

Impacto de emisiones gaseosas en calderas de tubos de fuego

Juan A. Colás-Aroche*, Miguel Díaz-Díaz,
Orlando H. Álvarez-Hernández y Raisa Teuteló-Núñez

Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET)
Washington 169 esq. Churruca, Cerro, CP: 12000, Ciudad de la Habana, Cuba

Recibido 5 Abril 2005, revisado 15 Junio 2005, aceptado 16 Junio 2005

Impact of gaseous emissions from fire tube boilers

Abstract

In this paper gaseous emissions from fire tube boilers of the Central Battery, where the crude oil of the wells is subjected to treatment to eliminate a high percent of water and that allows their commercialisation, were characterized to determine their environmental impact.

The employment of this gas in the boilers allows to diminish the environmental impact when substituting the crude oil like combustible, as well as the best form of exploitation of these boilers that reduce the problems of corrosion according to the specialized literature and it is demonstrated that it is obtained an environmental improves with substantial economic benefits.

The sampling of SO₂, NO_x, and CO, was executed with a MSI Combustion Analyser. The analysis of total suspended particles in chimneys, after their collection in filters was carried out for the ISO gravimetric method. They were also carried out flow measurements with a speed measurement device by using the S – type Pitot tube method. The aromatics hydrocarbons were determined by UV spectrophotometer.

The simulation of pollutant dispersion emitted by chimneys was executed using software for the calculation of the concentration starting from continuous industrial sources applying the methodology approved in the NC 39 Cuban norm, according to Berliand method. It can conclude from this study that when burning gas in the boilers, the pollution emitted to the environment is inferior to those emitted when Cuban crude oil burns.

Keywords: Emissions, monitoring, corrosion, sulfur dioxide, nitrogen oxide, carbon monoxide

Introducción

Los óxidos de azufre originan efectos directos e indirectos sobre la salud humana, las plantas, el clima y los materiales, por su concentración en la atmósfera y por su deposición seca y/o húmeda. El dióxido de azufre es sumamente soluble en agua y reacciona para formar ácido sulfúrico (un 30 % del SO₂ en la atmósfera se convierte en aerosol ácido),

siendo muy probable que cuando se inhala se absorba en los conductos húmedos del sistema respiratorio superior, la nariz y las vías respiratorias superiores, donde puede dañar el tejido pulmonar. El aerosol de ácido sulfúrico en concentraciones elevadas se asocia con el asma bronquial y con índices de mortalidad mayores de lo esperado (Wagner, 1996).

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son compuestos

* Autor para correspondencia

E-mail: colas@ceinpet.cupet.cu; Tel.: +537 6494101, 577329. Fax: +537 6426021

químicos, en su mayor parte derivados de procesos de combustión, producto del nitrógeno contenido en el aire que se requiere para la combustión. Existen también fuentes naturales, principalmente por la actividad bacteriana en el suelo. Los NO_x , aunque no se consideran estrictamente como gases de efecto invernadero, son importantes químicamente por su habilidad para afectar las concentraciones atmosféricas de los mismos, particularmente al ozono troposférico. Los NO_x provocan irritación de los pulmones y menor resistencia a las infecciones respiratorias (ejemplo, gripe), aunque no se conocen bien todavía los efectos de estar expuesto a ellos durante un corto plazo.

Los NO_x en el aire ambiente consisten fundamentalmente de una mezcla de óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2), que son contaminantes significativos de la capa más baja de la atmósfera. El NO_2 se forma en menor proporción (< 10 %). En el punto de descarga de las fuentes antropogénicas, el NO es la forma predominante y se convierte a NO_2 , mucho más dañino por reacción química con ozono. Una porción de este se convierte a aerosol ácido que es eliminado de la atmósfera por deposición seca y húmeda, proceso similar al que elimina el aerosol de sulfato. Un 50 % de las emisiones de NO_x por fuentes antropogénicas proviene de quemar combustibles fósiles para generar calor y electricidad.

La llamada lluvia ácida es una forma diferente de contaminación atmosférica originada por deposición húmeda de los óxidos de azufre y nitrógeno que por su importancia ha sido muy estudiada en años recientes (UNEP, 1992; López, 1995). El SO_3 reacciona con vapor de agua formando aerosol de ácido sulfúrico (H_2SO_4) altamente corrosivo que puede condensar y absorberse por depósitos de carbón sobre superficies y eventualmente salir por chimeneas, vinculado a la temperatura de punto de rocío ácido de los gases de combustión. Se ha comprobado que las lluvias arrastradas por el viento más allá de fuentes de emisiones importantes (por lo general de centrales termoeléctricas) tienen pH de 4.1 - 4.5 e incluso la acidez de algunas precipitaciones ha alcanzado un pH de 3. La lluvia ácida tiene efectos nocivos sobre los árboles y los organismos

acuáticos.

La oxidación en fase heterogénea (gas - partícula) u homogénea (gas o acuosa) de los óxidos de azufre y de nitrógeno producen contaminantes inorgánicos secundarios, tales como aerosoles de sulfatos y ácidos sulfúrico, nítrico y nitroso, que conducen a la acidificación del suelo y el agua.

Las partículas suspendidas que se originan, producto de la combustión incompleta del carbono (hollín), agravan las enfermedades respiratorias y cardiovasculares ya existentes, alteran los sistemas orgánicos de defensa, dañan el tejido pulmonar y pueden provocar cáncer y muerte prematura (Porteous, 1996).

Las fuentes principales de parafinas y de aromáticos son el procesamiento y transferencia del petróleo y sus derivados, así como los motores de vehículos (Franklin y Leahy, 1999).

El monóxido de carbono es el contaminante atmosférico más abundante y ampliamente distribuido de los que se encuentran en la capa inferior. Está presente en los gases de escape de autos y en efluentes por combustión incompleta. Las fuentes naturales aportan mucho más CO que las fuentes antropogénicas, aunque estas se concentran en zonas muy pequeñas, por ejemplo en una zona metropolitana constituyen el 95% del CO atmosférico.

El CO, producto de la combustión incompleta del carbono que contienen los energéticos, entra en la corriente sanguínea y reduce el suministro de oxígeno en los órganos y tejidos del cuerpo. La amenaza para la salud es más grave entre los que sufren angina o una enfermedad vascular periférica.

Las fuentes principales de emisiones estacionarias a la atmósfera en la industria petrolera cubana la constituyen la combustión de gas natural que contiene SH_2 en flares y los equipos de combustión que utilizan crudo directo, gasolina y/o mezclas de éstos con gas natural en el proceso de generación de vapor.

La Batería Central de la EPEP Centro, donde el crudo de los pozos es sometido a tratamiento para eliminarle un porcentaje elevado de agua que permita su comercialización, se localiza en un área cercana a asentamientos poblacionales, por lo cual se requiere un control sistemático de las emisiones

Tabla 1. Datos de las emisiones de las calderas para cálculos de dispersión de contaminantes

Combustible	Caldera	Velocidad de salida de gases (m/s)	Diámetro de chimenea (m)	Altura de chimenea (m)	Temperatura de salida de gases (°C)	Emisión de SO ₂ (g/s)	ΔT ¹ (°C)
<i>crudo</i>	3	8.3	1.16	12	219	31	189
	4	9.9	1.16	19	204	29	174
	5	10.4	1.16	19	212	61	182
	8	9.3	1.16	19	208	30	178
<i>gas natural</i>	3	5.2	1.16	12	250	0.86	220
	4	5.8	1.16	19	195	0.93	165
	5	5.8	1.16	19	190	0.92	160
	8	5.8	1.16	19	192	0.93	162

¹ Diferencia de temperatura entre los gases de salida y el ambiente.

que origina a la atmósfera circundante.

El presente trabajo se traza como objetivo caracterizar las emisiones de calderas que queman crudo directo en la actividad de exploración – producción de petróleo, con vistas a establecer su impacto y recomendar medidas que garanticen la preservación del ambiente.

Material y métodos

Se caracterizaron las emisiones gaseosas de fuentes estacionarias de las calderas de la Batería Central mediante un programa de aforo y muestreo según metodologías establecidas (Yoest y Fitzgerald, 1996; ARPEL, 1997; Whitford, 1998). Las cuatro calderas tienen una capacidad de generación de 10 toneladas/hora. Los combustibles evaluados fueron el crudo nacional con un contenido de azufre de 5.66 % y el gas natural con 0.22 %.

El muestreo y determinación de SO₂, NO_x y CO se ejecutó con un equipo Analizador de Combustión modelo MSI de fabricación alemana (ISO 10396). El muestreo de partículas suspendidas en chimeneas se realizó mediante su recogida en un porta filtros para su análisis por el método gravimétrico (ISO 9096). También se realizaron mediciones de flujo mediante equipos de medición de velocidad captadores de presión del tipo tubo pitot (Cheremisinoff y Morresi, 1978).

El muestreo para determinar hidrocarburos aromáticos se realizó sobre carbón activado con posterior elución con n-hexano para su análisis por espectroscopia ultravioleta en un espectrofotómetro

Cintra 40 de la GBC, utilizando n-hexano bidestilado como referencia. La concentración se calculó mediante curva de calibración preparada con un patrón internacional. Los valores de absorbancia se obtuvieron a 255 nm con cubetas de cuarzo de 1 cm de paso de luz, abertura de 1.5 nm y tiempo de integración de 1 segundo. Los espectros fueron obtenidos en el mismo equipo en el rango de 200 - 400 nm, intervalo de datos de 0.853 nm, abertura de 1.5 nm y velocidad de registro de 1000 nm/s.

La modelación de la dispersión de contaminantes emitidos por chimeneas se ejecutó utilizando la corrida del programa para el cálculo de la concentración a partir de fuentes industriales continuas (Álvarez, 1994) siguiendo la metodología aprobada en la norma cubana (NC 39-1999) según el modelo de Berliand.

El valor de la constante de estratificación térmica atmosférica A que define las condiciones naturales de difusión más adversas se tomó igual a 200, según lo propuesto para nuestro país para zonas llanas o con topografía de poca complejidad y altura, el cual ha sido aceptado en la norma cubana de referencia. Los datos meteorológicos fueron tomados del Resumen Climático editado por el Instituto de Meteorología de Cuba.

La modelación de la dispersión se realizó para el SO₂, que es el contaminante fundamental emitido por las fuentes evaluadas. Los datos de emisiones de calderas para cálculos de dispersión fueron obtenidos en las propias fuentes de emisión, lo cual da mayor validez a los pronósticos, y se relacionan en la tabla 1.

Tabla 2. Caracterización de emisiones gaseosas originadas por la combustión del crudo directo en las chimeneas de la Batería Central a partir de valores promedios de 10 determinaciones de cada contaminante \pm desviación Standard.

Caldera	SO ₂ (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	CO (ppm)	H/C (mg/m ³)	PST (mg/m ³)
3	3561 \pm 267	254 \pm 29	2.6 \pm 2.0	29 \pm 11	139 \pm 11
4	2778 \pm 536	205 \pm 47	nsa	13 \pm 2	133 \pm 16
5	5567 \pm 179	321 \pm 14	270 \pm 32	33 \pm 15	174 \pm 39
8	3160 \pm 763	248 \pm 44	nsa	18 \pm 6	125 \pm 17
Norma ^(a)	<2000	460			100

^(a) Límites que no se deben exceder de contaminantes emitidos por chimeneas de calderas, hornos, incineradores y equipos de generación eléctrica (World Bank, 1997).

nsa – no se aprecia.

Tabla 3. Cargas contaminantes que las calderas evaluadas aportan al medio cuando queman crudo cubano directo (kg/h). Valores promedios de 10 determinaciones de cada contaminante \pm desviación Standard.

Caldera	SO ₂	NO _x	HC	PST	Flujo (Nm ³ /h)
3	113 \pm 8.5	8.09 \pm 0.91	0.93 \pm 0.35	4.43 \pm 0.34	31800 \pm 1956
4	105 \pm 20	7.72 \pm 1.76	0.48 \pm 0.09	5.01 \pm 0.59	37702 \pm 2389
5	220 \pm 7.1	12.70 \pm 0.56	1.29 \pm 0.59	6.87 \pm 1.53	39534 \pm 2976
8	112 \pm 27	8.76 \pm 1.54	0.63 \pm 0.21	4.41 \pm 0.60	35412 \pm 8305

En el procesamiento estadístico de datos se empleó el programa STATISTICA, versión 5.5, para determinar comportamientos promedios y correlaciones de interés.

Resultados y discusión

En la tabla 2 se muestran los resultados de la caracterización de emisiones por la combustión del crudo cubano directo de las calderas de la batería central. En la misma observamos que los niveles de concentración de SO₂ y partículas suspendidas totales (PST) alcanzan valores superiores a lo regulado por la norma de referencia. Los niveles de concentración de NO_x cumplen con la norma. Los niveles de concentración de CO y de Hidrocarburos Aromáticos (H/C) no se regulan en esta norma, aunque los niveles encontrados para estos últimos se consideran elevados, teniendo en cuenta su toxicidad (Wagner, 1996).

Los niveles de concentración de CO y de partículas suspendidas totales en la caldera 5 denotan una combustión más deficiente que el resto de las calderas evaluadas y por tanto mayores pérdidas económicas por este concepto.

En la tabla 3 se reportan las emisiones en términos de cargas de los principales contaminantes en las calderas evaluadas, en la misma se observa que la caldera 5 es la que mayor carga emite al medio, fundamentalmente del contaminante SO₂.

En la figura 1 se muestra la dispersión de las calderas estudiadas, en la misma se refleja la zona contaminada producto de estas emisiones. De acuerdo a los datos obtenidos por la dispersión, tenemos que la mayor concentración de SO₂ se alcanza a una distancia de 676 metros con relación a las fuentes, con una razón de concentración para 24 horas de 8.99, muy superior a la norma que se establece para este contaminante, dada la relación de concentración máxima alcanzada/ concentración máxima admisible (CM/ CMA) obtenida que es mayor que uno.

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en las calderas de la Batería Central al utilizar gas natural como combustible. Se observa la apreciable disminución de los niveles de concentración de contaminantes que se alcanza al utilizar un combustible más limpio.

En la tabla 5 se reportan las emisiones en términos de cargas de los principales contaminantes

Tabla 4. Caracterización de emisiones gaseosas originadas por la combustión del gas natural en las chimeneas de la Batería Central. Valores promedios de 10 determinaciones de cada contaminante \pm desviación Standard.

Caldera	SO ₂ (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	CO (ppm)	PST (mg/m ³)
3	154 \pm 2	30 \pm 2	nsa	12 \pm 2
4	153 \pm 3	35 \pm 3	nsa	20 \pm 5
5	151 \pm 4	32 \pm 2	nsa	22 \pm 5
8	152 \pm 4	32 \pm 4	nsa	15 \pm 3
Norma ^(a)	< 2000	320		100

^(a) Límites que no se deben exceder de contaminantes emitidos por chimeneas de calderas, hornos, incineradores y equipos de generación eléctrica. World Bank, 1997.

nsa – no se aprecia.

Tabla 5 Cargas contaminantes que aportan al medio las calderas evaluadas cuando queman gas natural (kg/h). Valores promedios de 10 determinaciones de cada contaminante \pm desviación Standard

Caldera	SO ₂	NO _x	PST	Flujo (Nm ³ /h)
3	3.08 \pm 0.04	0.60 \pm 0.04	0.25 \pm 0.04	19970 \pm 1340
4	3.36 \pm 0.07	0.78 \pm 0.07	0.45 \pm 0.10	22006 \pm 583
5	3.32 \pm 0.08	0.70 \pm 0.04	0.48 \pm 0.12	22006 \pm 881
8	3.34 \pm 0.08	0.71 \pm 0.09	0.33 \pm 0.06	22006 \pm 583

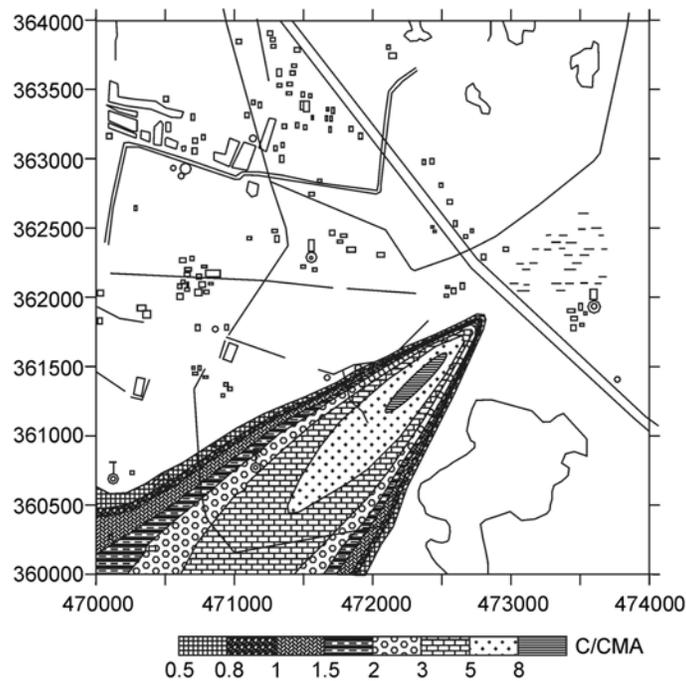


Fig. 1. Dispersión de la suma de las calderas estudiadas (calderas 3, 4, 5 y 8) cuando se quema crudo directo, con el viento dominante anual (16% de probabilidad de ocurrencia). Valores de la concentración relativa de SO₂ (C/CMA). Las cuadrículas son coordenadas UTM.

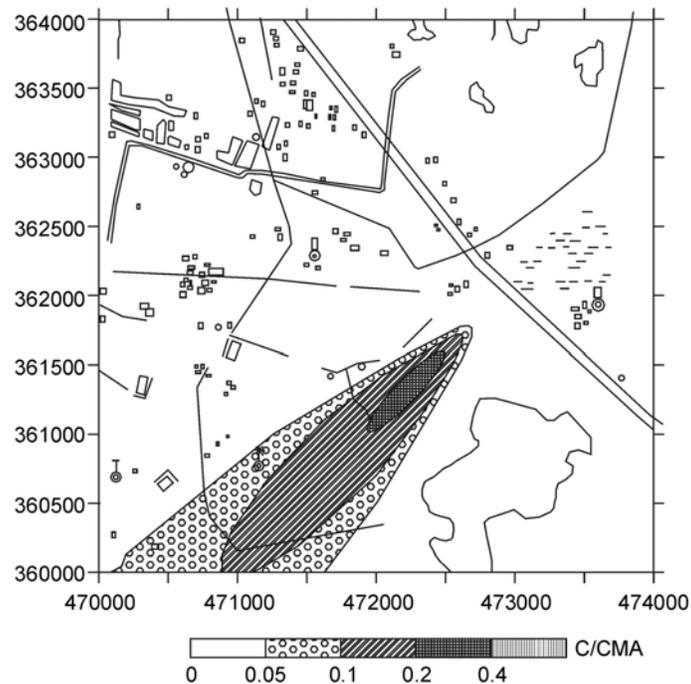


Fig. 2. Dispersión de la suma de las calderas estudiadas (calderas 3, 4, 5 y 8) cuando se quema gas natural, con el viento dominante anual (16% de probabilidad de ocurrencia). Valores de la concentración relativa de SO₂ (C/CMA). Las cuadrículas son coordenadas UTM.

en las calderas evaluadas, en la misma se observa que la caldera 4 es la que mayor carga emite al medio, fundamentalmente del contaminante SO₂.

Como se aprecia, cuando se quema gas natural es muy significativa la reducción de la carga contaminante de dióxido de azufre, partículas suspendidas totales y óxidos de nitrógeno, lo que mejora la calidad de vida en los ecosistemas asociados y alarga los periodos de mantenimiento y vida útil de los equipos.

De acuerdo a los datos obtenidos en la modelación de la dispersión se tiene que la mayor concentración de SO₂ se alcanza a una distancia de 651 metros, con una razón de concentración para 24 horas de 0.25, inferior a la norma establecida para este contaminante, dada la relación CM/ CMA obtenida que es mucho menor que uno. En la figura

2 se muestra la dispersión de la suma de las calderas estudiadas, en la misma se refleja que la zona no está contaminada por estas emisiones.

Conclusiones

Los niveles de concentración de SO₂ y partículas suspendidas cuando se quema crudo directo en las calderas de la Batería Central no cumplen con la norma referida para estos contaminantes, y las emisiones de las mismas ejercen un impacto negativo en la zona.

El uso del gas natural en calderas de la Batería Central garantiza un ecosistema más limpio y alarga los periodos de mantenimiento y vida útil de estos equipos, lo que proporciona además ahorros económicos.

En este sentido, es recomendable:

- 1) Sustituir el crudo directo por gas natural como combustible en las calderas de la Batería Central, lo que mejoraría el medio ambiente en la zona.
- 2) Mantener el control sistemático de los procesos de combustión en la industria evaluada con vistas a garantizar una buena eficiencia de operación.

Bibliografía

- Álvarez, O. 1994. Diagnóstico y pronóstico de la contaminación por SO₂ y H₂S en Moa. Modelación con consideraciones de terreno plano. Tesis en opción al Grado Científico de Dr. en Ciencias Geográficas, INSMET, La Habana, Cuba.
- ARPEL. 1997. Environmental Monitoring Procedures. Komex Int. Ltd., Calgary, Canada.
- Whitford, J. 1998. Metodologías de inventarios de emisiones atmosféricas en la industria petrolera. ARPEL (http://portal.arpel.org/wps/portal/tut/p/.cmd/cs/.ce/7_0_A/s/7_0_D2/th/J_0_69/s.7_0_A/7_0_CS/s.7_0_A/7_0_D2).
- Cheremisinoff, P.N. y Morresi, A.C. 1978. Air Pollution sampling and analysis deskbook. Ann Arbor Science, Michigan, Estados Unidos.
- Franklin, N. y Leahey, D. 1999. Metodologías de inventario de emisiones atmosféricas en la industria petrolera. ARPEL, Calgary.
- ISO-10396 1993. Emisiones de fuentes estacionarias. Muestreo para la determinación automática de concentraciones de gases. International Organization for Standardization, Ginebra, Suiza.
- ISO-9096 1992. Concentración y flujo másico de partículas en emisiones. Método gravimétrico. International Organization for Standardization, Ginebra, Suiza.
- López, C. 1995. La lluvia ácida, un problema ambiental en Cuba?. Boletín CIMAA 1: 2-4.
- Porteous, A. 1996. Dictionary of environmental science and technology, 2ª edición. John Wiley and Sons, Toronto, Canada.
- UNEP 1992. Chemical Pollution: A Global Overview. IRPTC, Ginebra, Suiza.
- Wagner, T. 1996. Contaminación, causas y efectos. Ed. Gernika, México D.F., México.
- World Bank Group 1997. Pollution Prevention and Abatement Handbook. General environmental Guidelines. (http://www.natural-resources.org/minerals/CD/docs/twb/PPAH/86_gener.pdf).
- Yoeast, H. y Fitzgerald, R. W. 1996. Stationary Source Testing: The Fundamentals. Chemical Eng. Progress 92: 36 – 41.