

Estimación y modelación de emisiones de calderas de una comercializadora de combustibles

Estimation and modeling of boiler emissions of a Fuel Trader

M. Sc. Lester Rivas Trasancos^{1*}, M. Sc. Yamila Navarro Sosa¹, Dr. Miguel Ángel Díaz Díaz¹,
Lic. Octavio del Sol Ortega¹, M. Sc. Carlos Cesar Cañete Pérez¹.

¹Centro de Investigación del Petróleo. Churruca # 481, Cerro. C.P. 12000. La Habana, Cuba.

*Correspondencia: lesterrt83@gmail.com (Lester Rivas Trasancos)

DOI: DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v18i1.1324>

Recibido: 16 de agosto de 2023; Aceptado: 27 de noviembre de 2023

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado

Editor de Sección: Dr. Héctor Osbaldo Rubio-Arias

Resumen

En el proceso de comercialización de combustibles, una de las fuentes de emisión de contaminantes (continuas y discontinuas) proviene de la combustión derivada de la generación de electricidad y calor, venteo y quema de hidrocarburos y emisiones fugitivas. El objetivo fue estimar y modelar las emisiones generadas por las calderas de una comercializadora de combustibles. El análisis consideró los datos técnicos y de operación, el consumo de combustible y los tiempos de operación. Los parámetros evaluados fueron: SO₂, NO_x, CO, PST y del material particulado PM10. Con la base de datos generada realizó la modelación de la dispersión de estos contaminantes. Los resultados de la modelación con el modelo Berliand y el software SCREEN View mostraron que las concentraciones máximas alcanzadas a 303 m de la fuente, cumplen con los valores máximos y promedios establecidos en la norma tomada como referencia.

Palabras clave: calderas, emisiones, modelación, dispersión.

Abstract

In the fuel marketing process, one of the sources of pollutant emissions (continuous and discontinuous) comes from the combustion from the generation of electricity and heat, venting and burning of hydrocarbons and fugitive emissions. The objective was to estimate and model the emissions generated by the boilers of a fuel marketing company. Technical and operating data, fuel consumption and operating times were considered. The evaluated parameters: SO₂, NO_x, CO, PST and PM10 particulate matter were obtain by estimation. Modeling of the dispersion of these

contaminants was carried out. The results using the Berliand model and the SCREEN View software showed that the maximum concentrations reached 303 m from the source comply with the maximum and average values established in the standard taken as a reference.

Keywords: boilers, emissions, modeling, dispersion

1. Introducción

Cada año, cientos de millones de personas sufren de enfermedades respiratorias y otras asociadas con la contaminación del aire, tanto en ambientes interiores como exteriores. Esto se debe a que existen grupos poblacionales expuestos a fuentes fijas de contaminantes atmosféricos que carecen de zonas de protección sanitaria; por ejemplo, algunas industrias que cuentan con chimeneas de baja altura, lo que aumenta la acción contaminante de sus emanaciones, y en muchas ocasiones no disponen de medidas de control para la disminución de la contaminación a la atmósfera (Romero, 2006).

Las fuentes principales de emisiones al aire (continuas y discontinuas) en la actividad petrolera provienen de la combustión de generación de electricidad y calor, uso de compresores, bombas y máquinas recíprocas (calderas, turbinas y otras), emisiones de la quema y venteo de hidrocarburos, y emisiones fugitivas. Los contaminantes fundamentales comprenden los óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), partículas, sulfuro de hidrógeno (H₂S), compuestos orgánicos volátiles (COV) incluyendo metano y etano, benceno, etilbenceno, tolueno y xileno (BTEX), glicoles e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).

Resulta claro que se deben tener en cuenta todas las consideraciones razonables para maximizar la eficiencia energética, así como diseñar facilidades para minimizar el uso de energía. El objetivo integral debe ser la reducción de emisiones al aire y la evaluación de opciones costo – efectivas para reducir las emisiones técnicamente factibles (Rivas, 2013).

Los métodos para controlar y reducir las emisiones fugitivas deben ser considerados en el diseño, operación y mantenimiento de las facilidades productivas. Además, se deben considerar los requerimientos de seguridad y adecuación de válvulas, uniones, sellos y empaques, así como su capacidad para reducir fugas de gas e implementar programas de detección de fugas y reparación. Las unidades de control de vapores se instalan según se necesite para las operaciones de carga y descarga de hidrocarburos (Production, N.O.a.G.E.a., 2013).

Es importante mencionar que, el primer paso en cualquier análisis de la calidad del aire es definir las emisiones de contaminantes desde una fuente o facilidad productiva para completar un inventario exacto de las emisiones. Dicho inventario determinará las regulaciones y niveles de control de la contaminación que deben aplicarse (Kumar - Ramaswamy et al., 2004).

Los niveles o categorías de la contaminación en la atmósfera (calidad del aire) son definidos por las concentraciones de las sustancias contaminantes en espacio y tiempo, dadas en mg/m³ a temperatura y presión normalizadas (TPN) (NC 111, 2004). Cuando las concentraciones de las sustancias contaminantes están referidas a tiempos de promedio de 20 min se denominan como instantáneas y promedios diarios cuando se refieren a 24 h. A partir de las anteriores, también pueden ser evaluadas las concentraciones medias para 30 d (promedio mensual) y de 12 m (promedio anual) (NC 39, 1999).

Las emisiones máximas admisibles (EMA) se expresan en términos de concentración de los contaminantes en los gases secos que se expulsan a la atmósfera por las fuentes fijas y se representan en unidades de mg/Nm³, lo que corresponde al contenido en peso del contaminante por unidad de volumen del gas seco expulsado a la atmósfera, en condiciones de temperatura y presión normales (NC 803, 2017).

En correspondencia con lo anterior se hace necesario el cálculo y modelación de las emisiones de las calderas ubicadas en una comercializadora de combustibles. Por tal motivo esta investigación presenta como objetivo: evaluar la contaminación atmosférica producida por dos calderas en áreas de una comercializadora de combustibles.

2. Materiales y métodos

Se estimó la emisión de dos calderas, cuyos datos técnicos se muestran en la Tabla 1 y los datos de operación se especifican en la Tabla 2.

Tabla 1. Datos técnicos de las calderas

Table 1. Boiler technical data

Parámetros	Valores
Flujo de salida del gas (m/s)	6.5
Presión (Pa)	1000000
Altura de la chimenea (m)	30
Diámetro de la chimenea (m)	0.80
Tipo de combustible	Fuel oil mediano de bajo azufre

Tabla 2. Datos de operación de las calderas en el 2021

Table 2. Boiler operation data in 2021

Mes	Caldera 1		Caldera 2	
	Consumo combustible (L)	Tiempo de trabajo (h)	Consumo combustible (L)	Tiempo de trabajo (h)
Enero	387,006	572	73,329	144
Febrero	328,347	511	96,422	153
Marzo	276,958	336	172,319	272
Abril	0	0	413,359	711
Mayo	218,834	377	194,995	348
Junio	344,032	579	52,341	90
Julio	418,103	692	10,685	24
Agosto	468,900	738	5,076	13

Tabla 2. Datos de operación de las calderas en el 2021**Table 2.** Boiler operation data in 2021

Mes	Caldera 1		Caldera 2	
	Consumo combustible (L)	Tiempo de trabajo (h)	Consumo combustible (L)	Tiempo de trabajo (h)
Septiembre	427,351	667	25,855	41
Octubre	382,945	610	65,847	114
Noviembre	114,638	182	355,335	563
Diciembre	444,590	736	0	0
Total	3 811,704	6,000	1 465,563	2 473

Para calcular las emisiones de las calderas se consideró el consumo de combustible, su densidad, y el factor de conversión de cada contaminante, así como el porcentaje (%) de azufre en el caso del SO₂. Estas emisiones se comparan con las emisiones máximas a la atmósfera (EMA) establecidas en la NC 803: 2017 Calidad del aire — Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor (NC 803, 2017).

Para convertir las emisiones a mg/m³ se utiliza el flujo volumétrico que se calculó considerando la altura y diámetro de la chimenea, así como la velocidad de salida de los gases que se obtuvieron de las mediciones realizadas en la misma instalación en estudios anteriores.

La modelación de la dispersión de contaminantes emitidos por las chimeneas de las calderas se ejecutó para los parámetros de H₂S, SO₂, CO, PST y PM10 que son los contaminantes principales emitidos por las fuentes evaluadas. Se aplicó la corrida del programa para el cálculo de la concentración a partir de fuentes industriales continuas (Álvarez O, 1994) siguiendo la metodología aprobada en la norma cubana (NC 39, 1999) según el modelo de Berliand. Se consideró el valor de 200 como el valor de la constante de estratificación térmica atmosférica (A) que define las condiciones naturales de difusión más adversas, según lo propuesto en nuestro país para zonas llanas o con topografía de poca complejidad y altura, el cual ha sido aceptado en la norma cubana de referencia. Como velocidad más probable del viento para calcular la concentración instantánea (20 min) se tomó 1.6 m/s con desviación estándar 0.61, de acuerdo al valor medio obtenido en las mediciones realizadas *in situ* durante los monitoreos.

El modelo Berliand partiendo de la velocidad promedio utilizada (1.6 m/s) tiene una sensibilidad para velocidades bajas de 0.002, sesgo medio teniendo en cuenta los sesgos para SO₂ y NO_x y una precisión de 3 % para SO₂ y NO_x.

Los datos recolectados tienen una distribución normal Figs. (1)–(2)



Figura 1. Distribución Caldera 1

Figure 1. Boiler 1 distribution

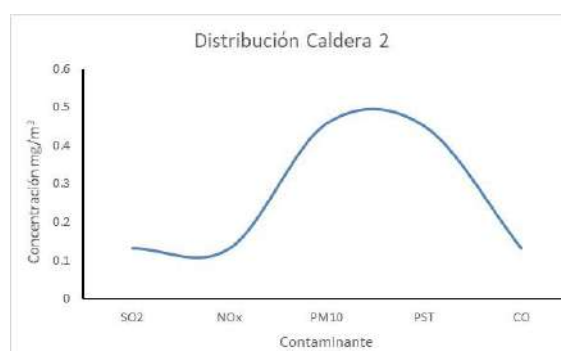


Figura 2. Distribución Caldera

Figure 1. Boiler 2 distribution

Se comprobaron los resultados obtenidos por el modelo SCREEN View (concentraciones horarias) versión 2.5.0 (Software, L.E., 2007) aplicando la opción meteorología completa, de acuerdo con lo recomendado por la norma cubana (NC 1059, 2014).

3. Resultados y discusión

3.1. Emisiones de las calderas

Los resultados del cálculo de la tasa emisión de contaminante a partir de los consumos de combustible, 3 % de azufre en el mismo y las horas de operación de las calderas se muestran en las Tablas 3 y 4.

Tabla 3. Emisiones estimadas caldera 1

Table 3. Estimated emissions boiler 1

Meses ⁽¹⁾	SO ₂ (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	CO ⁽³⁾ (mg/m ³)	PST (mg/m ³)	PM10 (mg/m ³)
Enero	3,201.68	373.87	33.99	67.98	48.13
Febrero	3,040.66	355.07	32.28	64.56	45.71
Marzo	3,900.56	455.48	41.41	82.81	58.63
Mayo	2,746.81	320.75	29.16	58.2	41.29
Junio	2,811.75	328.34	29.85	59.70	42.27
Julio	2,859.12	333.87	30.35	60.70	42.98
Agosto	3,006.63	351.09	31.92	63.84	45.20
Septiembre	3,031.90	354.04	32.19	64.7	45.58
Octubre	2,970.72	346.90	31.54	63.07	44.66
Noviembre	2,980.64	348.06	31.64	63.28	44.80
Diciembre	2,858.50	333.80	30.35	60.69	42.97
Media muestral	3,037.18	354.66	32.24	64.48	45.66
Desviación standard	313.02	36.55	3.32	6.64	4.70
EMA⁽²⁾ (mg/Nm³)	7,000	500	-	350	250

(1) La caldera 1 no operó en el mes de abril

(2) Concentración máxima admisible (EMA) establecida en la NC 803: 2017 (NC 803, 2017)

(3) El CO no se regula en la norma

Tabla 4. Emisiones estimadas caldera 2
Table 4. Estimated emissions boiler 2

Meses ⁽¹⁾	SO ₂ (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	CO ⁽³⁾ (mg/m ³)	PST (mg/m ³)	PM10 (mg/m ³)
Enero	2,409.73	281.39	25.58	51.16	36.22
Febrero	2,981.55	348.16	31.65	12.66	7.41
Marzo	2,997.92	350.08	31.83	63.65	45.06
Mayo	2,751.15	321.26	29.21	58.41	41.35
Junio	2,651.55	309.63	28.15	56.30	39.86
Julio	2,752.03	321.36	29.21	58.43	41.37
Agosto	2,106.74	246.01	22.36	44.73	31.67
Septiembre	2,984.01	348.5	31.68	63.35	44.86
Octubre	2,733.30	319.18	29.02	58.03	41.09
Noviembre	2,986.66	348.76	31.71	63.41	44.90
Media muestral	2,735.46	319.43	29.04	53.01	37.38
Desviación standard	291.22	34.01	3.09	15.36	11.33
EMA⁽²⁾ (mg/Nm³)	7,000	500	-	350	250

⁽¹⁾ La caldera 2 no operó en el mes de diciembre

En ambos casos, las emisiones estimadas cumplen con la concentración máxima admisible establecida en la norma (NC 803, 2017) para calderas de generación de vapor existentes que utilizan fueloil, según se aprecia en las tablas 3 y 4.

3.2. Modelación de emisiones

La modelación mediante el modelo de Berliand para cada caldera utilizando la tasa de emisión (Tabla 5 y 6) permitió determinar los siguientes parámetros:

Tabla 5. Valores de concentración de contaminantes y distancia caldera 1 Berliand
Table 5. Pollutant concentration and distance boiler 1 Berliand

Parámetro	M (g/s)	Cm (mg/m ³)	Xm (m)	CmU (mg/m ³)	XmU (m)	C24h (mg/m ³)	LAEL ⁽¹⁾ (mg/m ³)	
							CPA ⁽²⁾	CMA ⁽³⁾
SO ₂	9.10	0.28	303.49	0.27	303.5	0.11	5	10
NO _x	1.06	0.03	303.49	0.03	303.5	0.012	5	10
CO	0.10	0.003	303.49	0.003	303.5	0.0012	20	100
PST	0.193	0.006	303.49	0.006	303.5	0.0022	-	-
PM10	0.137	0.008	303.49	0.008	303.5	0.0032	-	-

⁽¹⁾ Límites admisibles de exposición laboral a las sustancias nocivas en NC 872: 2011

⁽²⁾ Concentración promedio admisible

⁽³⁾ Concentración máxima admisible

Tabla 6. Valores de concentración de contaminantes y distancia caldera 2**Table 6.** Pollutant concentration and distance boiler 2

Parámetro	M (g/s)	Cm (mg/m ³)	Xm (m)	CmU (mg/m ³)	XmU (m)	C24h (mg/m ³)	LAEL ⁽¹⁾ (mg/m ³)	
							CPA ⁽²⁾	CMA ⁽³⁾
SO ₂	7.96	0.24	303.49	0.24	303.5	0.092	5	10
NO _x	0.93	0.03	303.49	0.03	303.5	0.011	5	10
CO	0.08	0.002	303.49	0.002	303.5	0.001	20	100
PST	0.155	0.005	303.49	0.005	303.5	0.0018	-	-
PM10	0.109	0.01	303.49	0.01	303.5	0.0025	-	-

Los resultados de la modelación de la dispersión por Berliand para ambas calderas, muestran que las concentraciones máximas de los contaminantes ocurren a la distancia de 303 m al oeste del punto, para el rumbo de vientos predominante en la zona cumplen con los valores de máximos y promedios establecidos en la norma tomada como referencia (NC 872, 2011). Esta norma no regula las partículas.

La modelación mediante SCREEN para cada caldera utilizando la tasa de emisión (Tabla 7 y 8) permitió determinar los siguientes parámetros:

Tabla 7. Valores de concentración de contaminantes y distancia caldera 1 SCREEN**Table 7.** Pollutant concentration and distance boiler 1 SCREEN

Parámetro	M (g/s)	Cmáx, (mg/m ³)	Distancia (m)	LAEL ⁽¹⁾ (mg/m ³)	
				CPA ⁽²⁾	CMA ⁽³⁾
SO ₂	9.10	0.21	349	5	10
NO _x	1.06	0.024	349	5	10
CO	0.10	0.0023	349	20	100
PST	0.193	0.0044	349	-	-
PM10	0.137	0.0031	349	-	-

Tabla 8. Valores de concentración de contaminantes y distancia caldera 2 SCREEN**Table 8.** Pollutant concentration and distance boiler 2 SCREEN

Parámetro	M (g/s)	Cmáx, (mg/m ³)	Distancia (m)	LAEL ⁽¹⁾ (mg/m ³)	
				CPA ⁽²⁾	CMA ⁽³⁾
SO ₂	7.96	0.18	349	5	10
NO _x	0.93	0.021	349	5	10
CO	0.08	0.0018	349	20	100
PST	0.155	0.0035	349	-	-
PM10	0.109	0.0025	349	-	-

Los resultados de la modelación de la dispersión por SCREEN para ambas calderas, muestran que las concentraciones máximas de los contaminantes ocurren a la distancia de 349 m del punto. Los valores de concentración máxima de cada contaminante analizado cumplen con los valores de máximos y promedios establecidos en la norma tomada como referencia (NC 872, 2011).

La comparación de los resultados de los modelos de dispersión, así como los valores de concentración máxima establecida en la norma se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 9. Resultados de los modelos

Table 9. Model Results

Contaminante	Caldera	ScreenView		Berliand		CMA ⁽¹⁾ (mg/m ³)
		Cmáx, (mg/m ³)	Distancia (m)	Cmáx, (mg/m ³)	Distancia (m)	
SO ₂	1	0.21	349	0.26	303	10
	2	0.18	349	0.23	303	
NO _x	1	0.024	349	0.31	303	10
	2	0.021	349	0.027	303	
CO	1	0.0023	349	0.003	303	100
	2	0.0018	349	0.002	303	
PST	1	0.0044	349	0.0059	303	-
	2	0.0035	349	0.0047	303	
PM10	1	0.0031	349	0.0083	303	-
	2	0.0025	349	0.0066	303	

⁽¹⁾ Concentraciones máximas admisibles en la NC 872: 2011

Las concentraciones máximas de dispersión obtenidas muestran valores similares en ambos modelos lo que demuestra la veracidad del resultado. Los valores de concentración obtenidos se encuentran dentro de los límites admisibles de exposición laboral a las sustancias nocivas establecidos en la norma (NC 872, 2011).

Se considera que el radio mínimo admisible 1,000 m en torno a las empresas industriales y otras fuentes emisoras de contaminantes del aire (Industria química Clase I Depósitos y almacenes de productos de alta toxicidad - Instalaciones de carga descarga de productos químicos de alta toxicidad) (NC 1059, 2014) las emisiones de los contaminantes evaluados no alcanzan la zona poblada cercana a la comercializadora, ya que la misma se encuentra ubicada a 1.5 km al oeste de la fuente emisora. Los modelos aplicados sitúan los valores máximos de concentración a una distancia de 303 m (Berliand) a 349 m (SCREEN View) de la fuente emisora.

4. Conclusiones

Derivado del presente estudio se puede arribar a tres conclusiones: 1) Los valores de las emisiones estimadas de las calderas cumplen con los límites establecidos en la norma. 2) Para los modelos utilizados, las concentraciones máximas de dispersión ocurren a una distancia de 349 m (SCREEN) y a 303 m (Berliand) de la fuente y cumplen lo establecido en la norma. 3) Los modelos

aplicados refieren que los valores máximos de concentración de las emisiones se encuentran dentro del radio mínimo de protección sanitaria establecido en la (NC 1059: 2014). Así mismo se recomienda: 1) Mantener los parámetros de operación de ambas calderas sin cambios. 2) Realizar el estudio bajo otros parámetros de operación.

Conflicto de interés

Los autores de presente artículo confirman que no existe conflicto de interés en la publicación de la presente investigación.

Nomenclatura

- M: tasa de emisión
- C24h: concentración del contaminante para 24 horas
- Cm: concentración máxima del contaminante para 20 minutos bajo condiciones meteorológicas desfavorables
- Xm: distancia a la que ocurre Cm
- CmU: concentración máxima del contaminante para velocidad del viento diferente de la crítica
- XmU: Distancia donde se produce la CmU

5. Referencias

- Álvarez, O. (1991). Tesis: Diagnóstico y pronóstico de la contaminación por SO₂ y H₂S en Moa. Modelación con consideraciones de terreno plano. in INSMET. 1994, Academia de Ciencias. Universidad de La Habana: La Habana, Cuba. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.11032.26885>
- ISO. (2021). ISC Fields 13.040.20 Ambient atmospheres.
- Kumar, R., Ramaswamy, B. & Kumar, A. (2004). A review of world wide web sites for air pollution instrumentation. *Environmental Progress* 18(2): A10-A16. <https://doi.org/10.1002/ep.670180208>
- Lakes Environmental Software. Screen View. Screening Air Dispersion Model (SCREEN3). Version 2.5.0. 2007. <https://goo.su/rQ6B6Z>
- NPI. (2013). Emission estimation technique manual for Oil and Gas Extraction and Production. Version 2.0 Department of Sustainability, Water, Population and Communities. Australian Government. ISBN: 0642550573. <http://www.npi.gov.au/> (<https://goo.su/Chq4>)
- ONN, NC 1059: 2014. (2014). Calidad del aire — Metodología para modelar las afectaciones de la calidad del aire a escala local debido a las emisiones de contaminantes atmosféricos desde fuentes fijas. *Oficina Nacional de Normalización (NC)*. El Vedado, La Habana. Cuba. <https://goo.su/JV2CZ>
- ONN, NC 111: 2004. (2004). Calidad del aire—Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos. *Oficina Nacional de Normalización (NC)*. Ciudad de La Habana, Cuba. p. 14. <https://goo.su/b70URm>

- ONN, NC 39: 1999. (1999). Calidad del Aire. Requisitos Higiénicos - Sanitarios. *Oficina Nacional de Normalización (NC)*. Ciudad de La Habana, Cuba. p. 89. <https://goo.su/8rnrs>
- ONN, NC 803: 2010. (2021). Calidad del aire — Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor. *Nacional de Normalización (NC)*. El Vedado, La Habana. Cuba. p. 18. <https://goo.su/ZN8bs>
- ONN, NC 872: 2011. (2011). Seguridad y salud en el trabajo — Sustancias nocivas en el aire de la zona de trabajo — Evaluación de la exposición laboral — Requisitos generales. *Nacional de Normalización (NC)*. El Vedado, La Habana. Cuba. p. 24. <https://goo.su/LIG8bjB>
- Romero Placeres, M., Diego Olite, F. & Álvarez Toste, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana Higiene y Epidemiología* 44(2): 1-14. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223214848008>
- Rubio M., Hernández K., Olivera W., Cervera D. & Aponte N. (2019). Estudio de Riesgos Naturales ECC Matanzas. Inversiones Gamma S.A., Matanzas, Cuba.
- Trasancos, L.R. (2013). Tesis: Propuesta para disminuir la contaminación por emisiones de flares. Facultad de Ingeniería Química. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”: La Habana, Cuba. p. 85.

2024 TECNOCENCIA CHIHUAHUA

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>