

09

Fecha de presentación: agosto, 2017
Fecha de aceptación: noviembre, 2017
Fecha de publicación: diciembre, 2017

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EMITIDOS POR CENTRALES AZUCAREROS CIENFUEGUEROS **EMITIDOS POR CENTRALES AZUCAREROS CIENFUEGUEROS**

MSc. Anel Hernández Garces¹
E-mail: anel@quimica.cujae.edu.cu

MSc. Mirtha Reinoso Valladares²
E-mail: mirtha@inor.ciiq.minem.cu

Lic. Francisco Hernández Bilbao³
E-mail: francisco.bilbao@azcuba.cu

¹Universidad Tecnológica José Antonio Echeverría. La Habana. Cuba.

²Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas. La Habana. Cuba.

³ Empresa Azcuba. La Habana. Cuba.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Hernández Garces, A., Reinoso Valladares, M., & Hernández Bilbao, F. (2017). Contaminantes atmosféricos emitidos por centrales azucareros cienfuegueros. *Universidad y Sociedad*, 9(5), 70-74. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>

RESUMEN

Uno de los problemas más importantes en la actualidad lo constituye la contaminación ambiental. La diversificación de la matriz energética pudiera solucionar el problema. La política de desarrollo prospectivo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía en Cuba ha establecido como intención la introducción de 755 MW en bio eléctricas con bagazo como combustible. Este trabajo estima el SO₂, los NO_x y el MP emitidos por generadores de vapor de centrales azucareros de la provincia Cienfuegos mediante factores de emisión como antecedente para la futura evaluación de las bio eléctricas a introducir. Como resultado se obtuvieron niveles de emisión inferiores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos, pero varios orden superior que los de los generadores de vapor convencionales que emplean hidrocarburos como combustible. La comparación de las emisiones con las EMA de la NC/TS 803: 2010 demuestra que ninguna de las emisiones sobrepasa los valores normativos para NO_x y SO₂. Para el MP todas las chimeneas superan los límites establecidos.

Palabras clave: Emisiones, contaminantes atmosféricos, generador de vapor, central azucarero.

ABSTRACT

One of the most important problems currently constitutes environmental pollution. Diversification of the energy matrix could solve the problem. Policy Perspective Development of Renewable Sources and the Efficient Use of Energy in Cuba intention established as the introduction of 755 MW in bioelectric bagasse as fuel. This paper estimates the SO₂, NO_x and PM issued by steam generators sugar mills of Cienfuegos province using issue factors as a precedent for future evaluation of bioelectric introduced. Issue results lower than thermoelectric but several higher than conventional steam boilers that employ hydrocarbon fuels were obtained. Comparison of EMA with NO_x and SO₂ issues CN/TS 803: 2010 showed that no issue exceeds the normative values. For PM, all the stack exceeds the standard limits.

Keywords: Issues, air pollutants, steam boiler, sugar mill.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más importantes en la actualidad lo constituye la contaminación ambiental desde de que se mostraron las consecuencias de las emisiones indiscriminadas a la atmosfera, principalmente de la quema de hidrocarburos para la obtención de energía.

La diversificación de la matriz energética mediante el incremento del uso de energías renovables pudiera solucionar el problema. Nova González (2013), reconoce que la agroindustria cañera ofrece un potencial atractivo como fuente de cogeneración de energía eléctrica mediante la quema de bagazo. Según estas suposiciones ha sido aprobada, en junio de 2014, la política de desarrollo prospectivo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía en Cuba que establece, entre otras intenciones, la introducción de 755 MW en bio eléctricas. Más tarde, González-Corzo, (2015), reporta una potencialidad anual de 5 000 GWh y analiza 5 variantes de implementación.

Las plantas bio eléctricas utilizan en la producción de energía subproductos de la caña de azúcar como el bagazo y otros residuales de la cosecha. Pudieran utilizar además otros residuos de origen forestal o agrícola. La factibilidad económica de esta alternativa ha sido demostrada (Torres, et al., 2015).

La quema de biomasa cañera no exime a las bio eléctricas de emitir gases contaminantes a la atmósfera (Domenech-López, et al., 2011). Este riesgo siempre está presente y depende, entre otros factores, del estado técnico de las calderas, de la existencia de sistemas de tratamiento y de la composición del combustible.

Diversos autores reportan antecedentes del cálculo de emisiones provenientes de la quema del bagazo. Gadi, et al. (2003), obtuvieron factores de emisión de varios biocombustibles a través de estudios de laboratorio de SO₂ y NO_x y concluyeron que el bagazo tiene los menores valores para SO₂. Sin embargo, para los NO_x se obtienen los mayores valores. Más tarde, DIGESA (2005) aclara que el 73.7% de las emisiones de óxidos de nitrógeno del Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas de la Cuenca Atmosférica de la ciudad peruana de Trujillo es atribuida a la industria azucarera, con 162 Ton/año, debido en su totalidad a la combustión del bagazo de caña de azúcar. A la misma vez, Gil (2005), estudió los impactos ambientales que produce la generación de energía a partir de bagazo en el central Melanio Hernández y utilizó el software DECADES para obtener factores de emisión.

Con posterioridad, Kawashima, et al. (2015), presentó el inventario de emisiones sobre la base de las plantas de energía que queman el bagazo de la caña de azúcar

y aclara que es uno de los combustibles más utilizados para la generación de electricidad en Brasil cuyo uso ha aumentado continuamente para abastecer la demanda de energía. Recientemente, Hernández, et al. (2016), estimaron las emisiones provenientes de los centrales de la provincia de Mayabeque utilizando factores de emisión.

Considerando la discusión anterior, se propone como objetivo de este trabajo estimar los contaminantes atmosféricos (SO₂, NO_x y MP) emitidos por generadores de vapor de centrales azucareros mediante factores de emisión como antecedente para la evaluación futura de las emisiones de las bio eléctricas a introducir.

DESARROLLO

Fueron elegidos como estudio precedente para la evaluación de las futuras bio eléctricas, los generadores de vapor de los centrales de la provincia Cienfuegos por encontrarse en los alrededores de una ciudad con una atmosfera posiblemente comprometida debido a la existencia en la zona de una refinería, una termoeléctrica, dos grupos electrógenos y una fábrica de cemento.

Se calcularon las emisiones de los contaminantes atmosféricos a partir de la ecuación (1) recomendada por la Environmental Protection Agency (1998), y se emplearon los factores de emisión publicados por la Agencia de Protección de Medio Ambiente de Estados Unidos, en la serie AP 42 para este tipo de fuente puntual o estacionaria (Environmental Protection Agency, 1993).

$$E = A \cdot f \cdot \left[1 - \frac{\epsilon}{100} \right] \quad 1$$

Donde E es la emisión (g/s),

A es el consumo de combustible (kg/s),

f es el factor de emisión no controlada (g/kg), y,

ϵ es la eficiencia de reducción de emisiones (%), cuando se utiliza tecnología de reducción. Como no existe tecnología de reducción de emisiones, entonces $\epsilon=0$.

En las Tablas 1 y 2 se muestran los factores de emisión considerados en el estudio. Se incluye en el estudio el SO₂ aunque es subestimado por la Environmental Protection Agency (1993), debido a la importancia de este contaminante criterio. Se toma el factor de emisión reportado por National Pollutant Inventory (2001).

Tabla 1. Factores de emisión (Environmental Protection Agency, 1993).

Sustancia	Factor de emisión (g/kg bagazo)
MP	7,8
NO _x	0,6

Tabla 2. Factores de emisión (National Pollutant Inventory, 2001).

Sustancia	Factor de emisión (g/kg bagazo)
SO ₂	0,25

La composición elemental del combustible que alimenta a los generadores de vapor es bagazo (Tabla 3).

Se reportan una composición similar para el bagazo donde el contenido de azufre es muy bajo o no se reporta debido a que las emisiones de SO₂ provenientes de la quema de bagazo son muy bajas (Environmental Protection Agency, 1993).

Tabla 3. Composición elemental del bagazo.

Carbón	Hidrógeno	Nitrógeno	Azufre	Fuente
19,2 %	2,6 %	0,15	<0,1 %	EPA, (1993)
42,2	5,47	0,23	0,0	Manals-Cutiño y otros, (2015)
42,54	5,17	0,63	0,3	Oliva y Antolín, (2003)
47,0	6,5	-	0,0	Reyes y otros, (2003)
44,6	5,8	0,6	0,1	Hassuani y otros, (2005)

Cálculo del consumo de combustible

Se calculó la cantidad de bagazo quemado teniendo en cuenta la cantidad de caña molida por el central (Tabla 4) y se consideró un 27% de bagazo.

Tabla 4. Consumo de caña de los centrales.

Central/Municipio	# de chimeneas	# de calderas	Consumo de caña (t/h)
Ciudad Caracas/ Santa Isabel de la Lajas	1	2	120
Antonio Sánchez/Aguada de Pasajeros	1	1	160
Catorce de Julio/Rodas	1	3	108
Elpidio Gómez/Palmira	1	3	125
5 de Septiembre/Rodas	1	2	191

Posteriormente se restó la cantidad destinada a la casa de bagazo, un 8% disponible para el arranque de la caldera (Tabla 5).

Se promedió la temperatura de salida de los gases de combustión de todas las calderas en el caso de centrales que tuviesen más de una en la misma chimenea.

Tabla 5. Consumo de caña de los generadores de vapor.

Central	Consumo de bagazo (t/h)	Temperatura salida gases de combustión (K)
Ciudad Caracas	29,8	548,15
Antonio Sánchez	39,7	515,15
Catorce de Julio	26,8	498,15
Elpidio Gómez	31,1	463,15
5 de Septiembre	47,4	456,65

El combustible se determinó empleando la masa de combustible gastado calculada anteriormente y convenientemente transformada en kg/s. Mientras, el flujo de gases emitido se obtuvo por medio de la ecuación (2):

$$Q = V \cdot C \quad 2$$

Donde Q es el flujo de los gases de combustión (m³/s),

V es el volumen de gases húmedos (m³/kg), para condiciones normales (0 °C y 760 mmHg), y,

C es el consumo de combustible en kg/s.

El volumen de gases V se calcula según la ecuación (3):

$$V = 2,4 \left[\left(\frac{P_C}{2} + \frac{P_{H_2}}{2} + \frac{S}{3} - \frac{O_2}{3} \right) \frac{n}{0,2} + \frac{P_{H_2}}{2} + \frac{O_2}{3} \right] \quad 3$$

Donde

PC, PH, PS y PO son las composiciones en tanto por uno de un combustible formado por carbono, hidrógeno, azufre y oxígeno, y,

n es el coeficiente de exceso de aire. En este caso n=1+exceso de aire.

Análisis de los resultados

En la Tabla 6 se muestran los resultados de las emisiones de los contaminantes atmosféricos expulsados por las bioeléctricas objeto de estudio.

Tabla 6. Emisiones y flujos volumétricos.

Central	Emisiones (g/s)			Flujo de gases (m ³ /s)
	MP	NO _x	SO ₂	
Ciudad Caracas	64,58	4,97	2,07	47.02
Antonio Sánchez	86,11	6,62	2,76	52.98
Catorce de Julio	58,15	4,47	1,86	57.65
Elpidio Gómez	67,28	5,18	2,16	64.26
5 de Septiembre	102,80	7,91	3,29	92.71

Los resultados obtenidos de caudal y emisión son menores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos pero son varios órdenes superiores que los de los generadores de vapor convencionales que emplean hidrocarburos como combustible y que están instalados en distintas industrias e instituciones de la región (Hernandez-Garces, 2016).

La norma NC/TS 803: 2010 establece las Emisiones Máximas Admisibles (EMA), las cuales se han establecido en dependencia de las características de las instalaciones que generan los contaminantes; para el caso de las calderas de vapor se distinguen diferentes clasificaciones, que se subdividen en correspondencia con el tipo de combustible que utiliza. Los generadores de vapor objeto de estudio se clasifican como c-1 (Calderas de vapor. Biomasa).

Para realizar la comparación de las emisiones con la norma cubana NC/ 803: 2010 fue necesario convertir los valores de concentración de los contaminantes en unidades de mg/Nm³. Las EMA solo están referidas en la NC/TS 803: 2010 a los contaminantes SO₂, NO_x y material articulado.

En la Tabla 7 se observa que ninguna de las emisiones resultantes de SO₂ sobrepasa las EMAs establecidas en la NC/TS 803: 2010 para los gases. La mayor contribución, lógicamente es el MP, causada fundamentalmente por el tipo de combustible que se emplea, el bagazo (Gil, 2005). Para el MP todas las chimeneas superan los límites establecidos. Sería necesario determinar el valor real de estas emisiones con detectores de gases para validar estas conclusiones. Mientras, para los NO_x todas las chimeneas superan los límites establecidos.

Tabla 7. Comparación normativa de las emisiones.

Central	Emisiones (mg/Nm ³)		
	MP	NO _x	SO ₂
EMA Fuentes existentes	400	100	1000
Ciudad Caracas	2758.29	212.18	88.41
Antonio Sánchez	2757.26	212.10	88.37
Catorce de Julio	1840.64	141.59	58.99
Elpidio Gómez	1776.10	136.62	56.93
5 de Septiembre	1839.09	141.47	58.95

Se puede suponer a priori que por la altura de las chimeneas, las emisiones no deben afectar a las comunidades vecinas a los centrales que influye, después de la obvia dispersión, esencialmente a las zonas rurales con un supuesto uso agrícola del suelo. La modelación de la dispersión de estas emisiones pudiera estimar la región de influencia y el efecto de las inmisiones de los contaminantes evaluados.

CONCLUSIONES

La estimación de los contaminantes atmosféricos emitidos por los generadores de vapor de centrales azucareros cienfuegueros analizados, ha arrojado resultados de emisión inferiores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos pero varios ordenes mayor que los de los generadores de vapor convencionales que emplean hidrocarburos como combustible.

La comparación de las emisiones con las EMA de la NC/TS 803: 2010, para la categoría de Fuentes existentes demuestra que ninguna de las emisiones de SO₂ sobrepasa los valores normativos. Mientras, para el MP y los NO_x todas las chimeneas superan los límites establecidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Domenech López, F., Lorenzo-Acosta, Y., Lorenzo-Izquierdo, M., & Esquivel-Baró, L. (2011). Diagnóstico preliminar de las emisiones gaseosas en la industria de los derivados de la caña de azúcar. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, 45(3), 30–37. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223122261005.pdf>
- Environmental Protection Agency. (1993). Emission factor documentation for AP-42 section 1.8 Bagasse combustion in sugar mills. Washington D. C: EPA.
- Environmental Protection Agency. (1998). Emissions Factors & AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, 1. Washington D. C: EPA.
- Gadi, R., Kulshrestha, U. C., Sarkar, A. K., Garg, S. C., & Parashar, D. C. (2003). Emissions of SO₂ and NO_x from biofuels in India. Tellus B, 55 (3), 787-795. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/268284887_Emissions_studies_of_carbonaceous_matter_from_fuels_used_in_India
- Gil Unday, Z. (2005). Estudio del impacto ambiental del uso del bagazo como fuente de energía en centrales azucareros en Cuba. Estudio de caso "Melanio Hernández". Tesis de Doctorado. Girona: Universitat de Girona.

- González-Corzo, M. (2015). La agroindustria cañera cubana: transformaciones recientes. New York: Bildner Center.
- Hassuani, S. J., Lima, M. R., & Carvalho, I. (2005): Biomass power generation: Sugar cane bagasse and trash. Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira.
- Hernández Garcés, A. (2016): Sistema de evaluación de la dispersión episódica de contaminantes atmosféricos. Tesis en opción al grado de Doctor en Ingeniería Química y Ambiental. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.
- Hernández Garcés, A., Reinosa Valladares, M., Ordoñez, Y. C., Barcelona, L., & Hernández, F. (2016). Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros. ECOSOLAR, 56, 1-7. Recuperado de <http://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/408>
- Kawashima, A. B., et al. (2015). Estimates and Spatial Distribution of Emissions from Sugar Cane Bagasse Fired Thermal Power Plants in Brazil. Journal of Geoscience and Environment Protection, 3(6), 72-76. Recuperado de <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?paperID=59035>
- Manals Cutiño, M., Penedo Medina, M., & Salas-Tort, D. (2015). Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal. Tecnología Química, 35(2), 244-255. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000200010
- National Pollutant Inventory. (2001). Emission estimation technique manual for Combustion in boilers, Version 3.6. Sidney: NPI
- Nova González, A. (2013). Importancia económica y estratégica de la agroindustria de la caña de azúcar para la economía cubana. Transforming the Cuban Economic Model. New York: Bildner Center.
- Oliva, D., & Antolín, G. (2003). Aproximación experimental a la combustión del bagazo de caña en lecho fluidizado. Ecosolar, 3, 1-5. Recuperado de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar03/HTML/articulo03.htm>
- República de Cuba. Oficina Nacional de Normalización. (2010). NC/TS 803. Calidad del aire — emisiones máximas admisibles. De contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor. La Habana: ONE.
- Reyes, J. L., Perez, R., & Betancourt, J. (2003): Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental. Ecosolar, 5, 1-7. Recuperado de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/ecosolar05/HTML/articulo01.htm>
- Torres, A., Almazán, O., & Hernández, B. (2015). Estudio de factibilidad económica de un proyecto de generación eléctrica, a partir de la gasificación de bagazo en un central azucarero cubano. Revista Centro Azúcar, 42(1), 1-8. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612015000100001