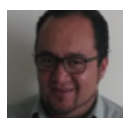
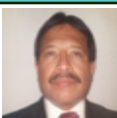


Composición elemental de mezclas Biodiésel-diésel y análisis de sus emisiones de combustión

Elementary composition of mixtures Biodiesel-diesel and analysis of its emissions of combustion



Carvajal Chávez, Ghem
Magíster en Gerencia y Auditoría Ambiental, UCE
Docente Ingeniería Química Universidad Central del Ecuador
gcarbajal@uce.edu.ec



Medina Romo, Sergio
Magíster en Ingeniería Industrial, MBA en Gerencia Empresarial Docente Ingeniería Química Universidad Central del Ecuador.



Viteri Moya, Jorge
Doctor en Ciencias Técnicas. Docente Ingeniería Química Universidad Central del Ecuador
jrviteri@uce.edu.ec



Salazar Reyes, Ricardo
Ingeniero Químico, Universidad Central del Ecuador. Investigador.
rfsalazarr@uce.edu.ec

smedina@uce.edu.ec

Resumen

El mejorar la calidad de los combustibles es decisivo para controlar los riesgos medioambientales. La presente investigación tiene por objeto identificar mezclas diésel y biodiésel que generen la menor cantidad de gases de combustión nocivos al ambiente, partiendo del análisis de su composición elemental.

Para dicho propósito se determinó la composición elemental de las diferentes muestras de diésel, tres diferentes tipos de biodiésel y sus respectivas mezclas en diferentes proporciones, por medio de equipo especializado fundamentado en la cuantificación de los productos de combustión de la muestra. El análisis estadístico se realizó mediante gráficas de efectos y ANOVA. Con cálculos estequiométricos y estadísticos se realizó una estimación de las tasas de emisión de dióxido de carbono y dióxido de azufre. Resultando el biodiésel B el más estable en su comportamiento en cada mezcla. Además, se obtuvo que las emisiones de CO₂ no varían significativamente entre cada mezcla, pero si varían notablemente en las emisiones de SO₂. Finalmente, se realizó el análisis de las emisiones de la combustión de las mezclas, de las cuales la mejor fue la de biodiésel B al 80%, la cual presentó la menor cantidad de emisiones de SO₂ en comparación con las demás mezclas.

Se concluye que existe una fuerte influencia de la composición porcentual de biodiésel en las emisiones de CO₂ y SO₂ y que el mejor biodiésel para las mezclas fue el biodiésel B con emisiones de SO₂ más bajas

Palabras clave: diésel; biodiésel; composición elemental; combustión; emisiones gaseosas; medio ambiente

Abstract

To improve the quality of fuels is crucial to control environmental risks. The present research aims to determine diesel and biodiesel mixtures that generate the least amount of combustion gases harmful to the environment, from its elemental composition analysis. For this purpose the determination of elemental composition of the different diesel samples, three different types of biodiesel and their respective diesel mixtures was determined by means values of specialized equipment based on the sample flue gases quantification, Statistical analysis was performed using effect graphs and ANOVA.

Applying stoichiometric and statistical calculations were developed a carbon dioxide and sulfur dioxide estimate emissions rates. The biodiesel B sample results as the most stable behavior for each mixture. Also the CO2 emissions obtained do not vary significantly between each mixture, but the SO2 emissions vary substantially. At last the combustion emissions mixtures analysis was carried out, of which the biodiesel B at 80% sample was the best one, it represents the lowest amount of SO2 emissions compared to the other mixtures.

It concludes that there is an important influence of the percentage composition of biodiesel in the CO2 and SO2 emissions and the best mixture biodiesel was biodiesel B with lower SO2 emissions.

Keywords: diesel; biodiesel; elemental composition; combustion; gaseous emissions; environment

Introducción

En la actualidad, la dependencia de los combustibles fósiles representa un gran problema, debido a la contaminación y a la limitada cantidad de este recurso. Esto hace que la búsqueda de opciones para la producción de energía limpia sea una prioridad mundial.

En el mundo se estudia los posibles combustibles líquidos alternativos derivados de la biomasa, este tema en particular no es un tema nuevo. Aunque, durante la última década, el etanol y el biodiesel se convirtieron en el biocombustibles líquidos más conocidos y numerosos estudios examinan diferentes estructuras físicas y químicas como sea posible para biocombustibles y registrar así sus pros y contras [1,2].

La combustión del diésel de petróleo produce gases de afectación medioambiental, dichas emisiones son regulados por la legislación nacional e internacional, estipulando cantidades máximas permitidas de emisión, estas cantidades dependen de la fuente de combustión. Una de las opciones para la disminución de la cantidad de emisiones es la utilización de mezclas con biodiesel.

Muchos países han tomado acciones para promover la producción y uso de biodiesel, en años recientes, la producción de biodiesel se ha incrementado aceleradamente. Para 2011, la producción mundial fue de 403,73 mil barriles diarios, de acuerdo con la U.S. Energy Information Administration. En el 2014 la producción anual de biodiesel fue de 29,7 mil millones de litros, con Estados Unidos, Brasil y Alemania siendo los líderes [3]. En Ecuador, la empresa La Fabril exportó 16,6 millones de biodiesel desde el año 2005. [4]

De acuerdo con la norma ecuatoriana INEN 2482:2009, se define al biodiesel como una mezcla de ésteres mono alquílicos de ácidos grasos, de cadenas media y larga, derivados de aceites vegetales o grasas animales [10].

El biodiesel es una fuente de energía limpia muy importante. Algunas de las ventajas de este combustible son su fácil transporte debido a su alto punto de inflamación, de alrededor de 130 °C, frente al del diésel, de aproximadamente 60 °C. El contenido de oxígeno es del 10 al 11% más, lo que ayuda a la combustión, presenta mejores propiedades lubricantes generando menos partículas de desgaste. Posee un bajo contenido de aromáticos y azufre, alta eficiencia de combustión y un número de cetano mayor que el diésel. Además, es biodegradable y no tóxico [5].

La combustión del biodiesel produce menor cantidad de gases nocivos para la salud, en comparación con los derivados del petróleo. La técnica más utilizada para su producción es la transesterificación, reacción que puede llevarse a cabo con distintos tipos de catalizadores y condiciones de operación variadas. [6] Las emisiones de CO, hidrocarburos no combustionados, óxidos de azufre, material particulado, policíclicos aromáticos y nitrogenados, son significativamente menores. [7].

El biodiesel tiene un contenido despreciable de azufre, por lo cual las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) son prácticamente nulas. Además, las emisiones de los contaminantes principales son netamente más bajas; reducciones de hasta 90 por ciento en los hidrocarburos no quemados, de 40 por ciento en el monóxido de carbono (CO) y de 30 a 50 por ciento en el material particulado han sido reportadas en la literatura [8].

Si bien existen varios trabajos sobre la producción de biodiesel mediante diferentes procesos, la información referente a su composición elemental es escasa. La información de la composición elemental puede utilizarse para estimar el poder calórico del biodiesel aplicando ecuaciones establecidas en la bibliografía y que expresan dicho parámetro en función de características físico-químicas del combustible. [9]

El conocimiento de composición elemental (C, H, O, N, S) es imprescindible en la mayoría de cálculos relacionados con la combustión.



El presente estudio pretende determinar mezclas diésel y biodiésel que generen menor cantidad de gases de combustión a partir de la composición elemental de cada mezcla, de tal forma que puedan identificarse condiciones en las cuales se minimice el impacto ambiental.

Para ello, se desea determinar la composición elemental de diferentes muestras de diésel y biodiésel. Se preparará diferentes mezclas, las cuales se llevarán a un análisis de composición elemental a través de un equipo especializado. Utilizando esta información se va a realizar el cálculo teórico de las tasas de emisión esperadas de los gases de combustión, finalmente se va a comparar los resultados estequiométricos con los cálculos estadísticos. Esto permitirá obtener las mejores proporciones de mezcla, con las cuales se minimice el impacto ambiental ocasionado por las emisiones.

El análisis de un sistema (orientado a un sistema químico) forma una de las características fundamentales de las disciplinas científicas modernas. [11]

Metodología

Estudio cuantitativo

En el estudio cuantitativo se determina la composición elemental (C, H, O, N, S) sobre muestras de diésel común y biodiésel obtenidas de diferentes fuentes, así como de sus mezclas en diferentes proporciones; luego de lo cual se realiza un análisis teórico cuantitativo de los productos esperados en los gases de combustión, para con ello obtener condiciones de mezcla y exceso de aire que minimicen el impacto ambiental ocasionado por dichas emisiones. Para el análisis elemental, se utilizó el siguiente equipo:

Tabla 1. Especificaciones del equipo.

Tipo:	Análisis Elemental
Marca:	VARIO MACRO CUBE
Modelo:	ELEMENTAR
Fundamento:	Combustión de la muestra
Temperatura de reducción:	1150 °C
Temperatura de combustión:	750 °C
H ₂ y O ₂ :	Grado 5
Presión H ₂ y O ₂ :	40 psi
Temperatura TCD:	60 °C

Fuente: Manual del equipo

Análisis Estadístico

La determinación de la influencia de los factores experimentales en las variables de respuesta se realiza mediante gráficas de efectos y análisis de varianzas (ANOVA), con el objeto de determinar posteriormente las mejores condiciones de mezcla, que minimicen el impacto ambiental.

Sujeto y Tamaño de la Muestra

Se utiliza el diésel comercial, expendido en una sola estación de servicio, este diésel es normado por la legislación ecuatoriana.

El biodiésel para las mezclas proviene de tres diferentes orígenes, uno de ellos es de aceite de piñón, el siguiente proviene de aceite de palma y el tercero proviene de grasa de animal.

Se realiza mezclas de combustibles al 0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100% en volumen de biodiésel. Por tanto, se definen 6 puntos experimentales por cada tipo de biodiésel, para un total de 18 de puntos experimentales.

El número de réplicas de cada punto experimental será igual a 3.

Definición y medición de variables

FACTORES EXPERIMENTALES:

Tipo de diésel normal, 1 nivel.

Tipo de biodiésel, 3 niveles.

Composición de la mezcla, 6 niveles.

VARIABLES DE RESPUESTA:

Composición CO₂ en los gases de combustión.

Composición SO₂ en los gases de combustión.

Procedimientos

Obtención de las muestras de diésel y biodiésel.

El biodiésel se obtuvo a través de diferentes entidades y empresas dedicadas a la producción de biodiésel:

Biodiésel A proviene de aceite de piñón

Biodiésel B proviene de aceite de palma

Biodiésel C proviene de grasa de animal

El diésel comercial fue adquirido de una distribuidora (estatal) de combustibles, en la ciudad de Quito.

Determinación experimental de la composición de las muestras de diésel, biodiésel y mezclas.

Preparación de las muestras y blancos

Se coloca tungsteno en seis láminas, como aditivo para facilitar la combustión.

Se dispone aproximadamente 10 mg de sulfanilamida conjuntamente con el tungsteno, el cual sirve de blanco o estándar para la calibración del equipo y posterior análisis de las muestras.

Se realiza mezclas con distintas proporciones (20, 40, 60,80) % de diésel y biodiésel.

Se procede a colocar minuciosamente las muestras en los botines (porta muestras), procurando que el peso para cada una de las réplicas no varíe en $\pm 0.01\text{mg}$, para evitar resultados ambiguos.

Se sitúa el rodel en posición inicial. Se ingresa los datos referentes a pesos y especificaciones de las muestras en el software del equipo

Análisis de las muestras.

Se dispone en cada compartimento del rodel los blancos y las muestras de acuerdo con el orden de los datos ingresados en el software, Se da inicio al análisis mediante el sistema automático del equipo, esto con el fin de colocar más muestras para su posterior análisis.

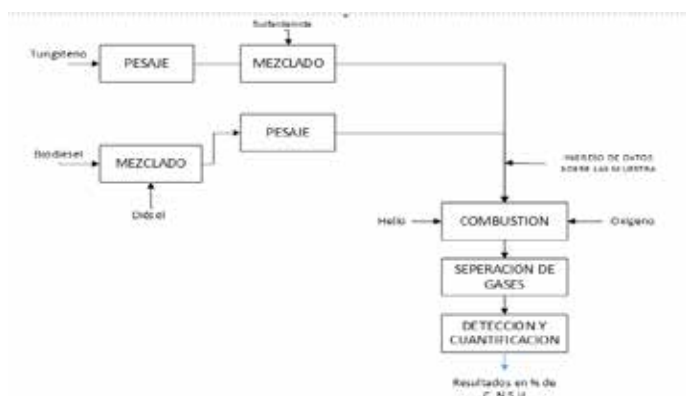


Figura 1. Diagrama de proceso.

Resultados

Composición elemental

La composición elemental porcentual de carbono (C), hidrogeno (H), azufre (S) y nitrógeno (N) del biodiésel, diésel y de las mezclas se presenta en las siguientes figuras: figura 2, figura 3, figura 4, figura 5 respectivamente. Donde el porcentaje de mezcla es la cantidad de biodiesel adicionado al diésel comercial.

Cantidad de carbono.

La cantidad de carbono se presenta en forma porcentual y en forma gráfica.

Tabla 2. Porcentaje de carbono para cada mezcla.

Carbono			
Porcentaje de mezcla	Biodiesel A	Biodiesel B	Biodiesel C
0%	81,208	81,208	81,208
20%	81,735	77,256	72,265
40%	76,678	75,464	75,777
60%	69,718	73,390	62,799
80%	65,486	73,080	73,408
100%	70,864	73,405	71,430

La figura 2 presenta los resultados del porcentaje de carbono en función de la composición volumétrica de cada muestra.

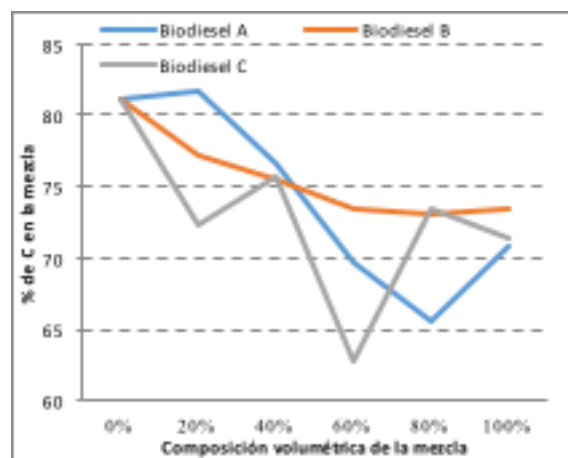


Figura 2. Porcentajes de carbono.

Cantidad de hidrógeno.

La cantidad de hidrógeno se presenta en forma porcentual y en forma gráfica.

Tabla 3. Porcentaje de hidrógeno para cada mezcla.

Hidrógeno			
Porcentaje de mezcla	Biodiesel A	Biodiesel B	Biodiesel C
0%	13,118	13,118	13,118
20%	13,538	12,556	11,943
40%	12,918	12,454	12,597
60%	12,211	12,184	10,503
80%	10,973	12,310	12,292
100%	12,198	12,406	12,369

La composición de hidrógeno de las mezclas se presenta en la figura 3. Donde el porcentaje de carbono está en función de la composición volumétrica de cada muestra.

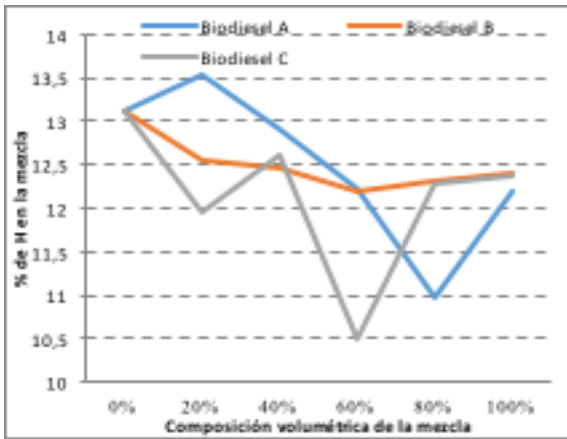


Figura 3. Porcentajes de hidrógeno.

Cantidad de azufre.

La cantidad de azufre se presenta en forma porcentual y en forma gráfica.

Tabla 4. Porcentaje de azufre para cada mezcla.

Azufre			
Porcentaje de mezcla	Biodiesel A	Biodiesel B	Biodiesel C
0%	0,184	0,184	0,184
20%	0,137	0,102	0,129
40%	0,070	0,080	0,133
60%	0,065	0,048	0,101
80%	0,170	0,044	0,208
100%	0,150	0,056	0,182

La composición de azufre de las mezclas se presenta en la figura 4 donde la composición de azufre esta función de la composición volumétrica de cada muestra.

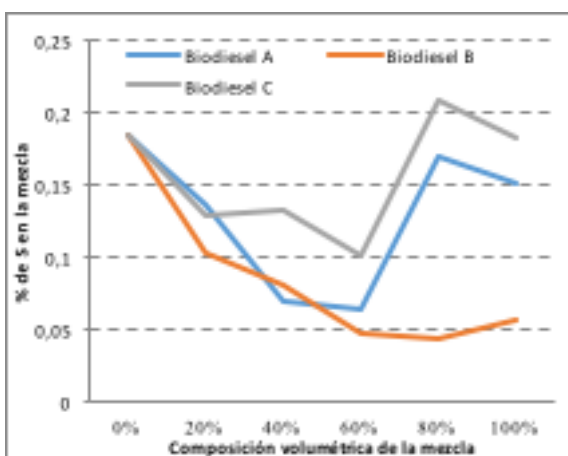


Figura 4. Porcentajes de azufre.

Cantidad de nitrógeno

La cantidad de azufre se presenta en forma porcentual y en forma gráfica.

Porcentaje de nitrógeno para cada mezcla.

Nitrógeno			
Porcentaje de mezcla	Biodiesel A	Biodiesel B	Biodiesel C
0%	0,062	0,062	0,062
20%	0,062	0,052	0,056
40%	0,031	0,035	0,060
60%	0,023	0,034	0,084
80%	0,078	0,035	0,102
100%	0,028	0,023	0,054

La composición de nitrógeno de las mezclas se presenta en la figura 5 donde la composición del nitrógeno esta función de la composición volumétrica de cada muestra.

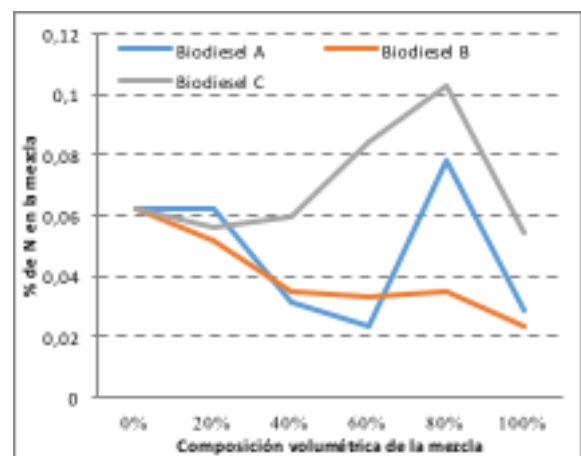


Figura 5. Porcentajes de nitrógeno

La tabla 6 muestra la probabilidad de las variaciones con un análisis ANOVA.

Tabla 6. ANOVA de cada elemento.

Origen de las variaciones	C	H	S	N
	valor-p	valor-p	valor-p	valor-p
A: % en volumen de biodiesel en la muestra	5,39E-09	1,48E-05	0,005	0,081
B: tipo de biodiesel	0,048	0,096	0,003	0,008
Interacción AB	0,003	0,001	0,381	0,425

Resultado de emisiones estequiométricas.

Se analizan los productos estequiométricos esperados en un proceso de combustión (sin exceso de aire) como punto de partida para establecer el comportamiento real de los combustibles en un equipo de combustión. Así se tiene en primer lugar las emisiones de CO₂.

Tabla 7. Resultados de cálculos estequiométricos para emisiones de CO₂.

%v de CO ₂			
Mezcla	Biodiesel A	Biodiesel B	Biodiesel C
0%	15,39	15,39	15,39
20%	15,25	15,58	15,83
40%	15,44	15,62	15,55
60%	15,25	15,74	16,60
80%	16,25	15,66	15,64
100%	15,68	15,63	15,61

Tabla 8. Resultados de cálculos estequiométricos para emisiones de SO₂.

ppm de SO ₂			
Mezcla	Biodiesel A	Biodiesel B	Biodiesel C
0%	130,7	130,7	130,7
20%	95,4	77,1	106,5
40%	52,9	61,8	102,0
60%	95,4	39,7	101,7
80%	158,0	35,8	166,5
100%	124,1	44,6	150,2

Análisis estadístico de las emisiones teóricas esperadas en un equipo de combustión.

Se analiza la estequiometría de la combustión como un modelo para predecir el comportamiento real de las emisiones gaseosas en un equipo que de generación eléctrica, en el cual el exceso de aire es de 350%. Así se tiene en primer lugar las emisiones de CO₂:

Tabla 9. Emisiones reales de CO₂.

CO ₂			
	Biodiesel A	Biodiesel B	Biodiesel C
0%	3,24	3,24	3,24
20%	3,21	3,29	3,35
40%	3,25	3,30	3,28
60%	3,31	3,33	3,54
80%	3,45	3,31	3,30
100%	3,31	3,30	3,29

La figura 6 muestra de manera gráfica el porcentaje de CO₂ en función de la composición volumétrica de las mezclas.

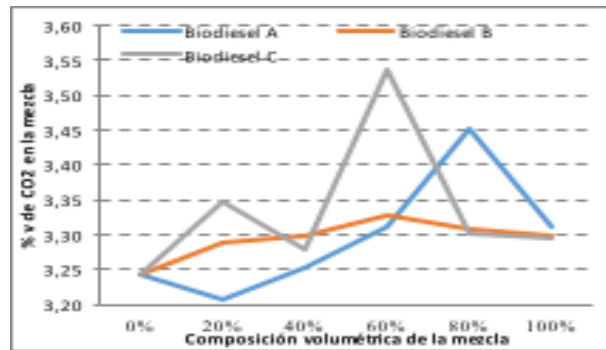


Figura 6. Emisiones de CO₂.

El equipo de análisis elemental entregó las emisiones de SO₂, presentados en la tabla 10 y en la figura 7.

Tabla 10. Emisiones reales de SO₂

ppm de SO ₂			
Mezcla	Biodiesel A	Biodiesel B	Biodiesel C
0%	27,53	27,53	27,53
20%	20,07	16,27	22,55
40%	11,17	13,04	21,53
60%	11,53	8,39	21,69
80%	33,56	7,57	35,17
100%	26,21	9,42	31,72

Las emisiones de SO₂ se presentan de manera gráfica en figura 7.

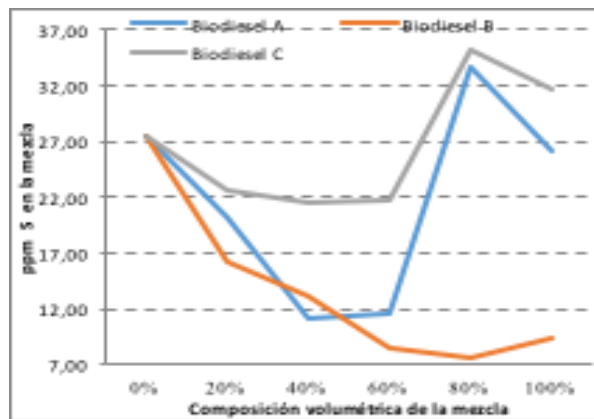


Figura 7. Emisiones de SO₂.

La tabla 11 muestra la probabilidad de las variaciones en las emisiones de los gases de combustión

Tabla 11. ANOVA para las emisiones de CO₂ y SO₂

Origen de las variaciones	CO ₂	SO ₂
	valor-p	valor-p
A: % en volumen de biodiesel en la muestra	0,000	0,020
B: tipo de biodiesel	0,119	0,001
Interacción AB	0,002	0,208



Discusión

La composición elemental del carbono y del hidrógeno para las 3 muestras y sus diferentes mezclas tienden a bajar su cantidad de carbón e hidrógeno a medida que aumenta el porcentaje de biodiésel adicionado al diésel comercial.

En cuanto a la composición elemental del azufre y del nitrógeno, si bien presentan una tendencia a disminuir a medida que aumenta el porcentaje de biodiésel adicionado al diésel comercial; se evidencia que existen puntos donde la cantidad de azufre se eleva, superando el punto inicial de su composición. El nitrógeno llega al punto más alto acercándose al valor inicial de la muestra. Las interacciones moleculares influyen en este tipo de comportamientos aleatorios o comportamientos no estables.

En comparación con lo publicado por Nabi (2017) en *Journal of Cleaner Production*, se evidencia igual resultado con el biodiesel A con respecto a las emisiones de dióxido de carbono, las mezclas en ciertas concentraciones de biodiesel- diésel reduce dichas las emisiones de CO₂. Con respecto a Agudelo (2003) no se logró obtener de manera análoga la reducción de las emisiones en la misma proporción con respecto a la concentración de biodiesel.

Para un nivel de significancia del 5%, se consideran estadísticamente significativos aquellos resultados cuyo valor-p (Análisis ANOVA) sea menor que 0,05.

La probabilidad de que la composición de biodiesel en la muestra no influya en el porcentaje de carbono, hidrogeno, azufre y nitrógeno es menor al 0,01 %, siendo esta hipótesis rechazada, reportando los datos obtenidos como altamente significativos.

La influencia del tipo de biodiesel es de menor magnitud para los porcentajes de carbono e hidrógeno. En contraste, los valores-p (menores a 0,01%) para N y S, indican alta significancia como para rechazar la no influencia de dicho factor.

Según Bayindir (2017) en general las emisiones de productos nocivos para el ambiente se reducen y según Kalligeros (2003) y Liu (2017) la sustitución de biodiesel o la mezcla de estos no influye significativamente en la combustión ni en la eficiencia de los motores, con esto se evidencia que la composición elemental es otro método de cálculo y predicción de emisiones gaseosas.

Existe una fuerte influencia de la composición porcentual de biodiesel en las emisiones de CO₂, ya que al obtener valores por muy debajo del 0,01% estos

datos son altamente significativos, como para que se vean afectados por la aleatoriedad, en contraste con el SO₂, cuyo valor -p es alto como para considerar una notable afectación por este factor.

Conclusiones

Las mezclas diésel-biodiesel en porcentaje menor al 60% de biodiesel disminuyen las emisiones de CO₂ y SO₂. El diésel comercial posee mayor cantidad de elementos C, H, N y S con respecto al biodiésel de las tres diferentes muestras.

La influencia de la composición porcentual de biodiésel en las muestras para el carbono, hidrógeno, azufre y nitrógeno no es estadísticamente significativa al nivel de significancia elegido, para los elementos señalados.

Cada mezcla de diésel-biodiésel presenta características específicas con respecto a su composición elemental, teniendo una tendencia a la baja, pero con puntos dispersos muy notables, denotando picos altos y bajos según la composición de cada mezcla.

El análisis estequiométrico presenta el respaldo de las leyes fundamentales de la termodinámica. Se esperaría que los valores calculados sean menores que los valores reales. La influencia de cada mezcla viene dada por las características individuales de cada mezcla.

La mezcla de 80% de biodiésel es la mejor opción al presenta las emisiones más bajas esperadas con respecto a las otras muestras de biodiésel.

Agradecimientos

Expresamos nuestros agradecimientos al laboratorio Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación (DPEC) y los siguientes estudiantes de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador: Sebastián Alejandro Pintado Palacios y Javier Alejandro Chancusi Ramos.

Referencias

- [2] Bailey B, Eberhardt J, Goguen S, Erwin J. Diethyl ether (DEE) as a renewable diesel fuel. SAE Paper No. 972978, SAE, Warrendale, PA, 1997
- [1] Pecci, G.C, Clerici M.G, Giavazzi F, Ancillotti F, Marchionna, M, Patrini R. "Oxygenated diesel fuels, structure and properties correlation". Proceedings of the Ninth International Symposium on Alcohol Fuels (ISAF), Firenze, 1991. p.321– 6.



SEG STUDENT CHAPTER – UCE FIGEMPA

Es una organización académica sin fines de lucro de la Society of Economic Geologists SEG internacional, creada para el fortalecimiento académico de los estudiantes afines a la industria geológica-minera.

Este capítulo creado en 2017 cuenta con 18 miembros de las carreras de Ingeniería en Geología e Ingeniería en Minas. El liderazgo del capítulo está a cargo de Marcelo Llerena (Academic Sponsor) y William Arteaga (Industry Sponsor) que llevan con gran responsabilidad la dirección de la organización.

ACTIVIDADES 2017

- Reuniones regulares, en las cuales se discute y socializan los planes del capítulo estudiantil como próximos proyectos y conferencias.
- Field trips: se realizaron dos viajes al campo, con participación de estudiantes de la SEG UNMSM - Perú, SEG UNAL - Colombia y SEG UCE - Ecuador. En ellos se visitaron proyectos emblemáticos en Ecuador: Fruta del Norte, Mirador, El Domo, Loma Larga y en Colombia: Gramalote, Nuevo Chaquiro, El Roble y Buritica.
- Conferencias: "Últimos avances en el Proyecto Cascabel – Nuevo proyecto de clase mundial", con la participación de Jason Thomas Ward Gerente General de SoldGold. Además de la asistencia a diversas conferencias del ámbito geológico minero.
- I Workshop: "Exploración de sistemas de pórfidos de cobre y sistemas epitermales con enfoque en alteraciones y tipos de texturas", con la participación, exposición y revisión de testigos de perforaciones de los proyectos Fruta del Norte (Lunding) y Cascabel (SolGold), con la asistencia de los equipos de exploración (nacionales y extranjeros) de: Newcrest Mining, Lumina – ODIN, Fortescue Metals Group, INIGEM, Universidad de Loja, SEG Politécnica, estudiantes de FIGEMPA, etc.



- [3] REN 21. Renewables 2015 global status report, Paris; 2015.44p
- [4] Líderes, "La Fabril Llena más tanques con biodiesel", Revista Líderes (en línea), disponible en http://revistalideres.ec/economia/Fabril-Llena-tanques-biodiesel-Santo-Domingo-Tsachila_0_876512363.html
- [5] Benjumea, P. Agudelo, J. "Biodiésel: Producción calidad y caracterización". Colombia – Antioquia: Universidad de Antioquia. p. 233 – 235.
- [6] G. Adriana. "Biodiesel production using enzymatic transesterification – Current state and perspectives, Renewable energy", (en línea), Volumen 39, Número 1, marzo 2012, Disponible en <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/Biodiesel-production-using-enzymatic->
- [7] Feddern, V, "Animal Fat Wastes for Biodiesel Production, Biodiesel – Feedstocks and Processing Technologies", (en línea), Dr. Margarita Stoycheva (Ed.), 2011. Disponible en <https://www.intechopen/books/biodiesel-feedstocks-and-processing-technologies/animal-fat-wastes-for-biodiesel-production>, ISBN 978-953-307-713-0. Pg. 46.
- [8] Sharp, C, "Performance of diesel engines using biodiesel, Southwest Research Institute", San Antonio, Texas, 1998.
- [9] Marquez y MONTESINO, F, "Estudio del Potencial Energético de Biomasa Pinus caribaea Morelet var. Caribaea (Pc) Y Pinus tropicalis Morelet (Pt); Eucalyptus saligna Smith (Es), Eucalyptus citriodora Hook (Ec) y Eucalyptus pellita F. Muell (Ep); de la Provincia de Pinar del Río", Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales, (en línea), disponible en https://scholar.google.es/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=Gv9CyWcAAAAJ&citation_for_view=Gv9CyWcAAAAJ:fFSKOagxvKUC
- [10] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. Biodiesel. Requisitos. NTE INEN 2482:2009, Quito, INEN, 2013. p.1.
- [11] Viteri, J. R, "Gestión de la producción con un enfoque sistémico", Quito-Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial.\