



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA
SEMESTRE 2024-2



EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE EMISIONES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE CICLO COMBINADO VALLE HERMOSO PARA EL 2022.

ENTREGABLE VII. DOCUMENTO RESULTADOS DE CONCENTRACIONES DE EMISIONES

ESTANCIA ACADÉMICA (0216)
A MARZO DE 2024

TUTOR

Dr. José Agustín García Reynoso
Instituto de Ciencias de la Atmósfera y
Cambio Climático
agustin@atmosfera.unam.mx
(+52) 55 56 22 43 96

ALUMNO

Adriana Cruz Rosales
Facultad de Química
No. de cuenta: 419014526
adrianarosales@comunidad.unam.mx
(+52) 999 272 41 08

ÍNDICE

ÍNDICE	2
ÍNDICE DE TABLAS	2
ÍNDICE DE FIGURAS	2
DOCUMENTO RESULTADOS DE CONCENTRACIONES DE EMISIONES	3
Mapas de dispersión de emisiones	3
Cálculo de concentración	6
<i>Emisiones</i>	7
<i>Factor de dilución</i>	7
<i>Tasa de emisión</i>	8
<i>Factor de emisión</i>	9
<i>Capacidad y generación eléctrica</i>	9
Memoria de cálculo	11
<i>Ejemplo de cálculo de concentración con óxidos de azufre SO_x</i>	11
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13
ANEXO	15

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de factores de dilución en (mass/m ³)	8
Tabla 2. Resultados. Niveles de concentración.	10

ÍNDICE DE FIGURAS

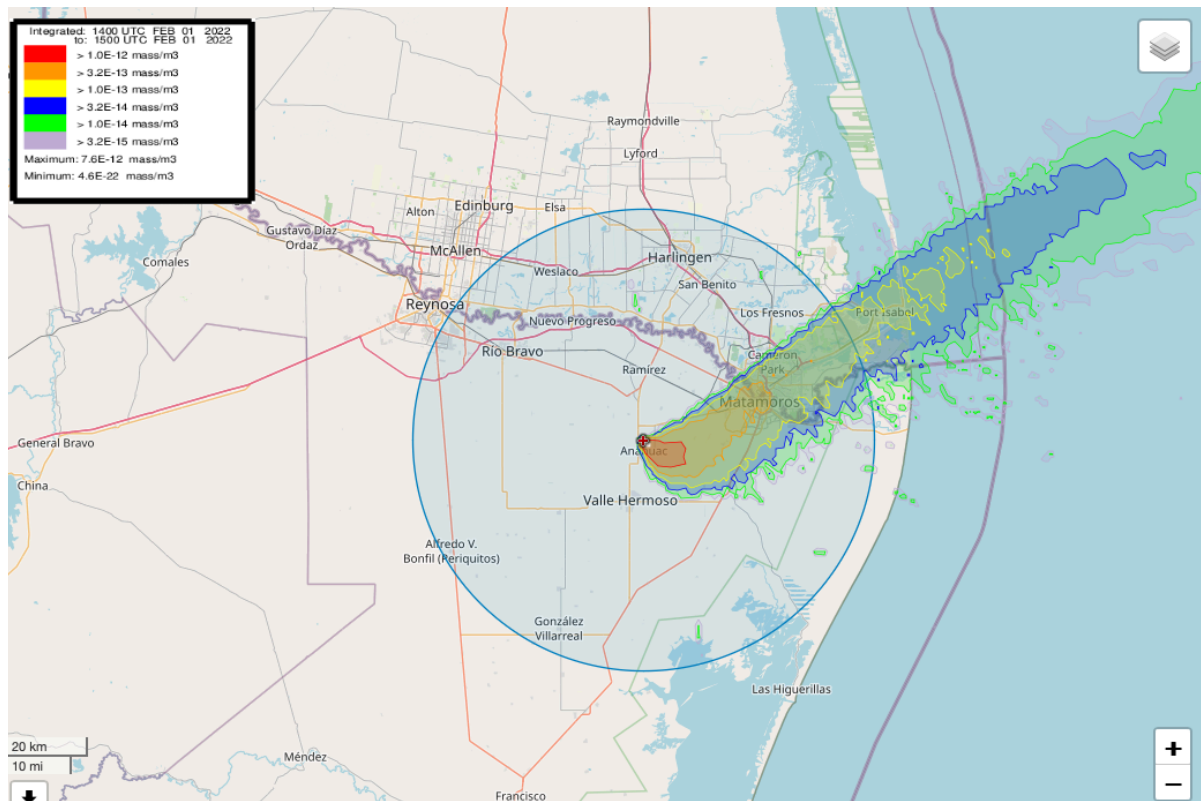
Figura 1.	
Mapa de dispersión de emisiones (mass/m ³) con datos del 01 de febrero de 2022.	3
Figura 2.	
Mapa de dispersión de emisiones (mass/m ³) con datos del 01 de mayo de 2022.	4
Figura 3.	
Mapa de dispersión de emisiones (mass/m ³) con datos del 01 de agosto de 2022.	5
Figura 4.	
Mapa de dispersión de emisiones (mass/m ³) con datos del 01 de noviembre de 2022.	6

DOCUMENTO RESULTADOS DE CONCENTRACIONES DE EMISIONES

Mapas de dispersión de emisiones

Figura 1.

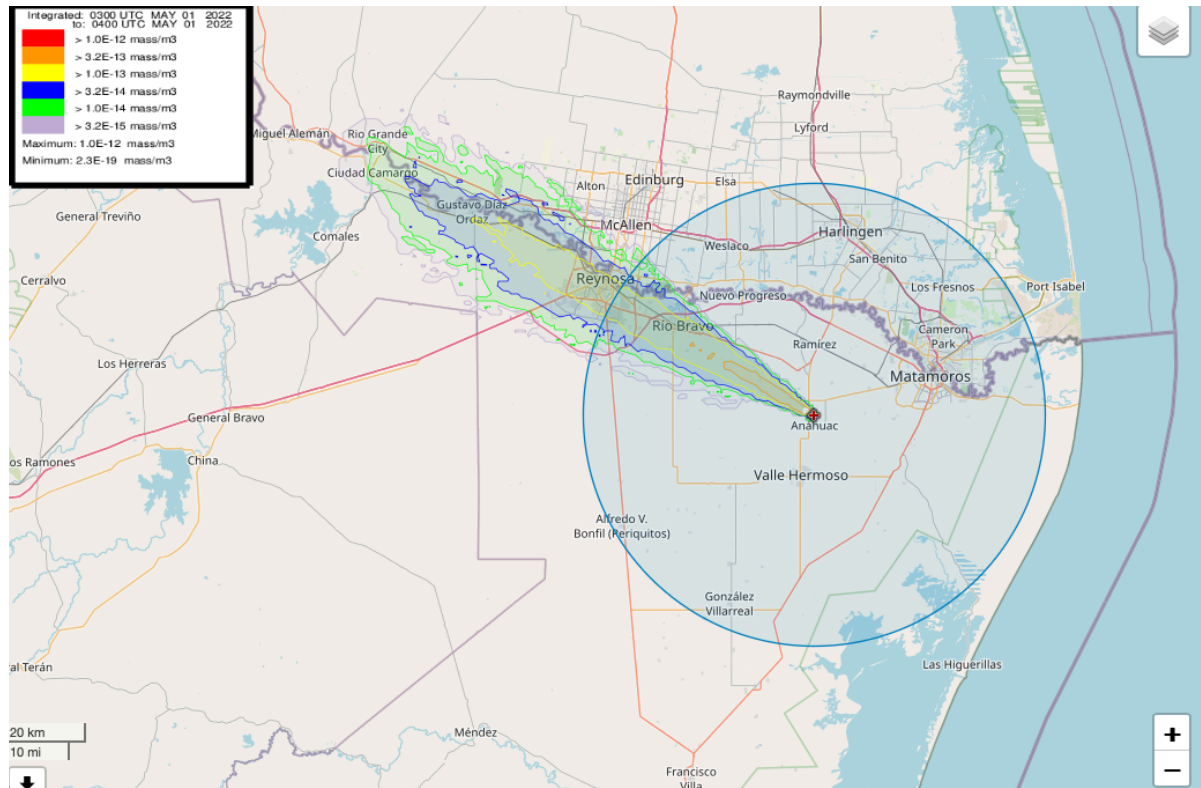
Mapa de dispersión de emisiones (mass/m³) generado con datos del 01 de febrero de 2022.



Nota. Fuente: Elaboración propia generada con HYSPLIT model (2024). Vista a 20 km, radio del círculo de 55.0 km. Lat=25.5451 Lng=-99.2697 <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/dispasrc.pl>

Figura 2.

Mapa de dispersión de emisiones (mass/m³) generado con datos del 01 de mayo de 2022.

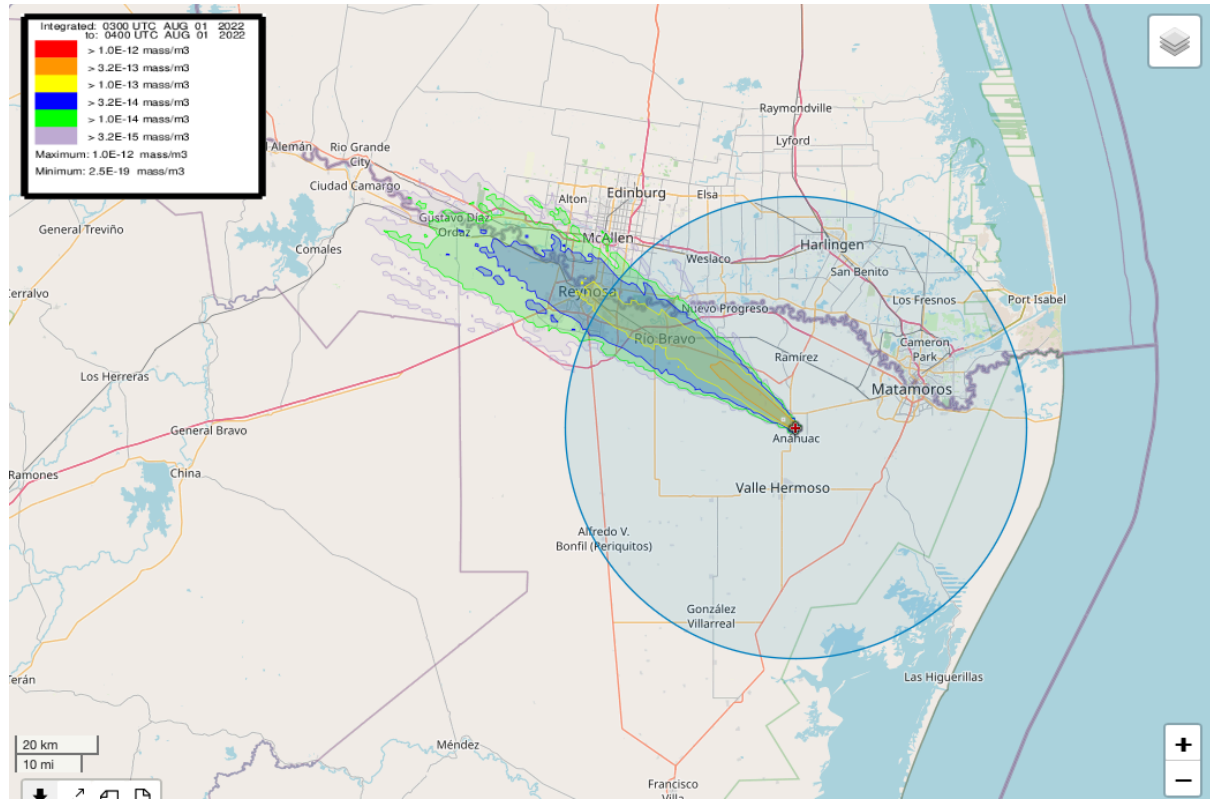


Nota. Fuente: Elaboración propia generada con HYSPLIT model (2024). Vista a 20 km, radio del círculo de 50.0 km.

Lat=25.5451 Lng=-99.2697 <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/dispasrc.pl>

Figura 3.

Mapa de dispersión de emisiones (mass/m³) generado con datos del 01 de agosto de 2022.

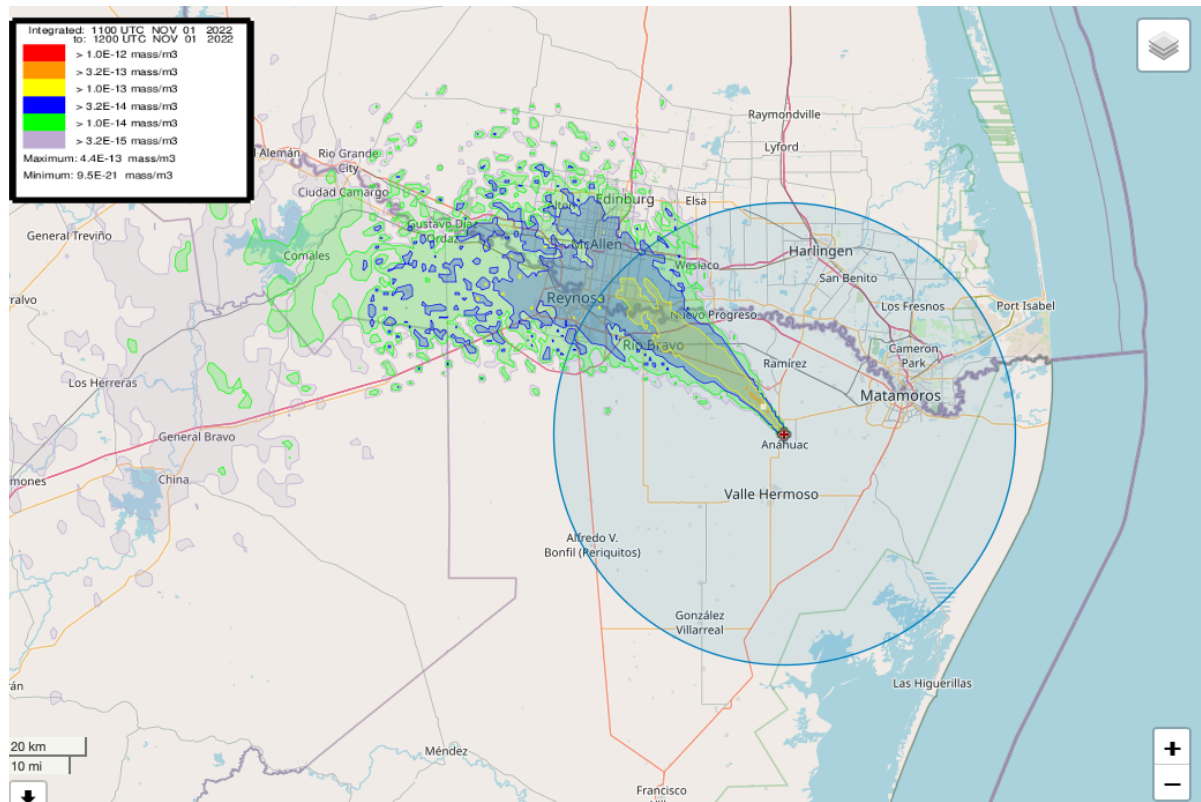


Nota. Fuente: Elaboración propia generada con HYSPLIT model (2024). Vista a 20 km, radio del círculo de 55.0 km.

Lat=25.5451 Lng=-99.2697 <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/dispasrc.pl>

Figura 4.

Mapa de dispersión de emisiones (mass/m³) con datos del 01 de noviembre de 2022.



Nota. Fuente: Elaboración propia generada con HYSPLIT model (2024). Vista a 20 km, radio del círculo de 55.0 km.

<https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/dispsrc.pl>

Consideraciones en el cálculo de concentración de emisiones

En el entregable VII se calculan las concentraciones de los contaminantes CO, NO_x, SO_x, COT, COV, CO₂, CH₄ y N₂O que llegan a direcciones geográficas conurbadas o zonas de influencia emitidas desde la Central IV de C. C, a partir de los mapas de dispersión de emisiones (Figura 1-4) de este escrito.

Para su cálculo se deben tener en cuenta las definiciones de emisión, factor de dilución, tasa de emisión, factor de emisión y generación eléctrica, o producción de energía eléctrica (GWh).

Se evalúan las emisiones que llegan a la zona conurbada en un radio de 50-55 km: Reynosa, Tamaulipas y Matamoros, Tamaulipas, en meses distribuidos a lo largo de un año.

Como consideración para el cálculo de concentraciones, se toma en cuenta el factor de dilución (mass/m³) que, de manera cualitativa, se observe en mayor proporción en los mapas (Figura 1-4).

Emisiones

La liberación de los contaminantes a la atmósfera, por los diferentes procesos industriales o actividades económicas, se relaciona con la cantidad de masa liberada en unidad de tiempo, así tenemos que poseen unidades de kg/h, kg/día o Ton/año (Mg/año).

Factor de dilución

La emisión de una sustancia se puede convertir a **concentración** mediante el factor de dilución el cual se obtiene al emplear modelos de calidad del aire [como se ve en este trabajo]. Cuando existe una emisión de una sustancia proveniente de los diferentes procesos industriales o actividades económicas, ésta, al ser arrastrada por el aire, se mezcla, con lo cual se diluye.

Este último es el dato que se obtiene de hacer la lectura a los mapas de emisiones generados en HYSPLIT, en unidades (mass/m³).

Entre mayor sea el transporte, mayor será la dilución del contaminante.

$$\text{Factor de dilución} = \left(\frac{X}{E} \right) \quad \text{Ec. 1}$$

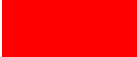





$$X = \left(\frac{X}{E} \right) \cdot E \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

E: emisión (masa/tiempo)

X: Concentración (masa/volumen). (García Reynoso, 2023)

Tabla 1.

Valores de factores de dilución* en (mass/m³)				
Factor de dilución [mass/m³]	Febrero	Mayo	Agosto	Noviembre
Localidad perjudicada	Matamoros, Tamaulipas.	Reynosa, Tamaulipas.	Reynosa, Tamaulipas.	Reynosa, Tamaulipas.
 1.0×10^{-12}				
 3.2×10^{-13}	✓			
 1.0×10^{-13}		✓		
 3.2×10^{-14}			✓	✓
 1.0×10^{-14}				
 3.2×10^{-15}				
Nota. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos de mapas dispersión de emisiones generados con HYSPLIT model (2024). https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/dispasrc.pl				
*Valor máximo: 1.0×10^{-12} mass/m³, valor mínimo: 3.2×10^{-14} mass/m³.				

Tasa de emisión

En el inventario de emisiones se especifica la cantidad de contaminantes peligrosos del aire que son emitidos a la atmósfera. Para estimarlos, se utiliza la ecuación 3.

$$T = P_R \cdot EF \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

T : Tasa de emisión

P_R : Producción de energía eléctrica

EF : Factor de emisión. (Arellano Rivera, 2012)

Factor de emisión

La Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA, 2023) reporta en las Tablas 1.4-1., -2, -3- y -4, de su AP 42, Quinta Edición, Volumen I Capítulo 3: Fuentes de combustión interna estacionarias, Subcapítulo 3.2 Motores alternativos alimentados con gas natural, los factores de emisión de contaminantes provenientes de combustión de gas natural. Ver Anexo I.

Capacidad y generación eléctrica

La capacidad instalada, o capacidad de generación máxima, es la potencia que tiene una central eléctrica para generar electricidad considerando la disponibilidad técnica de sus instalaciones y de los insumos energéticos que serán transformados en electricidad en dichas instalaciones, esta capacidad de generación se mide en megawatts (MW).

La generación eléctrica, o producción de energía eléctrica, es la cantidad de energía que produce una central durante un periodo de tiempo determinado, generalmente se mide en unidades de potencia, gigawatts hora (GWh).

Al 2022, la producción anual de energía eléctrica de la Central IV de C. C. fue de 3,419,170.44 MWh, o 2,419,170,440.00 kWh, acorde con el inventario de emisiones de la SEMARNAT (2022). Mientras que el sitio de divulgación de datos (Global Energy Monitor, 2023) estima que el proyecto generó 2,711,000 MWh, de electricidad para el mismo año.

Acorde con el Capítulo 2 de la Guía para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (IPCC, 2006) para una planta de energía con tecnología de Ciclo Combinado [con una cantidad de potencia generada] de 380-780 megavatios eléctricos (MWe), se tiene una eficiencia neta de 53-58%.

En este trabajo se considera la producción anual de energía eléctrica, reportada por la Base de datos del inventario de emisiones de contaminantes criterio del sector industrial de 2018 de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2018), de 1,983,118,855.20 kWh estimando una eficiencia neta de 58%.

Tabla 2.

Resultados Niveles de concentración								
CPA	Factor de emisión*			Emisión	Concentración			
	lb/10 ⁶ scf	lb/MMBtu	g/KWh		Febrero	Mayo	Agosto	Noviembre
						kg/m ³ µg/m ³ ppm		
SO _x ^a	0.6	0.0006	1.08E-06	3.58E-01	1.15E-13 1.15E-04 3.50E-07	3.58E-14 3.58E-05 1.09E-07	1.15E-14 1.15E-05 3.50E-08	1.15E-14 1.15E-05 3.50E-08
NO	84.0	0.0824	127,482.353	5.02E+01	1.60E-11 1.60E-02 1.40E-05	5.02E-12 5.02E-03 4.38E-06	1.60E-12 1.60E-03 1.40E-06	1.60E-12 1.60E-03 1.40E-06
NO _x ^o	76.0	0.0745	115,341.176	4.54E+01	1.45E-11 1.45E-02 7.72E-06	4.54E-12 4.54E-03 2.41E-06	1.45E-12 1.45E-03 7.72E-07	1.45E-12 1.45E-03 7.72E-07
COT	11.0	0.0108	16,694.118	6.57E+00	2.10E-12 2.10E-03 —	6.57E-13 6.57E-04 —	2.10E-13 2.10E-04 —	2.10E-13 2.10E-04 —
COV	5.5	0.0054	8,347.059	3.28E+00	1.05E-12 1.05E-03 —	3.28E-13 3.28E-04 —	1.05E-13 1.05E-04 —	1.05E-13 1.05E-04 —
CO ₂	120,000	117.6471	182,117,647.059	7.16E+04	2.29E-08 2.29E+01 1.27E-02	7.16E-09 7.16E+00 3.98E-03	2.29E-09 2.29E+00 1.27E-03	2.29E-09 2.29E+00 1.27E-03
CH ₄	2.3	0.0023	3,490.588	1.37E+00	4.39E-13 4.39E-04 6.70E-07	1.37E-13 1.37E-04 2.09E-07	4.39E-14 4.39E-05 6.70E-08	4.39E-14 4.39E-05 6.70E-08
N ₂ O	2.2	0.0022	3,338.824	1.31E+00	4.20E-13 4.20E-04 2.34E-07	1.31E-13 1.31E-04 7.30E-08	4.20E-14 4.20E-05 2.34E-08	4.20E-14 4.20E-05 2.34E-08

Nota. Fuente: Elaboración propia, calculada con datos obtenidos de mapas dispersión de emisiones generados con HYSPLIT model (2024). <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/dispcsrc.pl>

CPA: Contaminante peligroso del aire. ^a: SO₂ y SO₃ se refiere a SO_x. ^o: Las emisiones NO_x son principalmente NO, éste reacciona y forma el NO₂ que absorbe la luz. ^{*}: Factor de emisión: Datos obtenidos de Tablas reportadas por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA, 2023) en lb/10⁶ scf de contaminantes provenientes de combustión de gas natural. (Ver Anexo I).

Memoria de cálculo

Ejemplo de cálculo de concentración con óxidos de azufre SO_x

De Tablas reportadas por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA, 2023) se obtienen los factores de emisión en lb/10⁶ scf de contaminantes provenientes de combustión de gas natural. (Ver Anexo I).

Para convertir de lb/10⁶ scf a lb/MMBtu, se divide entre 1,020. (EPA. 2023)

$$\Rightarrow 0.6 \text{ lb}/10^6 \text{ scf} \left(\frac{\text{lb/MMBtu}}{1020 \text{ lb}/10^6 \text{ scf}} \right) = 0.000588 \text{ lb/MMBtu}$$

Para obtener un resultado aproximado del factor de emisión en g/kWh:

$$1 \text{ MMBtu} = 293.07107 \text{ kWh}$$

$$1 \text{ lb}_m = 0.454 \text{ kg} \text{ (Maya, 2011)}$$

$$\Rightarrow 0.000588 \frac{\text{lb}}{\text{MMBtu}} \left(\frac{1 \text{ MMBtu}}{293.07107 \text{ kWh}} \right) \left(\frac{0.454 \text{ kg}}{1 \text{ lb}_m} \right) = 1.08 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}$$

Una vez que se tiene el factor de emisión en g/kWh, se calcula la tasa de emisión considerando que la Central IV de C. C. opera 250 días al año (6,000 horas).

Se considera la producción anual de energía eléctrica, reportada por la SEMARNAT (2022), de 1,983,118,855.20 kWh estimando una eficiencia neta de 58%.

$$\Rightarrow T = P_R \cdot EF \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

T : Tasa de emisión [g/h]

P_R : Producción de energía eléctrica [g/kWh]

EF : Factor de emisión [g/kWh]. (Arellano Rivera, 2012)

Sustituyendo en la Ec. 3:

$$\Rightarrow T = \frac{(1.08 \times 10^{-6} \text{ kg/kWh}) (1,983,118,855.20 \text{ kWh})}{6,000 \text{ h}} = 3.58 \times 10^{-1} \text{ kg/h}$$

De la lectura de los mapas de emisiones generados en HYSPLIT, se obtiene el factor de dilución en (mass/m³). El valor para febrero es 3.20×10^{-13} , para mayo 1.00×10^{-13} , para agosto 3.20×10^{-14} y para noviembre 3.20×10^{-14} .

García Reynoso (2023) afirma que:

$$\Rightarrow \text{Factor de dilución} = \left(\frac{X}{E}\right) \quad \text{Ec. 1}$$

$$\Rightarrow X = \left(\frac{X}{E}\right) \cdot E \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

E : emisión (masa/tiempo)

X : Concentración (masa/volumen).

Sustituyendo en la Ec. 2 se obtiene la concentración en kg/m^3 .

$$\begin{aligned} \Rightarrow X &= 3.20 \times 10^{-13} \cdot 3.58 \times 10^{-1} \text{ kg/h} = 1.15 \times 10^{-13} \text{ kg/m}^3 && \text{para febrero de 2022.} \\ \Rightarrow X &= 1.00 \times 10^{-13} \cdot 3.58 \times 10^{-1} \text{ kg/h} = 3.58 \times 10^{-14} \text{ kg/m}^3 && \text{para mayo de 2022.} \\ \Rightarrow X &= 3.20 \times 10^{-14} \cdot 3.58 \times 10^{-1} \text{ kg/h} = 1.15 \times 10^{-14} \text{ kg/m}^3 && \text{para agosto de 2022.} \\ \Rightarrow X &= 3.20 \times 10^{-14} \cdot 3.58 \times 10^{-1} \text{ kg/h} = 1.15 \times 10^{-14} \text{ kg/m}^3 && \text{para noviembre de 2022.} \end{aligned}$$

Multiplicando el valor de masa por 1×10^9 se obtiene la concentración en $\mu\text{g/m}^3$.

$$\begin{aligned} \Rightarrow X &= 1.15 \times 10^{-13} \text{ kg/m}^3 \cdot 1.0 \times 10^9 = 1.15 \times 10^{-4} \mu\text{g/m}^3 && \text{para febrero de 2022.} \\ \Rightarrow X &= 3.58 \times 10^{-14} \text{ kg/m}^3 \cdot 1.0 \times 10^9 = 3.58 \times 10^{-5} \mu\text{g/m}^3 && \text{para mayo de 2022.} \\ \Rightarrow X &= 1.15 \times 10^{-13} \text{ kg/m}^3 \cdot 1.0 \times 10^9 = 1.15 \times 10^{-5} \mu\text{g/m}^3 && \text{para agosto de 2022.} \\ \Rightarrow X &= 1.15 \times 10^{-13} \text{ kg/m}^3 \cdot 1.0 \times 10^9 = 1.15 \times 10^{-5} \mu\text{g/m}^3 && \text{para noviembre de 2022.} \end{aligned}$$

En concentraciones en el aire, se requiere conocer el peso molecular (o atómico) de un contaminante para convertir las unidades de masa en unidades de volumen. Para convertir una concentración expresada en unidades de $\mu\text{g/m}^3$ a una concentración expresada en unidades de ppb se multiplica la concentración (en $\mu\text{g/m}^3$) por 24.45 y se divide por el peso molecular (en gramos/mol) del contaminante. (ATSDR, 2019).

Para obtener partes por millón (ppm) se multiplica 1.0×10^{-3} el valor en ppb. (García Reynoso, 2023)

Los óxidos de azufre SO_x se conforman por SO_2 y SO_3 (EPA. 2023). En este trabajo se considera su conformación únicamente del gas SO_2 , cuyo peso molecular es de 8.01 g/mol.

$$\begin{aligned} \Rightarrow X &= \left(\frac{1.15 \times 10^{-4} \mu\text{g/m}^3 \times 24.45}{8.01 \text{ g/mol}} \right) = 3.50 \times 10^{-4} \text{ ppb} \cdot 1.0 \times 10^{-3} = 3.50 \times 10^{-7} \text{ ppm} && \text{febrero de 2022.} \\ \Rightarrow X &= \left(\frac{3.58 \times 10^{-5} \times 24.45}{8.01 \text{ g/mol}} \right) = 1.09 \times 10^{-4} \text{ ppb} \cdot 1.0 \times 10^{-3} = 1.09 \times 10^{-7} \text{ ppm} && \text{mayo de 2022.} \\ \Rightarrow X &= \left(\frac{1.15 \times 10^{-5} \mu\text{g/m}^3 \times 24.45}{8.01 \text{ g/mol}} \right) = 3.50 \times 10^{-5} \text{ ppb} \cdot 1.0 \times 10^{-3} = 3.50 \times 10^{-8} \text{ ppm} && \text{agosto de 2022.} \\ \Rightarrow X &= \left(\frac{1.15 \times 10^{-5} \mu\text{g/m}^3 \times 24.45}{8.01 \text{ g/mol}} \right) = 3.50 \times 10^{-5} \text{ ppb} \cdot 1.0 \times 10^{-3} = 3.50 \times 10^{-8} \text{ ppm} && \text{noviembre de 2022.} \end{aligned}$$

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Global Energy Monitor. (2023). *Río Bravo IV (Valle Hermoso) Power Station and Global Energy Monitor*.
[https://www.gem.wiki/R%C3%ADo_Bravo_IV_\(Valle_Hermoso\)_power_station](https://www.gem.wiki/R%C3%ADo_Bravo_IV_(Valle_Hermoso)_power_station)
- Arellano Rivera, A. (2012). *Evaluación de riesgos a la salud por tóxicos atmosféricos generados por la operación de una termoeléctrica de ciclo combinado*. [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rubio Maya, C. R. M. [Dr.]. (2011). Factores de conversión. Facultad de Ingeniería Mecánica, U.M.S.N.H. <https://fim.umich.mx/teach/crubio/notas/conversiones.pdf>
- Comisión Federal de Electricidad [CFE]. (2001). Manifestación de impacto ambiental Central Termoeléctricas 25 CC Río Bravo IV. SEMARNAT.
<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgiraDocs/documentos/tamp/estudios/2001/28TM2001E0017.pdf>
- García, J. A. (2023). *Protección Ambiental del aire*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. ISBN: 9786073059251
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (2021). *NOM-085-SEMARNAT-2011. Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y medición*. Diario Oficial de la Federación.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/134768/29.-_NORMA_OFICIAL_MEXICANA_NOM-085-SEMARNAT-2011.pdf
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (2010). *NMX-AA-089/2-SCFI-2010. Protección al ambiente - Calidad del agua*. Diario Oficial de la Federación.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/134768/29.-_NORMA_OFICIAL_MEXICANA_NOM-085-SEMARNAT-2011.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC] y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2010). *Actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 - 2010, para las Categorías de Energía y Procesos Industriales*. Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo (PNUD).
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/167850/Energia_y_procesos_industriales.pdf
- United States Environmental Protection Agency [EPA]. (2000). *EMISSION FACTORS*.
https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-09/documents/1.4_natural_gas_combustion.pdf
- Agencia para sustancias tóxicas y riesgo de enfermedades [ATSDR]. (2019) *Exposición total al arsénico: Estudio de un caso práctico - Conversión de unidades* | ATSDR. (s. f.).
http://www.atsdr.cdc.gov/es/training/arsenico/conversion_unidades.html
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). Capítulo 2. *Combustión estacionaria*. Guía Para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero.
https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf

Air Resources Laboratory, NOAA's Office of Atmospheric Research, National Oceanic and Atmospheric Administration. *Run HYSPLIT Dispersion model*. (s. f.).
<https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/dispasrc.pl>

Global Energy Monitor. (2023). *Río Bravo IV (Valle Hermoso) Power Station*.
[https://www.gem.wiki/R%C3%ADo_Bravo_IV_\(Valle_Hermoso\)_power_station](https://www.gem.wiki/R%C3%ADo_Bravo_IV_(Valle_Hermoso)_power_station)