm}^3} = 3100,5 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Año}} = 3,1 \frac{\text{t CO}_2\text{e}}{\text{Año}}$$

1.2 GASOLINA

Teniendo en cuenta la información suministrada por la Federación Nacional de Combustibles de Colombia, se tiene que la EAB- ESP se ubica en una zona donde predominan las siguientes características en las mezclas:

- Gasolina: 92% Gasolina y 8% Bioetanol.

Gasolina Óxido Nitroso (N₂O):

Factor Emisión IPCC: 2 kg N₂O/TJ⁵
 Poder Calorífico FECOC: 42,44 MJ/Kg
 Potencial de calentamiento global N₂O: 298
 Densidad Gasolina: 742,08 Kg/m³

De acuerdo a la información obtenida por las fuentes bibliográficas se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$42,44 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} * \frac{1\text{TJ}}{1'000.000\text{MJ}} = 0,00004244 \frac{\text{TJ}}{\text{Kg}}$$

⁵ Tomado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php

$$2 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} * 0,00004244 \frac{\text{TJ}}{\text{Kg}} = 0,00008488 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{Kg}}$$

Tomando la densidad de la gasolina se obtiene:

$$742,08 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{\text{m}^3}{1000\text{lt}} = 0,74208 \frac{\text{Kg}}{\text{Lt}} * \frac{3,7854 \text{ lt}}{\text{gal}} = 2,8090 \frac{\text{Kg}}{\text{gal}}$$

$$0,00008488 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{Kg}} * 2,8090 \frac{\text{Kg}}{\text{gal}} = 0,0002384 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{gal}}$$

Con el fin de obtener las emisiones en tCO₂/año, se utiliza el potencial de calentamiento global del N₂O del GHG Protocol.

$$0,0002384 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{gal}} * \text{PCG N}_2\text{O}$$

$$0,0002384 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{gal}} * 298 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Kg N}_2\text{O}} = 0,07105 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{gal}}$$

Factor de emisión N₂O = 0,071 $\frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{gal}}$

De acuerdo a estas ecuaciones y a la relación entre el potencial de calentamiento global del N₂O, se estima que por el consumo de gasolina del año 2014 (252.970,05 gal/año) se generan aproximadamente 17,97 tCO₂ representando un 0,03% del total de emisiones del inventario GEI 2014 de la EAB-ESP.

$$252.970,05 \frac{\text{gal}}{\text{Año}} * 0,07105 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{gal}} = 17.973,52 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Año}} = 17,97 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{Año}}$$

Gasolina Metano (CH₄):

Factor Emisión IPCC: 50 kgCH₄/TJ⁶
 Poder Calorífico FECOC: 42,44 MJ/Kg
 Potencial de calentamiento global CH₄: 25
 Densidad Gasolina: 742,08 Kg/m³

De acuerdo a la información obtenida por las fuentes bibliográficas se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$42,44 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} * \frac{1\text{TJ}}{1'000.000\text{MJ}} = 0,00004244 \frac{\text{TJ}}{\text{Kg}}$$

$$50 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{TJ}} * 0,00004244 \frac{\text{TJ}}{\text{Kg}} = 0,002122 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{Kg}}$$

Tomando la densidad de la gasolina se obtiene:

$$742,08 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{\text{m}^3}{1000\text{lt}} = 0,74208 \frac{\text{Kg}}{\text{Lt}} * \frac{3,7854 \text{ lt}}{\text{gal}} = 2,8090 \frac{\text{Kg}}{\text{gal}}$$

$$0,002122 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{Kg}} * 2,8090 \frac{\text{Kg}}{\text{gal}} = 0,00596 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{gal}}$$

Con el fin de obtener las emisiones en tCO₂/año, se utiliza el potencial de calentamiento global del CH₄ del GHG Protocol.

$$0,00596 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{gal}} * \text{PCG CH}_4$$

$$0,00596 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{gal}} * 25 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Kg CH}_4} = 0,1490 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{gal}}$$

Factor de emisión CH₄ = 0,149 $\frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{gal}}$

De acuerdo a estas ecuaciones y la relación entre el potencial de calentamiento global del CH₄, se estima que por el consumo de gasolina del año 2014 (25.2970,05 gal/año) se generan

⁶ Tomado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php

aproximadamente 37,7 tCO₂, representando un 0,074% del total de emisiones del inventario GEI 2014 de la EAB-ESP.

$$25.2970,05 \frac{\text{gal}}{\text{Año}} * 0,1490 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{gal}} = 37.692,53 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Año}} = 37,7 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{Año}}$$

1.3 ACPM

Teniendo en cuenta la información suministrada por la Federación Nacional de Combustibles de Colombia, se tiene que la EAB- ESP se ubica en una zona donde predominan las siguientes características en las mezclas:

- ACPM: 92 % ACPM y 8% Biodiesel.

ACPM Óxido Nitroso (N₂O)

Factor Emisión IPCC: 28,6 kg N₂O/TJ⁷
 Poder Calorífico FECOC: 42,37 MJ/Kg
 Potencial de calentamiento global N₂O: 298
 Densidad ACPM: 869,94 Kg/m³

De acuerdo a la información obtenida por las fuentes bibliográficas se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$42,37 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} * \frac{1\text{TJ}}{1'000.000\text{MJ}} = 0,00004237 \frac{\text{TJ}}{\text{Kg}}$$

$$28,6 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} * 0,00004237 \frac{\text{TJ}}{\text{Kg}} = 0,00121 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{Kg}}$$

Tomando la densidad del ACPM se obtiene:

$$869,94 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{\text{m}^3}{1000\text{lt}} = 0,87 \frac{\text{Kg}}{\text{Lt}} * \frac{3,7854 \text{ lt}}{\text{gal}} = 3,29 \frac{\text{Kg}}{\text{gal}}$$

$$0,00121 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{Kg}} * 3,29 \frac{\text{Kg}}{\text{gal}} = 0,0040 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{gal}}$$

Con el fin de obtener las emisiones en tCO₂/año, se utiliza el potencial de calentamiento global del N₂O del GHG Protocol.

⁷ Tomado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php

$$0,0040 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{gal}} * \text{PCG N}_2\text{O}$$

$$0,0040 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{gal}} * 298 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Kg N}_2\text{O}} = 1,187 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{gal}}$$

Factor de emisión N₂O = 0,187 $\frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{gal}}$

De acuerdo a estas ecuaciones y a la relación entre el potencial de calentamiento global del N₂O, se estima que por el consumo de ACPM del año 2014 (211.944,09 gal/año) se generan aproximadamente 251,66 tCO₂ representando un 0.49% del total de emisiones del inventario GEI 2014 de la EAB-ESP.

$$211.944,09 \frac{\text{gal}}{\text{Año}} * 1,187 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{gal}} = 25.1577,6 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Año}} = 251,6 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{Año}}$$

ACPM Metano (CH₄)

Factor Emisión IPCC: 4,15 kgCH₄/TJ⁸

Poder Calorífico FECOC: 42,37 MJ/Kg

Potencial de calentamiento global CH₄: 25

Densidad ACPM: 869,94 Kg/m³

De acuerdo a la información obtenida por las fuentes bibliográficas se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$42,37 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} * \frac{1\text{TJ}}{1'000.000\text{MJ}} = 0,00004237 \frac{\text{TJ}}{\text{Kg}}$$

$$4,15 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{TJ}} * 0,00004237 \frac{\text{TJ}}{\text{Kg}} = 0,0001758 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{Kg}}$$

Tomando la densidad del ACPM se obtiene:

$$869,94 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{\text{m}^3}{1000\text{lt}} = 0,86994 \frac{\text{Kg}}{\text{Lt}} * \frac{3,7854 \text{lt}}{\text{gal}} = 3,2930 \frac{\text{Kg}}{\text{gal}}$$

$$0,0001758 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{Kg}} * 3,2930 \frac{\text{Kg}}{\text{gal}} = 0,0005789 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{gal}}$$

⁸ Tomado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php

Con el fin de obtener las emisiones en tCO₂/año, se utiliza el potencial de calentamiento global del CH₄ del GHG Protocol.

$$0,0005789 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{gal}} * \text{PCG CH}_4$$

$$0,0005789 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{gal}} * 25 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Kg CH}_4} = 0,01447 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{gal}}$$

$$\text{Factor de emisión CH}_4 = 0,014 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{gal}}$$

De acuerdo a estas ecuaciones y la relación entre el potencial de calentamiento global del CH₄, se estima que por el consumo de ACPM 211.944,09 gal/año se generan aproximadamente 3,07 tCO₂, representando un 0,006% del total de emisiones del inventario GEI 2014 de la EAB-ESP.

$$211.944,09 \frac{\text{gal}}{\text{Año}} * 0,01447 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{gal}} = 3066,83 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Año}} = 3,07 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{Año}}$$

1.4 GAS NATURAL

Gas Natural Óxido Nitroso (N₂O)

Factor Emisión IPCC: 0,6 kg N₂O /TJ⁹

Poder Calorífico FECOC: 33,80 MJ/Nm³

Potencial de calentamiento global N₂O: 298

De acuerdo a la información obtenida por las fuentes bibliográficas se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$33,80 \frac{\text{MJ}}{\text{Nm}^3} * \frac{1\text{TJ}}{1'000.000\text{MJ}} = 0,0000338 \frac{\text{TJ}}{\text{Nm}^3}$$

$$0,6 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} * 0,0000338 \frac{\text{TJ}}{\text{Nm}^3} = 0,00002028 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{Nm}^3}$$

Con el fin de obtener las emisiones en tCO₂/año, se utiliza el potencial de calentamiento global del N₂O del GHG Protocol.

⁹ Tomado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php

$$0,00002028 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{Nm}^3} * \text{PCG Nm}^3$$

$$0,00002028 \frac{\text{KgN}_2\text{O}}{\text{Nm}^3} * 298 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Kg N}_2\text{O}} = 0,00604 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Nm}^3}$$

$$\text{Factor de emisión N}_2\text{O} = 0,00604 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Nm}^3}$$

De acuerdo a estas ecuaciones y la relación entre el potencial de calentamiento global del N₂O, se estima que por el consumo de Gas Natural del año 2014 (14.922 Nm³/año) se generan aproximadamente 0,090 tCO₂, representando un 0,0002% del total de emisiones del inventario GEI 2014 de la EAB-ESP.

$$14.922 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Año}} * 0,00604 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Nm}^3} = 90,18 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Año}} = 0,090 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{Año}}$$

Gas Natural Metano (CH₄)

Factor Emisión IPCC: 3 kgCH₄/TJ¹⁰
 Poder Calorífico FECOC: 33,80 MJ/Nm³
 Potencial de calentamiento global CH₄: 25

De acuerdo a la información obtenida por las fuentes bibliográficas se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$33,80 \frac{\text{MJ}}{\text{Nm}^3} * \frac{1\text{TJ}}{1'000.000\text{MJ}} = 0,0000338 \frac{\text{TJ}}{\text{Nm}^3}$$

$$3 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{TJ}} * 0,0000338 \frac{\text{TJ}}{\text{Nm}^3} = 0,0001014 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{Nm}^3}$$

Con el fin de obtener las emisiones en tCO₂/año, se utiliza el potencial de calentamiento global del CH₄ del GHG Protocol.

$$0,0001014 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{Nm}^3} * \text{PCG CH}_4$$

¹⁰ Tomado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php
 M4MI0117F01 – 01

$$0,0001014 \frac{\text{KgCH}_4}{\text{Nm}^3} * 25 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Kg CH}_4} = 0,002535 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Nm}^3}$$

Factor de emisión CH₄ = 0,00253 $\frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Nm}^3}$

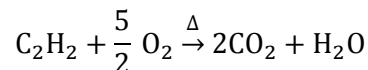
De acuerdo a estas ecuaciones y la relación entre el potencial de calentamiento global del CH₄, se estima que por el consumo de Gas Natural del año 2014 (14.922 Nm³/año) se generan aproximadamente 0,038 tCO₂, representando un 0,0001% del total de emisiones del inventario GEI 2014 de la EAB-ESP.

$$14.922 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Año}} * 0,002535 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Nm}^3} = 37,8272 \frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{Año}} = 0,038 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{Año}}$$

1.5 ACETILENO

Teniendo en cuenta que no existen en el factores de emisión de los combustibles colombianos (FECOC) factores de emisión asociados al acetileno y con el ánimo de obtener datos de emisiones coherentes con los lineamientos metodológicos usados para el cálculo, y que cumplan con los principios de los inventarios GEI; la EAB-ESP decidió calcular su propio factor de emisión utilizando la metodología propuesta por la Unidad de planeación minero energética (UPME) en el FECOC y las ecuaciones de combustión que se presentan a continuación:

Ecuación de la combustión del Acetileno



De acuerdo a esta ecuación y teniendo en cuenta la relación entre el peso molecular del acetileno (C₂H₂) y CO₂, en una combustión estequiometria, se estima que la oxidación de 1 tonelada de C₂H₂ genera 3,38 tCO₂. Una mayor explicación de la obtención de este factor se puede encontrar a continuación:

1. Se calcula el peso molecular del Acetileno y el CO₂

Pesos moleculares	g/mol
Hidrogeno	1,00
Carbono	12,01
Oxigeno	15,99

1 mol	g/mol
C_2H_2	26,03
CO_2	44,00

2. De acuerdo a la ecuación de combustión se obtiene el factor de emisión:

Relación Combustión de Acetileno (C_2H_2)

1g de C_2H_2 genera	3,38	g de CO_2
1kg de C_2H_2 genera	3,38	kg de CO_2

3. Finalmente se obtienen las emisiones de acetileno, teniendo en cuenta el total de consumo anual:

CONSUMO 2014	
Total C_2H_2 (Kg)	212,50
<u>tCO₂ Generado</u>	<u>0,72</u>