

Contaminantes atmosféricos procedentes del central azucarero “Argeo Martínez”, Guantánamo, Cuba.

Air pollutants emitted by “Argeo Martinez” sugar mill, Guantanamo, Cuba.

Autores: Dr. C. Anel Hernández-Garces¹, MSc. Mirtha Reinoso Valladares², Lic. Francisco Hernández Bilbao³

Organismo: Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Cuba¹. Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas, La Habana, Cuba². Azcuba, La Habana, Cuba³

E-mail: anel@quimica.cujae.edu.cu, mirtha@inor.ciiq.minem.cu, francisco.bilbao@azcuba.cu

Resumen.

La introducción de Bioeléctricas con bagazo como combustible pudiera solucionar uno de los problemas más importantes en la actualidad: la contaminación ambiental. Este trabajo estima el SO₂, los NO_x y el MP emitidos por los generadores de vapor del central azucarero “Argeo Martínez” de la provincia Guantánamo mediante factores de emisión como precedente para la evaluación futura de las Bioeléctricas. Como resultado se obtuvieron valores de emisión menores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos pero varios ordenes mayor que los de los generadores de vapor convencionales que emplean como combustible hidrocarburos. La comprobación de las emisiones con las EMA de la NC/TS 803:2010, para la categoría de Fuentes existentes comprobó que para el MP y los NO_x se superan los valores legales, mientras, para el SO₂ las emisiones no sobrepasan el máximo fijado.

Palabras clave: centrales azucareros; contaminantes atmosféricos; Bioeléctricas con bagazo; contaminación ambiental.

Abstract.

Introduction of bioelectric with bagasse as fuel could solve one of the most important problems at present: atmospheric pollution. This work estimates SO₂, NO_x and PM emitted by steam boilers from “Argeo Martinez” sugar mill in the Guantanamo province using emission factors as a precedent for the future evaluation of bioelectrics. As a result, lower emission levels were obtained than thermoelectric but several orders higher than those of conventional steam boilers that use hydrocarbons as fuel. Verification of the emissions with the EMA of the NC/TS 803:2010, for the category of Existing Sources verified that for the MP and the NO_x, the emissions exceed the legal values. Meanwhile, for the SO₂ none of the emissions exceeds the fixed maximum.

Keywords: sugar mills; air pollutants; bioelectric with bagasse; atmospheric pollution.

Introducción.

La quema indiscriminada de hidrocarburos para la producción de energía ha provocado uno de los principales problemas ambientales del mundo: la contaminación del aire. Una posible solución pudiera ser la diversificación de la matriz energética a partir del fomento del uso de energías renovables. En tal sentido, puede ser considerada la agroindustria cañera ya que ofrece un potencial atractivo como fuente de cogeneración de energía eléctrica mediante la quema de bagazo, Nova González, (2013). En consecuencia, en junio de 2014 fue aprobada la Política de Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía en Cuba que estableció, entre otros propósitos, la instalación de 755 MW en bioeléctricas. Luego, González-Corzo, (2015) reportó una potencialidad anual de 5 000 GWh y analizó 5 alternativas de implementación. Simultáneamente Torres et al., (2015) demostraron la viabilidad económica del empleo de los subproductos de la caña de azúcar como el bagazo y otros residuales de la cosecha en las plantas bioeléctricas para la producción de energía así como otros residuos de origen forestal o agrícola.

Otros países azucareros utilizan el bagazo como combustible. Bocchi y Oliveira, (2008) señalaron que el bagazo era la biomasa más utilizada en Brasil para la generación de vapor. Mientras, Shah y otros, (2016) ejemplificaron al bagazo de la caña de azúcar como un combustible alternativo capaz de minimizar las emisiones contaminantes en comparación con los hidrocarburos.

Domenech-López et al., (2011) aclaran que no obstante, al quemar biomasa cañera, las bioeléctricas emiten gases contaminantes. Siempre este peligro está presente y depende, entre otros, del estado técnico de las calderas, de la existencia de sistemas de tratamiento y de la composición del combustible.

Numerosos investigadores han abordado el cálculo de emisiones provenientes de la quema del bagazo. A partir de estudios de laboratorio de SO₂ y NO_x, Gadi et al., (2003) obtuvieron factores de emisión de varios biocombustibles y concluyeron que el bagazo tiene los menores valores para el SO₂. No obstante, para los NO_x se obtuvieron los mayores valores. Más tarde, DIGESA, (2005) precisó 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 t/año, debido en su totalidad a la combustión del bagazo de caña de azúcar. A la misma vez, Gil, (2005) evaluó los efectos ambientales que produce la generación de energía a partir de bagazo en el central espirituano Melanio Hernández y utilizó el software DECADES para obtener factores de emisión.

Posteriormente, Kawashima et al., (2015) presentaron el inventario de emisiones sobre la base de las plantas de energía que queman bagazo de la caña de azúcar cuyo uso se ha acrecentado paulatinamente para satisfacer la demanda de electricidad. Recientemente, Hernández et al. (2016) estimaron las emisiones provenientes de los centrales azucareros de la provincia Mayabeque utilizando factores de emisión.

A partir de la discusión anterior este trabajo se propone como objetivo estimar mediante factores de emisión los contaminantes atmosféricos (SO₂, NO_x y MP) emitidos por las

calderas del central azucareros “Argeo Martínez” como precedente para la evaluación futura de las emisiones de las Bioeléctricas.

Desarrollo.

Materiales y Métodos

Fueron elegidos los generadores de vapor del central “Argeo Martínez” de la provincia Guantánamo para sentar las bases de la evaluación de las futuras Bioeléctricas.

Se estimaron los contaminantes atmosféricos a partir de la ecuación (1), recomendada por la Agencia de Protección de Medio Ambiente de Estados Unidos, EPA, (1998), y se utilizaron los factores de emisión publicados por esta agencia en la serie AP 42 para fuentes puntuales o estacionarias, EPA, (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,
e es la eficiencia de reducción de emisiones (%), cuando se utiliza tecnología de reducción. Como no existe tecnología de reducción de emisiones, entonces $\epsilon=0$.

La EPA (1993) ignora al SO₂, no obstante se incluye en el presente trabajo debido a la importancia de este contaminante criterio. Con este fin se considera entonces el factor de emisión reportado por NPI (2001) para el SO₂. En las Tablas 1 y 2 se muestran los factores de emisión tenidos en cuenta en el trabajo.

Tabla 1. Factores de emisión (EPA, 1993)

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

Tabla 2. Factores de emisión (NPI, 2001)

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

Varios autores describen una composición similar para el bagazo en la que minimizan la composición de azufre ya que las emisiones de SO₂ provenientes de la quema de bagazo son escasas (EPA, 1993). La Tabla 3 muestra la composición elemental descrita.

Tabla 3. Composición elemental del bagazo.

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

A partir de la norma potencial de caña del central (Tabla 4) y suponiendo que la misma generaba un 27% de bagazo, se estimó la cantidad de bagazo quemado.

Tabla 4. Consumo de caña del central

Central/Municipio	# de chimeneas	# de calderas	Consumo de caña (t/h)
Argeo Martínez/Guantánamo	1	2	129

Se sustrajo posteriormente, un 8%, cantidad retenida por la casa de bagazo para un futuro arranque de la caldera (Tabla 5).

Tabla 5. Consumo de caña de las calderas

Central	Consumo de bagazo (t/h)	Temperatura salida gases de combustión (K)
Argeo Martínez	32	498

Se promedió la temperatura de salida de los gases de combustión ya que el central posee dos calderas que emiten a través de la misma chimenea.

El consumo combustible, en kg/s, se calculó a partir de la masa de combustible gastado calculada anteriormente. Por otro lado, el flujo de gases se estimó 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.

Mientras, el volumen de gases V se obtuvo según la ecuación (3):

$$V = 22,4 \left[\left(\frac{P_C}{12} + \frac{P_{H_2}}{2} + \frac{S}{32} - \frac{O_2}{32} \right) \frac{n}{0,21} + \frac{P_{H_2}}{2} + \frac{O_2}{32} \right] \quad 3$$

donde P_C , P_H , P_S y P_O 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 $n=1+\text{exceso de aire}$.

Resultados y discusión

Los resultados de las emisiones de los contaminantes atmosféricos producidos por las calderas estudiadas se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Emisiones y flujos volumétricos

Central	Emisiones (g/s)			Flujo de gases (m ³ /s)
	MP	NO _x	SO ₂	
Argeo Martínez	69,5	5,3	2,2	46,0

Los resultados de caudal y emisión estimados son inferiores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos pero son varios órdenes superiores que los de los generadores de vapor convencionales instalados en distintas industrias e instituciones de la región que emplean hidrocarburos como combustible, Cuesta et al., (2016). Este resultado coincide con Neto y Ramón, (2002), quienes cuantificaron las toneladas de NO_x dejadas de emitir por la quema de emisiones fósiles.

Se han establecido las Emisiones Máximas Admisibles (EMA) en dependencia de las características de las instalaciones. Los generadores de vapor evaluados en este estudio se clasifican como c-1 (Calderas de vapor. Biomasa) según la norma NC/TS 803: 2010. Esta norma solo atañe a los contaminantes SO₂, NO_x y material particulado.

Con el fin de realizar la comparación de las emisiones con esta norma, se convirtieron los valores de concentración de los contaminantes a unidades de mg/Nm³. Como resultado se obtuvo que las emisiones sobrepasan los límites normativos para el MP y los NO_x (Tabla 7). El mayor aporte, lógicamente es el MP, causado básicamente por el empleo de bagazo como combustible. Por otra parte, las emisiones resultantes de SO₂ no sobrepasan la EMA establecidas en la norma cubana debido al bajo contenido de azufre en el bagazo quemado. Estas conclusiones deben ser validadas determinando el valor real de las emisiones con analizadores de gases de combustión.

Tabla 7. Comparación normativa de las emisiones

Central	Emisiones (mg/Nm ³)		
	MP	NO _x	SO ₂
EMA Fuentes existentes	400	100	1000
Argeo Martínez	2759,8	212,3	88,5

La dispersión es un proceso de dilución que mezcla el aire ambiente con el penacho de partículas gobernado principalmente por la turbulencia atmosférica (López, 2006). La dispersión puede ser provocada por el aire que fluye alrededor de obstáculos e

irregularidades de la superficie por ejemplo colinas y árboles; o por la diferencia en la velocidad y/o dirección del viento entre dos alturas sobre la superficie; o por burbujas de aire ascendiendo debido al calentamiento diurno de la superficie.

Producto de la dispersión, las emisiones estudiadas en este trabajo deben influir esencialmente en las zonas rurales para las que se supone un uso agrícola del suelo. No deben afectar a las comunidades vecinas a los centrales si se tiene en cuenta la altura de la chimenea. El área de influencia y los efectos de las inmisiones de los contaminantes analizados pudiera estimarse a través de la modelación de la dispersión de estas emisiones, Hernández-Garceset al., (2015).

Deberá estudiarse opciones de solución a la emisión de contaminantes. Torres et al., (2015) consideraron la gasificación del bagazo para la generación de electricidad, de forma limpia y altamente eficiente. Por otro lado, Renet al., (2017) analizaron el uso de la torrefacción del bagazo con la subsiguiente reducción de las emisiones de SO₂ y NO_x.

Conclusiones.

Se evaluaron los contaminantes atmosféricos emitidos por los generadores de vapor del central azucarero “Argeo Martínez” y se obtuvo como resultado valores de emisión varios ordenes mayor que los de los generadores de vapor convencionales que emplean hidrocarburos como combustible pero inferiores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos.

La comparación de las emisiones con las EMA de la NC/TS 803: 2010, para la categoría de Fuentes existentes demostró que para el MP y los NO_x se superan los valores legales. Mientras, para el SO₂ ninguna de las emisiones sobrepasa el máximo fijado.

Bibliografía.

- BOCCHI B. Y OLIVEIRA, S. (2008). *Estudo de viabilidade de cogeração de uma unidade de extração de óleo de palma integrada a uma usina de biodiesel*. PME 2600 - Projeto integrado III. Trabalhos de formatura engenharia mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 10.
- CUESTA, O., SOSA, C., IRAOLA, C., MENÉNDEZ, L., GONZÁLEZ, Y., NUÑEZ, V., FONTE, A., IMBERT, C., BARCIA, S., GÓMEZ, Y., PORTAL, D. Y COLLAZO, A. (2016). *Inventario nacional de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas*. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. Resultado Científico, Resumen ejecutivo. La Habana, 20.
- Dirección general de salud ambiental [DIGESA] (2005). *Inventario de emisiones de fuentes fijas cuenca atmosférica de la ciudad de Trujillo*, Perú.
- 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.
- Environmental Protection Agency [EPA]. (1993). *Emission factor documentation for AP-42 section 1.8 Bagasse combustion in sugar mills*.
- Environmental Protection Agency [EPA] (1998). *Emissions Factors & AP-42*, Compilation of Air Pollutant Emission Factors.

- 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.
- 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. Universitat de Girona.
- GONZÁLEZ-CORZO, M. (2015). *La agroindustria cañera cubana: transformaciones recientes*. Bildner Center.
- HASSUANI, S. J.; LIMA, M. R. Y CARVALHO, I. (2005). *Biomass power generation: Sugar cane bagasse and trash*. PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento CTC - Centro de Tecnologia Canaveira. 1st edition.
- HERNÁNDEZ-GARCÉS, A., JAUREGUI HAZA, U., SOUTO GONZÁLEZ, J., CASARES LONG, J., SAAVEDRA RODRÍGUEZ, S. Y GUZMÁN MARTÍNEZ, F., TORRES VALLE, A. (2015). *Estado actual de los modelos de dispersión atmosférica y sus aplicaciones*. UCE Ciencia. *Revista De Postgrado*, 3(2).
- HERNÁNDEZ-GARCÉS, A.; REINOSA VALLADARES, M.; ORDOÑEZ, Y. C.; BARCELONA, L. Y HERNÁNDEZ, F. (2016). *Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros*. *Ecosolar*, 56, 1-7.
- KAWASHIMA, A. B., DE MORAIS, M. V. B., MARTINS, L. D., URBINA, V., RAFEE, S. A. A., CAPUCIM, M. N., & MARTINS, J. A. (2015). *Estimates and Spatial Distribution of Emissions from Sugar Cane Bagasse Fired Thermal Power Plants in Brazil*. *Geoscience and Environment Protection*, 3(6), 72-76.
- LÓPEZ, C. (2006). *Introducción a la gestión de la calidad del aire. Modelación de la calidad del aire*. Instituto de Meteorología.
- MANALS-CUTIÑO, M.; PENEDO-MEDINA, M. Y SALAS-TORT, D. (2015). *Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal*. *Tecnología Química*, 35(2), 244-255.
- National Pollutant Inventory [NPI] (2001). *Emission estimation technique manual for Combustion in boilers*, Version 3.6.
- NETO, V. C. Y RAMON, D. (2002). *Análises de opções tecnológicas para projetos de co-geração no setorsucro-alcooleiro*. Contract NO. DE-AC36-99GO10337, Brasília, DF.
- NC/TS 803 (2010). *Calidad del aire — emisiones máximas admisibles. De contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor*. Oficina Nacional de Normalización.
- NOVA GONZÁLEZ, A. (2013). *Importancia económica y estratégica de la agroindustria de la caña de azúcar para la economía cubana*. Ponenciapresentada en "Transforming The Cuban Economic Model." Bildner Center for Western Hemisphere Studies, The Graduate Center, CUNY, New York.
- OLIVA, D. Y ANTOLÍN, G. (2003). *Aproximación experimental a la combustión del bagazo de caña en lecho fluidizado*. *Ecosolar*, 3, 1-5,
- REN, X., SUN, R., MENG, X., VOROBIEV, N., SCHIEMANN, M. & LEVENDIS, Y. A. (2017). *Carbon, sulfur and nitrogen oxide emissions from combustion of pulverized raw and torrefied biomass*. *Fuel*, 188, 310-323.
- REYES, J. L., PEREZ, R. Y 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.
- SHAH, S. A., SOOMAR, M., & HUSSAIN, A. (2016). *Comparative Emission Analysis Of Bituminous Coal, Sugarcane Bagasse and Rice Husk*. *Sindh University Research Journal-SURJ (Science Series)*, 48(3).

Hombre, Ciencia y Tecnología ISSN: 1028-0871 Vol. 21, No. 3, julio-septiembre pp. 7-14, 2017

TORRES, A., ALMAZÁN, O. Y 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.

Fecha de recibido: 2 abr. 2017

Fecha de aprobado: 9 jun. 2017