



Estimadores cuantitativos de la emisión de contaminantes atmosféricos por combustión del petróleo crudo cubano y su efecto económico

Juan Landa
Roberto Vizcón

Recibido: Febrero del 2003
Aprobado: Abril del 2004

Resumen / Abstract

Se estima el valor promedio de la emisión de contaminantes de la Central Termoenergética (CTE) José Martí al utilizar como combustible la mezcla de petróleo crudo nacional en la década del 90 y el perjuicio económico que estas provocan, a partir de la estimación estadística de los parámetros característicos de este combustible reportados en la literatura consultada, obteniéndose a partir de este resultado un índice específico para calcular la emisión de los contaminantes atmosféricos de este combustible y el efecto económico de dichas emisiones.

Palabras clave: petróleo, contaminantes atmosféricos, emisión, combustión

In this work is estimated the medium value of the contaminant emission in the CTE José Martí to use the mixture of the national oil PCNm in the decade of 90 using the statistic estimation of the characteristic parameters of this oil reported in the literature, obtaining specific indices to the contamination emission of this oil and the economic effect of this emission.

Key words: crude oil, atmospheric pollutants emissions, combustion

INTRODUCCIÓN

Para estimar el volumen de contaminantes que es emitido necesariamente al medio ambiente en la combustión de un combustible dado o innecesariamente por: cometer un error operacional en un horno o generador de vapor, tener en un sistema dado que consume electricidad o combustible un desperfecto o error operacional que provoca un insumo superior a lo normal, obsolescencia tecnológica de la instalación en alguna medida, etc., lo que provoca un consumo adicional de combustible, y, por ende, una emisión de

contaminantes adicional e innecesaria, se requiere disponer de una metodología de cálculo (ecuaciones, etc.) y características de los combustibles y sistemas en que ocurre la combustión y de los parámetros de operación a que funcionan los generadores de vapor vinculados al Sistema Electroenergético Nacional para tener la posibilidad de evaluarlas, lo cual indica lo complejo y laborioso del proceso de esta estimación.

En muchas oportunidades, el especialista que necesita este resultado no está capacitado para enfrentar esta tarea y(o) no cuenta con los medios

disponibles, por lo cual en este trabajo se ha definido el siguiente objetivo:

Obtener un índice preliminar numérico que permita estimar en forma rápida la emisión de contaminantes generada al quemar mezclas de petróleo crudo nativo mejorado y el daño económico que estos provocan partiendo de las características de estos combustibles y las peculiaridades de su combustión en las instalaciones de la CTE José Martí.

DESARROLLO

Contaminación del aire

Wark¹ define acertadamente que la contaminación del aire "Es la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes y(o) sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que afecten o pueden afectar la vida humana, de animales, de plantas o de la propiedad, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades", la cual puede tener diversos orígenes como a continuación se explica.

Las partículas sólidas que existen en la atmósfera son generadas por la combustión de combustibles tales como el carbón y el petróleo en hornos estacionarios y por la gasolina y el diesel en motores y turbinas. La fuente principal de los óxidos de azufre es la quema de los combustibles que contienen azufre. El monóxido de carbono es generado principalmente por la combustión incompleta de los combustibles y durante la refinación de petróleo. Los óxidos de nitrógeno se forman en un proceso de combustión cuando el nitrógeno del aire o del combustible se combina con el oxígeno a elevadas temperaturas, según algunos autores,^{1,2} los que consideran acertadamente que estas sustancias -productos de la combustión- son los contaminantes atmosféricos principales, los cuales serán determinados en este trabajo para las condiciones de explotación de la CTE José Martí.

Cálculo de la emisión de sustancias contaminantes durante la combustión del petróleo

Las ecuaciones a utilizar en el cálculo de las emisiones señaladas son:

-Para las emisiones de monóxido de carbono (CO),³ según la referencia 3.

$$M_{CO} = \%CO/100 \cdot V_{gs} \cdot \rho_{CO} \cdot B \cdot (100 - q_d)/100 \cdot 10^3; [g/s] \quad \dots(1)$$

$$V_{gs} = V_{gs}^o + (\alpha m - 1) \cdot V_a^o \quad \dots(2)$$

$$V_{gs}^o = 0,01 \cdot (1,866 \cdot C^t + 0,75 \cdot S^t) + 0,79 \cdot V_a^o + 0,008 \cdot N^t \quad \dots(3)$$

$$\alpha m = (\alpha'' + \alpha h)/2 \quad \dots(4)$$

$$\alpha h = \alpha'' - \Delta \alpha \text{ total} \quad \dots(5)$$

en el generador de vapor evaluado:

$$\Delta \alpha \text{ total} = \Delta \alpha h + \Delta \alpha \text{ car} + \Delta \alpha \text{ sobrec} \quad \dots(6)$$

- Los demás contaminantes emitidos pueden calcularse para la caldera de la CTE objeto de estudio, según Oliva y otros,² y han utilizado en sus trabajos diferentes autores.⁴⁻⁶

$$M_{SO_2} = 20 \cdot S^t \cdot B \cdot (1 - f_{SO_2}); [g/s] \quad \dots(7)$$

$$M_{PS} = 10 \cdot (A^t + q^4) \cdot A_{arr} \cdot B \cdot (1 - x_{ps}); [g/s] \quad \dots(8)$$

$$M_{NO_x} = 0,034 \cdot \beta_1 \cdot K_{NO_x} \cdot B \cdot Q_b^t \cdot ((100 - q_d)/100)(1 - \beta_2 r) \cdot \beta_3; [g/s] \quad \dots(9)$$

Como resulta lógico, el flujo total de contaminantes se calcula como:

$$M_{TOTAL} = M_{CO} + M_{SO_2} + M_{NO_x} + M_{PS}; [g/s] \quad \dots(10)$$

donde :

M_{CO} , M_{SO_2} , M_{PS} , M_{NO_x} y M_{TOTAL} son el flujo másico de monóxido de carbono, dióxido de azufre, partículas sólidas, óxidos de nitrógeno y total de contaminantes atmosféricos respectivamente, en kilogramos por segundo (kg/s).

α'' , αm y αh , son los coeficientes de exceso de aire a la salida, medio y en el horno del generador de vapor respectivamente, adim.

$\Delta \alpha \text{ car}$, $\Delta \alpha \text{ sobrec}$, $\Delta \alpha h$ y $\Delta \alpha \text{ total}$: Infiltraciones en el calentador de aire regenerativo, en el sobrecalentador, en el horno y total del generador de vapor respectivamente, adim.

Porcentaje de CO: Porcentaje de monóxido de carbono en los gases de escape.

ρ y ρ_{CO} : Densidad del petróleo y la normal del monóxido de carbono, kilogramo por metro cúbico (kg/m³)

V_{gs} y V_{gs}^o : Volumen real y teórico de los gases secos de la combustión respectivamente, en metros cúbicos por kilogramo de combustible (m³/kg combustible).

B : Consumo de combustible, en kilogramo por segundo (kg/s).

q^4 : Pérdidas de energía por incombustión mecánica; en porcentaje (%).

S^t : Contenido de azufre en la masa de trabajo del combustible, en porcentaje (%).

f_{SO_2} : Fracción de los óxidos de azufre retenida por las cenizas volátiles en los conductos de gases, adim.

A^t : Contenido de cenizas del combustible en la masa de trabajo, en porcentaje (%).

A_{arr} : Fracción del total de partículas sólidas arrastradas con los gases producto de la combustión, en porcentaje (%).

x_{ps} : Fracción de partículas sólidas retenidas en los captadores de cenizas, en porcentaje (%).

β_1 : Coeficiente que tiene en cuenta el contenido de nitrógeno del combustible; adim.

β_2 : Coeficiente que tiene en cuenta la recirculación de los gases; adim.

r : Relación entre el flujo de los gases que recirculan y el flujo de gases en el eje convectivo después de la recirculación; adim.

β_3 : Coeficiente que tiene en cuenta las características constructivas del quemador (de remolino $\beta_3=1$; de flujo lineal $\beta_3 = 0,85$).

Qb^t : Valor calórico inferior del combustible, en kilojul por kilogramo (kJ/kg).

K_{NOx} : Cantidad de óxidos de nitrógeno producida durante la combustión de una tonelada de combustible convencional. Se puede hallar de forma aproximada como:

$$K_{NOx} = 12 \text{ Dr} / (200 + \text{Dr}), \text{ en kilogramo por tonelada (kg/t)} \quad \dots(11)$$

para generadores de vapor con capacidad nominal mayor de 70 t.

$$K_{NOx} = 3,5 \text{ Dr} / 70; \text{ en [kg/t]} \quad \dots(12)$$

para los generadores de vapor de capacidad nominal menor de 70 t.

donde:

D y Dr : Capacidad nominal y real del generador de vapor respectivamente; en toneladas por hora (t/h).

Cálculo del flujo de contaminantes atmosféricos emitidos

Los cálculos se efectuaron para la carga máxima registrada en los primeros 4 meses del año 2000, la cual fue de 32 MW a la que le corresponde un consumo de combustible promedio de 266,26 m³/día.

La densidad del petróleo a la temperatura de 50 °C ($\rho = 968,73 \text{ kg/m}^3$) se obtiene utilizando un modelo matemático,⁵ el cual correlaciona la densidad con la densidad API y la temperatura del petróleo, por lo que:

$$B = 266,26 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 968,73 \text{ kg/m}^3 \cdot 1 \text{ día}/24 \text{ h} \cdot 3600 \text{ s} = 2,98 \text{ kg/s}.$$

Las características del combustible y su composición elemental en porcentaje en peso se seleccionaron para los valores medios reportados en la década del 90, las que son:

$A^t = 0,058$ % peso; $C^t = 81,14$ % peso; $Qb^t = 38,527$ MJ/kg; $S^t = 6,66$ % peso, excepto $N^t = 0,9$ (puede consultarse la referencia 7).

De la evaluación del generador de vapor,⁸ se obtuvieron los valores de $q_4 = 0,79$ %,

$$Va_0 = 10,03 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\alpha'' = 1,4.$$

Los valores de las infiltraciones individuales son:

$\Delta\alpha h = 0,05$, $\Delta\alpha car = 0,2$ y $\Delta\alpha sobrec = 0,03$ (consultar la referencia 8).

Se considera que:

- $f_{SO_2} = 0,02$, valor reportado para el mazut.²
- El 90 % de las partículas son arrastradas por la corriente de los gases, $A_{arr} = 0,9$.
- No se retiene ninguna partícula sólida en los captadores de cenizas, $x_{ps} = 0$.
- $\beta_1 = 0,7$ para reportado para el Mazut cuando $\alpha h \leq 1,05$. Y teniendo en cuenta que

$\beta_2 = 0$ porque no existe recirculación de los gases.

$r = 0$ porque no existe recirculación de los gases.

$\beta_3 = 0,85$ por ser los quemadores instalados en el generador de vapor de flujo lineal.

Dr : Capacidad real del generador igual a 125 t/h.

D : Capacidad nominal del generador igual a 160 t/h.

Sustituyendo en las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$V_{gs} = 9,49 \text{ m}^3/\text{kg de comb.}$$

$$\Delta\alpha_{total} = 0,28$$

$$\alpha h = 1,02$$

$$\alpha m = 1,16$$

$$V_{gs} = 11,09 \text{ m}^3/\text{kg de comb.}$$

$$M_{CO} = 49,1 \text{ g/s}$$

$$M_{SO_2} = 389,70 \text{ g/s}$$

$$M_{PS} = 22,80 \text{ g/s}$$

$$M_{NOx} = 9,63 \text{ g/s}$$

$$M_{TOTAL} = 471,44 \text{ g/s}$$

Índice numérico para la estimación de los contaminantes atmosféricos emitidos al combustionar petróleo crudo nacional mejorado

Un índice específico numérico de emisión de contaminantes puede ser calculado,^{6,9,10} por la ecuación 13.

$$I_{eca} = \frac{M_{TOTAL}}{B}; \frac{\text{gramos de contaminantes emitidos}}{\text{gramos de combustible insumidos}} \quad \dots(13)$$

El índice de emisión de contaminantes atmosféricos *I_{eca}* para las mezclas de petróleo crudo nacional mejorado insumidos en la CTE José Martí *I_{eca_cmej}* será determinado, teniendo en cuenta los valores calculados anteriormente para el flujo de total de contaminantes emitidos calculados y el consumo de combustible de la CTE, como:

$$I_{eca - cmej} = \frac{M_{TOTAL}}{B} \quad \dots(14)$$

sustituyendo se obtiene

$$I_{eca_cmej} = 0,15788 \frac{\text{gramos de contaminantes emitidos}}{\text{gramos de combustible insumidos}}$$

Un índice para la emisión de SO₂ es muy necesario teniendo en cuenta su mayor peso en el flujo de contaminantes emitidos y será entonces calculado por analogía con la ecuación 14 como:

$$I_{e-SO_2} = \frac{M_{SO_2}}{B}; \frac{\text{gramos de SO}_2 \text{ emitidos}}{\text{gramos de combustible consumido}} \quad \dots(15)$$

$$I_{e-SO_2} = 0,13051 \frac{\text{gramos de SO}_2 \text{ emitidos}}{\text{gramos de combustible consumidos}}$$

Debe destacarse que:

- No existe una relación entre la viscosidad y el contenido de azufre, ya que en el año 1994, en que el valor de la viscosidad anual promedio es el menor de la década, el contenido de azufre no difiere en forma apreciable del valor medio de esta,⁶ lo cual hace que, en primera instancia, la influencia de la viscosidad no sea apreciable sobre el valor del índice total.

- El valor de la viscosidad de la mezcla no tiene influencia sobre el índice total si se alcanzan en el sistema de calentamiento y preparación del combustible los parámetros requeridos, en especial la temperatura de calentamiento, lo que está en dependencia de la tecnología instalada y de la explotación del bloque e indica la necesidad de precisar el valor del índice para unidades de diferente tecnología, y desde luego, eficiencia del generador

de vapor.

- El índice total depende de la composición de la mezcla, especialmente del contenido de azufre, y de la operación del generador de vapor la cual influye marcadamente en la emisión de CO, NO_x y partículas sólidas.

- El azufre aporta el 83 % de los contaminantes atmosféricos analizados, lo que hace que este índice no difiera en forma notable para mezclas de petróleo crudo mejorado en iguales condiciones de explotación si se mantienen los valores del contenido de azufre, siendo la influencia del resto de los contaminantes sobre su valor numérico pequeña.

- Las emisiones dependen de la carga de la unidad, por lo que el índice debe variar con esta e indica la necesidad de hacer futuras determinaciones en unidades que cambien con frecuencia la carga de trabajo como ocurre con la CTE Antonio Guiteras.

Cálculo de las emisiones innecesarias de contaminantes atmosféricos

Un empresario calcularía el flujo de contaminantes emitidos innecesariamente a partir de medir o estimar los sobreconsumos de electricidad ΔNeI , ya que se dispone de la información del índice de consumo específico de combustible para la generación de electricidad del sistema electroenergético

$$b_{ce-gelect} \left(\frac{\text{gramos de combustible}}{KW - h} \right)$$

y el valor del índice de emisión obtenido *I_{eca}*¹¹ es como sigue:

$$M_{TOTAL-inn} = I_{eca} \left(\frac{\text{gramos de contaminantes emitidos}}{\text{gramos de combustible consumido}} \right) \cdot$$

$$\cdot b_{ce-gelect} \left(\frac{\text{gramos de combustible}}{KW - h} \right) \cdot \Delta Elect (KW - h)$$

...(16)

donde

$M_{TOTAL-inn}$ se expresa en gramos de contaminantes

atmosféricos emitidos, pudiendo expresarse por masa /unidad de tiempo si se calculan o estiman los sobreconsumos de energía eléctrica en un periodo de

tiempo dado.

Estimación de los daños económicos provocados por la emisión de contaminantes atmosféricos al combustionar mezclas de petróleo crudo nacional mejorado en los generadores de vapor de las centrales termoeléctricas

Entre los estimadores específicos cuantitativos, además de los índices de emisión de contaminantes anteriormente determinados, se encuentran los relativos al cálculo de los daños económicos que provocan las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Al respecto se plantean las consideraciones siguientes en referencias especializadas:

Según Babir¹² se han determinado 36 tipos de daños ambientales para el caso de la combustión de portadores energéticos de tipo orgánico. El estudio propone estimadores de costo por daños ambientales de

\$ 0,33 pesos para atenuar los daños ambientales pesos gastados en combustible insumido en la caldera

En el caso objeto de estudio, la caldera de la CTE José Martí, para un consumo de petróleo de 2,98 kg/s y un costo del petróleo de 0,10 \$/kg se puede calcular el estimador cuantitativo de gastos asociados a atenuar el efecto de daños ambientales provocados por la combustión en unidad de tiempo, en este caso asciende a 0,098 \$/segundo, por lo que para un año de trabajo con un 85 % del tiempo de trabajo anual a esta capacidad del bloque su valor ascendería a 2,64 millones de pesos.

Minnesota Public Utilities Comisión¹³ aplica estimadores de cálculo cuantitativos para estimar los gastos incurridos para atenuar daños ambientales en el caso de producir electricidad en centrales termoeléctricas en ese estado. Distingue estos gastos asociados a si se trata de zonas urbanas, metropolitanas o rurales y al volumen y tipo de sustancias emitidas. Tomando los valores intermedios entre las dos primeras zonas, de acuerdo con la ubicación de esta CTE, se propone utilizar los indicadores mostrados en la tabla 1, la cual recoge los valores estimados de los gastos en que se incurrirá para atenuar los gastos que provocan las emisiones individuales y totales de los contaminantes atmosféricos emitidos por la CTE José Martí en un año de operación de la unidad.

Las emisiones de CO₂ de los procesos industriales han reducido el coeficiente de pureza del aire atmosférico AF (airborne fraction) desde 0,80 en 1980 hasta 0,55 en 1991, donde AF= CO₂ natural/ CO₂ total y es una de las causas del efecto invernadero, lo que

pone de manifiesto la necesidad de valorar en alguna medida los daños ambientales que estas provocan en cualquier análisis que se haga de emisión de contaminantes atmosféricos, para lo cual es preciso determinar el flujo emitido, y puede efectuarse mediante una de las siguientes ecuaciones:

$$M_{CO_2} = ((\% C t / 100) \cdot B \cdot 10^3 \cdot (100 - q_4) / 100 - (12/28) \cdot M_{CO}) \cdot 3,67; [g/s]$$

$$M_{CO_2} = \% CO_2 / 100 \cdot V_{gs} \cdot B \cdot \delta_{CO_2} \cdot (100 - q_4) / 100 \cdot 10^3; [g/s]$$

Teniendo en cuenta que $C^t = 81,14 \%$, $B = 2,98 \text{ kg/s}$ y $q_4 = 0,79 \%$ se obtiene que:

$M_{CO_2} = 8726,45 \text{ g/s} = 233917,8 \text{ t/año}$ y que el CO₂ emitido es el 94,88 % del flujo másico de emisión analizada, sin embargo, en la tabla 1 puede observarse que solo provoca el 10,46 % de los daños ambientales.

Este criterio tiene como aspecto importante que tiene en cuenta la agresividad de cada uno de los contaminantes en forma individual, por lo que puede ser útil al valorar los daños ambientales que provocaría un cambio de combustible en una CTE dada.

Otro criterio para calcular el costo del deterioro medio- ambiental que provocan los sistemas energéticos es publicado en la *Revista Energía de España*¹⁴ utilizando el llamado Eco Indicador 95 aplicable desde 1995 según el Instituto de Investigaciones de Zurich en Alemania. Este costo es considerado por los especialistas como costo externo. Se exponen ejemplos de producción de electricidad en plantas con cogeneración a partir de fuel oil o de gas natural y se comparan los daños ambientales que estos dos combustibles provocan, siendo los resultados de costo del impacto ambiental para combustión de fuel oil \$0,031/kWh. Según este criterio de estimación cuantitativa, para el caso de la CTE José Martí se tendría que pagar por costos de daños ambientales la suma de 7 386 432 \$/año.

Según los tres criterios anteriormente expresados para estimar los costos por daños ambientales que provoca la generación de electricidad en centrales termoeléctricas se puede observar que existen discrepancias en los resultados obtenidos motivadas por:

- La variación continuada de los costos del petróleo y su efecto sobre los valores numéricos reportados de los índices.

- La probable variación de la composición química del petróleo insumido en los lugares donde se realizó la evaluación de su impacto económico.
- El haber sido obtenidos los estimadores para países o estados con diferente desarrollo, nivel de urbanización y densidad poblacional.
- Todos estos elementos indican las razones por las cuales se obtienen diferentes valores y la necesidad de obtener estos índices para Cuba ya que se utilizan como combustible las mezclas de petróleo crudo nacional mejorado las cuales tienen un contenido de azufre extremadamente elevado⁶ y este componente es uno de los que da origen a una de las emisiones que provocan más daños ambientales, a modo de ejemplo, si se reduce el contenido de azufre a la tercera parte, el daño económico por este concepto se reduce en igual proporción, o sea, en 772 200 \$/año y si se mejora la explotación del generador de vapor reduciéndose la emisión de partículas sólidas el efecto será considerable, por lo que no es desatinado pensar que pueda reducirse a la mitad. Debe quedar claro que el daño que provoca el CO₂ no es posible reducirlo.

Es de destacar que en estos países se lavan los gases emitidos y se emplean instalaciones con chimeneas altas, capaces de dispersar los contaminantes en forma adecuada, mientras que en el caso de la CTE en cuestión no se lavan los gases y la altura de la chimenea no permite la dispersión requerida de los gases, por lo cual se presupone que el daño medio ambiental sea superior al que se ha calculado si alguna de las bases sobre las que se obtuvieron estos indicadores fuera similar a la del entorno de esta CTE, lo cual se agrava por el hecho ya indicado del inusual

contenido de azufre para el caso de los índices propuestos por Babir y por el Instituto de Investigaciones de Zurich.

CONCLUSIONES

1. El valor medio estimado de contaminantes emitidos al combustionar mezclas de petróleo crudo durante la operación del generador de vapor de la CTE José Martí en la década 1899 a 1999 fue de 478,4 g/s atendiendo a la emisión de sustancias nocivas.

2. Se determina como un índice específico total numérico preliminar para estimar aproximadamente la emisión de contaminantes atmosféricos nocivos durante la combustión de las mezclas de petróleo crudo mejorado el valor y específico para la emisión de SO₂ el valor.

$$I_{ca-cmej} = 0,161 \frac{\text{gramos de contaminantes emitidos}}{\text{gramos de combustible insumidos}}$$

$$I_{e-SO_2} = 0,131 \frac{\text{gramos de SO}_2 \text{ emitidos}}{\text{gramos de combustible consumido}}$$

3. Aunque no es posible precisarlo, el daño económico medioambiental por efecto del uso como combustible en la CTE José Martí de las mezclas de petróleo crudo nacional mejorado es del orden de varios millones.

RECOMENDACIONES

1. Obtener los valores de f_{SO_2} para los diferentes tipos de crudos nacionales y sus mezclas y precisar, en general, la metodología utilizada para el cálculo de las emisiones de gases.

TABLA 1

Estimación del perjuicio económico que provoca la emisión de contaminantes de una central termoeléctrica que consume crudo nacional según Minnesota Public Utilities Commission

Contaminante emitido	Índice económico(\$/t)	Perjuicio económico(\$/año)
SO ₂	110	1 158 302
CO ₂	1,7	397 660
NO _x	300	2 476
Partículas sólidas	3 674	2 240 505
CO	1,5	1 583
Emisiones totales	-	3 800 526

2. Obtener los valores de los índices de emisión de gases contaminantes para los diferentes tipos de combustible empleados en el país utilizando, de ser posible, el método directo.

3. Obtener para Cuba los índices de estimación cuantitativa del perjuicio económico en que se incurre al utilizar como combustible, las mezclas de petróleo crudo nacional mejorado.

4. Utilizar los índices numéricos desarrollados por Minnesota Public Utilities Commission ya que tiene en cuenta el volumen y tipo de las sustancias emitidas y las características de la zona en que se haga la determinación del daño ambiental.

REFERENCIAS

1. Wark, K.: *Contaminación del aire. Origen y control*, Ed. Limusa, 1990.
2. Oliva Ruiz, L. y otros: *Explotación y materiales constructivos de los generadores de vapor*, Ediciones ISPJAM, Santiago de Cuba, 1988.
3. Vizcón Toledo, Roberto: "Conferencias del curso de posgrado Explotación de generadores de vapor", Universidad de Matanzas, Cuba, 2000 - 2003.
4. Cabrera Rodríguez, J. A.: "Cámara de combustión para un combustor experimental", Trabajo presentado para optar por el título de Máster en Generadores de Vapor, Universidad de Matanzas, Cuba, 1997.
5. Munequele, A. E.: "Análisis de factores de la quema del crudo mejorado en la CTE José Martí", Trabajo de Diploma, Universidad de Matanzas, 2000.
6. Landa García, Juan y Atanasio E. Munequele: "Índice para la estimación de los contaminantes atmosféricos emitidos al usar como combustible las mezclas de petróleo crudo nacional mejorado PCNm1400", XIV Forum Nacional de Ciencia y Técnica, Matanzas, Cuba, 2002.
7. *Norma de operación de las CTE que utilizan crudo nacional como combustible*, MINBAS, CTE José Martí, 1994.
8. Caimanque, Amanha: "Evaluación del generador de vapor No 3 de la CTE José Martí quemando crudo nacional", Trabajo de Diploma, Universidad de Matanzas, Cuba, 1996.
9. Landa García, Juan y Atanasio E. Munequele: "Caracterización estadística de las mezclas de petróleo crudo nacional quemados en la CTE José Martí", *Memorias del Evento Internacional ECODES 2002*, Matanzas, Cuba.
10. ———: "Índice para la estimación de los contaminantes atmosféricos emitidos al usar como combustible petróleo crudo nacional mejorado", *Memorias del V Congreso Internacional Ecología y desarrollo* (ECODES 2002); Matanzas, Cuba, 2002.

11. Landa García, Juan y Jorge L. Pelladito Williams: "Análisis de la eficiencia energética del Hotel Villa La Mar", *Memorias del V Congreso Internacional Ecología y desarrollo*, ECODES 2002, Matanzas, Cuba, 2002.

12. Barbir, T.N. et al.: "Environmental Damage Due to Fossil Fuel Use", *Internacional Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 15, No. 10, pp. 739-749; Gran Bretaña, 1990.

13. Sitio web del Sustainable Minnesota: http://www.me3.org/Home_of_Minnesotans_for_an_Energy-Efficient_Economy_USA, 1997.

14. *Revista Energía de España*, Instituto de Investigaciones de Zurich, Ed. Alción, No. 1, Alemania, 2001.

AUTORES

Juan Landa García
Ingeniero Químico, Profesor Auxiliar, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Matanzas, Cuba
e-mail:juan.landa@umcc.cu

Roberto Vizcón Toledo
Ingeniero Mecánico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Estudio de Combustión y Energía (CECYEN), Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Matanzas, Cuba
e-mail:roberto.vizcon@umcc.cu



La solicitud de información, notificación de participación, así como el envío de resúmenes, etcétera, se puede hacer directamente a la Secretaría de la XII CCIA o utilizando los correos electrónicos que aparecen asociados a los eventos.

Presidente del Comité Organizador: Dr. Gustavo Cobreiro Suárez.

Vicepresidenta primera: Dra. Haydée LLanusa Ruiz

Información y Comunicación

Dr. Gil Cruz Lemus
Secretario Ejecutivo
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, CUJAE, Marianao, Ciudad de La Habana, Cuba, Apartado Postal 19390
Telef: 2600335, 2608454
Fax: 267-29-64.
E-mail: gil@tesla.cujae.edu.cu
ccia12@tesla.cujae.edu.cu