

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH ARTICLE

<http://dx.doi.org/10.14482/inde.38.1.621.4>

Disminución de la opacidad en las emisiones de gases contaminantes en motores de encendido por compresión mediante el uso de biodiésel B5 y B10 a base de algas (*chlorella*)

Reduction of opacity in pollutant gas emissions in compression ignition engines by using biodiesel B5 and B10 based on algae

ROMMEL PAÚL IMBAQUINGO NAVARRETE *

ANDRÉS FELIPE CEVALLOS GONZÁLEZ **

CARLOS NOLASCO MAFLA YÉPEZ ***

*Universidad Técnica del Norte. Docente investigador. Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Magíster en Diseño Mecánico mención en Fabricación de Autopartes. Docente investigador en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra (Ecuador). Grupo de Investigación de Motores de Combustión Interna con Biocombustibles (Bicer). rpimbaquingo@utn.edu.ec

**Universidad Técnica del Norte. Docente investigador. Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Magíster en Ingeniería Automotriz. Docente investigador en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra (Ecuador). Grupo de Investigación de Motores de Combustión Interna con Biocombustibles (Bicer). afcevallos@utn.edu.ec

*** Universidad Técnica del Norte. Docente investigador, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Magíster en Energías Renovables. Docente investigador en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra (Ecuador). Grupo de Investigación de Motores de Combustión Interna con Biocombustibles (Bicer). cnmafla@utn.edu.ec

Correspondencia: Rommel Paúl Imbaquingo Navarrete. Dirección: Av. 17 de julio y Gral. José María Córdova. Teléfono: +593983514647.



Resumen

La constante búsqueda de fuentes de energías alternativas y la necesidad de disminuir el impacto ambiental de la industria automotriz son razones sustanciales para la incursión en el desarrollo de combustibles que permitan satisfacer los requerimientos de vehículos con motores de combustión interna con encendido por compresión, de manera que se disminuyan los efectos negativos en el medio ambiente. Bajo esta premisa, el presente proyecto se basa en reducir los niveles de contaminación de los gases de escape mediante el uso de mezclas de biocombustibles y diésel. Para este efecto, se utiliza como materia prima plantas de algas (*chlorella*) recicladas de fuentes de tercera generación. Se evalúan los efectos producidos en los índices de opacidad y en el coeficiente de absorción de luz en un motor Mitsubishi Canter, con lo que se obtiene una disminución del 20,6 % con B5 y del 32,12 % con B10, resultados prometedores para futuras investigaciones en el campo amplio de las energías alternativas.

Palabras clave: algas, biocombustibles, coeficiente de absorción de luz, opacidad.

Abstract

The constant search for alternative energy sources and the need to reduce the environmental impact of the automotive industry are substantial reasons for the incursion in the development of fuels that satisfy the requirements of vehicles with internal combustion engines with compression ignition, reducing negative effects to the environment. Under this scope, the present project is focused on reducing the levels of pollution of the exhaust gases through the use of mixtures of biofuels and diesel. For this purpose, algae plants (*chlorella*) recycled from third generation sources are used as raw material. The effects produced in the opacity indices and in the light absorption coefficient in a Mitsubishi Canter engine are evaluated, obtaining a reduction of 20,6% with B5 and 32,12% with B10, promising results for future research in the broad field of alternative energies.

Keywords: algae, biofuels, light absorption coefficient, opacity.

1. INTRODUCCIÓN

Las investigaciones relacionadas con el control de emisiones de vehículos modernos han sido temas de alto interés en los últimos años, pues el nivel de contaminantes emitidos al ambiente por parte del parque automotor se ha constituido en un problema serio y de alto impacto en el planeta [1].

En cada ciclo de combustión de los motores diésel se emite una cantidad significativa de residuos que ocasionan efectos negativos en la salud de las personas, así como en el medio ambiente. Estos factores causan enfermedades relacionadas con el sistema respiratorio y cáncer, entre otros, además de considerarse uno de los principales artífices del calentamiento global [2], [3].

La industria automotriz ha buscado soluciones implementadas en los vehículos modernos que permitan disminuir el nivel de emisiones de contaminantes al ambiente. En Europa, desde 1993, se han creado normas que permiten regular dichas emisiones denominadas “Normas Euro”, de las cuales la “Euro 6” es la más reciente [4], [5].

Los gases de escape de vehículos diésel están constituidos, principalmente, por nitrógeno y una alta concentración de dióxido de carbono (CO_2). Las partículas de hollín constituyen una pequeña fracción de las emisiones [6], pero debido a su tamaño nanométrico se adhieren a las partículas de oxígeno en el aire constituyéndose en un contaminante de importancia [7], [8].

La presente investigación analiza el efecto que produce el uso de biodiésel generado a partir de microalgas en el nivel de emisiones de partículas de hollín. Mediante este estudio se plantea mejorar la eficiencia del proceso de combustión del diésel en la cámara de combustión, lo que produce ciclos de trabajo más limpios y, en consecuencia, menores emisiones de hollín al medio ambiente [9]- [11].

Para la elaboración de biodiésel se pueden emplear varias fuentes de primera, segunda y tercera generación [12], mas son las de tercera generación la opción más viable y de menor impacto. En este proyecto se plantea la idea de usar aceite de algas para la elaboración de biocombustible, el cual será sometido a un proceso de transesterificación a fin de obtener el producto final requerido [13]. Los biocombustibles derivados de las algas tienen un menor impacto ambiental en comparación con aquellos producidos a partir de cultivos y, además, no forman parte de la industria alimenticia [14]. Entre las principales ventajas de la producción y el uso de biocombustibles a partir de algas tenemos: una alta captación de CO_2 [15], crece en las aguas residuales que utilizan zonas no aptas para la agricultura, los cultivos pueden ser inducidos a producir una alta concentración de materia prima, se puede cosechar sin el uso de fertilizantes y pesticidas que producen coproductos de valor añadido, y representa la única fuente de combustibles renovables con capacidad para satisfacer las demandas globales de energía para el transporte [15].

Es importante señalar que el método para determinar las cantidades máximas de hollín emitidas al ambiente se denomina “medición de opacidad” [17]. En función de estos datos, se podrá emitir un criterio sobre la eficacia del uso de biocombustibles en la reducción de niveles de emisión de hollín.

Las investigaciones referentes al uso de biodiésel en vehículos se remontan a la creación del motor diésel como tal. En 1893, Rudolph Diesel propuso la idea de emplear aceites vegetales como combustibles alternativos para sus motores [18]; sin embargo, fue hasta 1970 que la emergente crisis energética y el elevado precio del petróleo obligó a los fabricantes de automóviles a considerar el uso de combustibles alternativos [19].

En la actualidad, con el fin de reducir el impacto ambiental generado por el creciente uso de vehículos, se propone el empleo de biodiésel para reducir el porcentaje de gases contaminantes en el medio ambiente [20], [21]. Existen varias investigaciones referentes al uso de biodiésel en vehículos convencionales, entre las que se destaca, principalmente, el uso de grasas animales y aceites de plantas para su elaboración. En un estudio realizado en la Universidad Abant Izzet Baysal de Turquía se emplea grasa de pavo para la realización de biodiésel. En ese artículo se resalta la reducción de emisión de partículas de hollín debido a la mejora en la combustión con concentraciones del 10 %, el 20 % y el 50 % de biodiésel [22].

Otra investigación de alta relevancia en el sector de estudio es la realizada en el Instituto de Tecnología de Coimbatore (India), donde se presenta la propuesta de generación de biodiésel a partir de fuentes de tercera generación tales como microalgas, aceites de desecho, grasas animales o aceite de pescado [12]. En ese estudio se resalta la reducción entre el 23 % y el 50 % del porcentaje de partículas de hollín emitidas al ambiente en motores de inyección directa diésel, debido a las propiedades fisicoquímicas del biocombustible que mejoran notablemente la combustión en la cámara de compresión [12].

Por tanto, el presente trabajo de investigación se centra en aportar opciones viables de generación de biodiésel a partir de materias primas no destinadas a la alimentación, con la finalidad de mejorar la eficiencia en la combustión y reducir los niveles de emisiones de partículas de hollín al medioambiente.

2. METODOLOGÍA

La investigación se basa en un estudio cuantitativo experimental, en el cual se obtuvieron valores de porcentajes de opacidad de cada prueba al tener en cuenta el tipo de combustible y el régimen de giro del motor, además del análisis comparativo de resultados en consideración a los valores límites de opacidad para motores diésel de acuerdo con normas nacionales e internacionales.

La medición de las partículas de hollín en los gases de escape se realizó a 2200 metros sobre el nivel del mar (msnm), presión atmosférica de 79 kPa y temperatura ambiente promedio de 22 °C. Para esta medición se utilizó un banco de pruebas de motores diésel marca Mitsubishi modelo Canter 4D31, con una cilindrada de 3298 centímetros cúbicos (cc) de cuatro cilindros con sistema de inyección en línea.

Se utilizaron mezclas de biodiésel a base de aceite de algas con concentraciones de B5 (5 % de biodiésel y 95 % de diésel) y B10 (10 % de biodiésel y 90 % de diésel) y diésel comercial. El estudio realizado con los tres combustibles mencionados permite obtener resultados de opacidad que serán posteriormente comparados y analizados, además de hacer referencia a las normativas de opacidad ecuatoriana, mexicana y colombiana.

Es importante señalar que a fin de obtener resultados veraces de la medición de opacidad con los diferentes combustibles es necesario purgar el combustible existente en el sistema de alimentación, y evitar así mezclas internas no deseadas.

Las mediciones se analizan de forma porcentual; de esta manera se determina el índice de opacidad de cada uno de los combustibles. El Instituto Ecuatoriano de Normalización, en la norma técnica NTE INEN 2 202:2.000, manifiesta que el límite máximo de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor diésel en función de su año de fabricación es, a partir del año 2000 en adelante, del 50 % de opacidad, y los modelos anteriores al 2000 del 60 % de opacidad [23].

Las normas mexicanas de emisiones de gases de escape determinan que los límites máximos permisibles de opacidad en los vehículos automotores con un peso bruto mayor a 400 kilogramos y hasta 3857 kilogramos que usan diésel es del 57,86 % en modelos anteriores al 2003, y en vehículos posteriores al 2004 del 47,53 % [24].

Las normas colombianas de emisiones de gases de escape establecen que para vehículos con motores de encendido por compresión diésel, los límites permitidos son del 60 % en modelos anteriores al 2008 y del 50 % de opacidad en posteriores al 2008 [25].

A fin de realizar las mediciones de opacidad se utilizó el opacímetro OPA 100 marca Brain Bee. Este instrumento se caracteriza por medir el porcentaje de luz que atraviesan los gases de escape y de esta manera obtener el índice de opacidad.

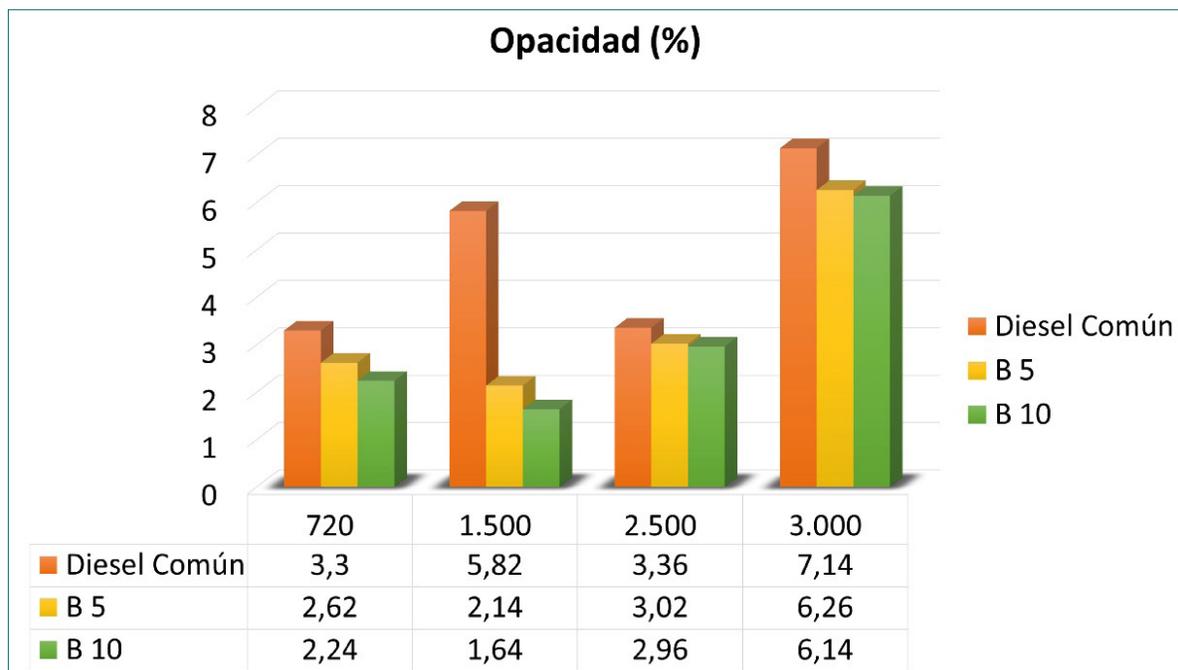
Se debe tener en cuenta la temperatura óptima de funcionamiento del motor (80 °C) para una correcta medición de opacidad, pues el opacímetro exige esta comprobación antes de realizar las pruebas. De igual manera, se necesita conocer el régimen de giro del motor medido a través de un captador magnético incluido en el opacímetro.

Una vez se establecen las condiciones iniciales, se procede a realizar la prueba de estanqueidad, la cual consiste en comprobar que no existan fugas de gases en la sonda del equipo. Posteriormente, se realiza la autocalibración del valor cero en relación

con los gases en el ambiente al momento de la prueba. Cumpliendo estos parámetros, se procede a insertar la sonda del opacímetro en la salida de gases de escape para realizar las mediciones de opacidad. Para las mediciones se establecieron cuatro diferentes regímenes de giro del motor considerados como: ralentí (720 RPM), carga parcial (1500 RPM), carga media (2500 RPM) y plena carga (3000 RPM). Se realizaron cinco pruebas por cada régimen y con cada tipo de combustible (B5, B10 y diésel).

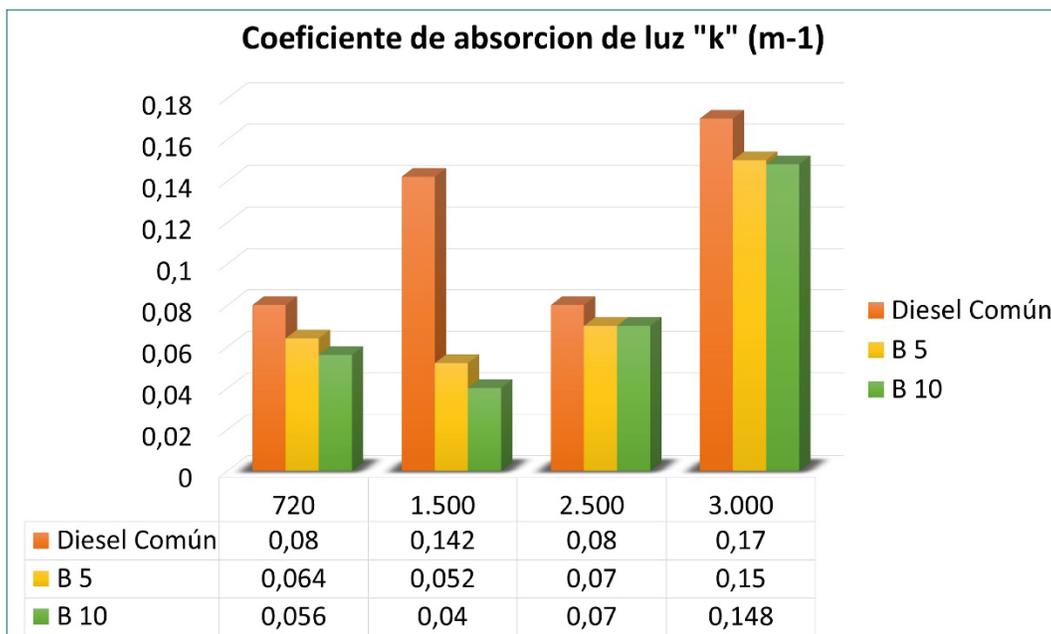
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de resultados se han considerado los promedios del coeficiente de absorción de luz [m^{-1}] y del porcentaje de opacidad que tienen los gases de escape del motor con diésel premium (mezcla B10 y mezcla B5). De acuerdo con los promedios de los regímenes de giro del motor por cada combustible, presentados en la figura 1, se evidencian resultados que arrojan una disminución significativa del porcentaje de opacidad con las diferentes mezclas de biocombustible comparado con el diésel premium. De la misma forma, se muestra una disminución considerable del coeficiente de absorción de luz al utilizar biocombustible en diferentes relaciones, tal como se indica en la figura 2.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 1. PORCENTAJE DE OPACIDAD POR RPM CON CADA COMBUSTIBLE



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 2. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE LUZ POR RPM CON CADA COMBUSTIBLE

Análisis de opacidad y coeficiente de absorción de luz en ralentí (720 rpm)

Con el régimen de giro de 720 rpm se observa que la opacidad disminuye desde 3,3 % con diésel premium regular, hasta un 2,24 % con la mezcla B10. Con mezcla B5 existe una reducción del 2,62 %.

Estos valores indican que se tiene un porcentaje de reducción promedio del 20,6 % con el uso de mezcla B5, y una reducción promedio de 32,12 % con el uso de mezcla B10. Asimismo, se puede observar que los coeficientes de absorción de luz que presentan un valor de 0,08 [m⁻¹] con diésel común disminuyen hasta 0,064 [m⁻¹] con mezcla B5 y a 0,056 [m⁻¹] con mezcla B10. Es importante considerar que este valor indica la cantidad de luz que absorben los gases de escape, lo cual manifiesta que mientras más luz absorba, mayor opacidad y contaminación existirá.

El uso de biocombustible en el diésel común ha representado una reducción promedio del 20 % con mezcla B5 y del 30 % con mezcla B10.

Análisis de opacidad y coeficiente de absorción de luz a 1500 rpm

De igual manera que a ralentí, los resultados arrojan valores satisfactorios, pues muestran que con el uso de biocombustibles se reduce la opacidad de un 5,82 % con

diésel común a un 2,14 % con mezcla B5, y a 1,64 % con mezcla B10. Esto significa una reducción promedio del 63,2 % con mezcla B5 y del 71,8 % con mezcla B10.

Los valores del coeficiente de absorción de luz también disminuyen considerablemente en valores de 63,4 % y 71,8 % con B5 y B10, respectivamente.

Análisis de opacidad y coeficiente de absorción de luz a 2500 rpm

En valores de regímenes de giro más altos se obtiene la misma tendencia de reducción de opacidad y coeficiente de absorción de luz. Para el caso de la opacidad, se reduce en un 10,1 % y 11,9 % en mezclas B5 y B10, mientras que en el coeficiente de absorción de luz se reduce el 12,5 % en ambos casos.

Análisis de opacidad y coeficiente de absorción de luz a 3000 rpm

En cuanto a la opacidad de los gases contaminantes, para 3000 rpm los porcentajes de disminución son del 12,3 % en B5 y de 14 % en B10. El coeficiente de absorción de luz, de igual manera, se vio reducido con mezcla B5 en un 11,8 % y un 12,9 % con mezcla B10.

Todos los datos expresados se pueden observar en la tabla 1 y en la tabla 2.

TABLA 1. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN OPACIDAD A DIFERENTES RPM

RPM	Prom. diésel	Prom. B5	% Reducción	Prom. B10	% Reducción
720	3,3	2,62	-20,6%	2,24	-32,1%
1500	5,82	2,14	-63,2%	1,64	-71,8%
2500	3,36	3,02	-10,1%	2,96	-11,9%
3000	7,14	6,26	-12,3%	6,14	-14,0%

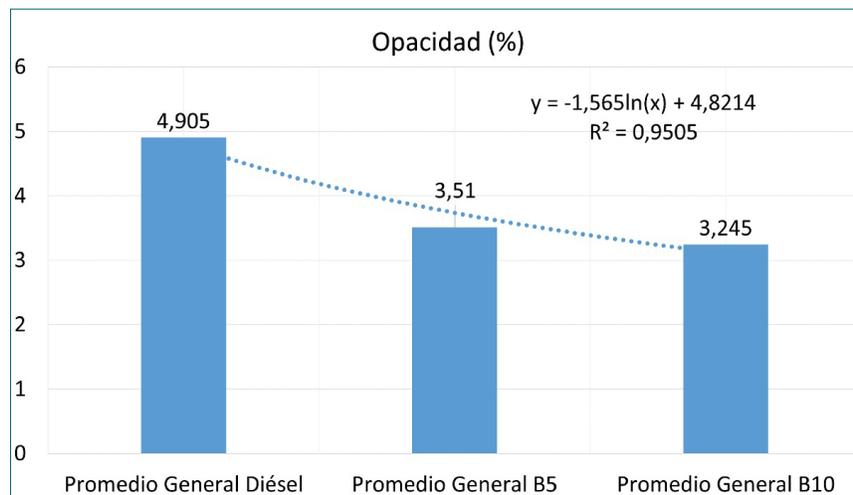
Fuente: elaboración propia.

TABLA 2. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE ABSORCIÓN DE LUZ

RPM	Prom. diésel	Prom. B5	% Reducción	Prom. B10	% Reducción
720	0,08	0,064	-20,0%	0,056	-30,0%
1500	0,142	0,052	-63,4%	0,04	-71,8%
2500	0,08	0,07	-12,5%	0,07	-12,5%
3000	0,17	0,15	-11,8%	0,148	-12,9%

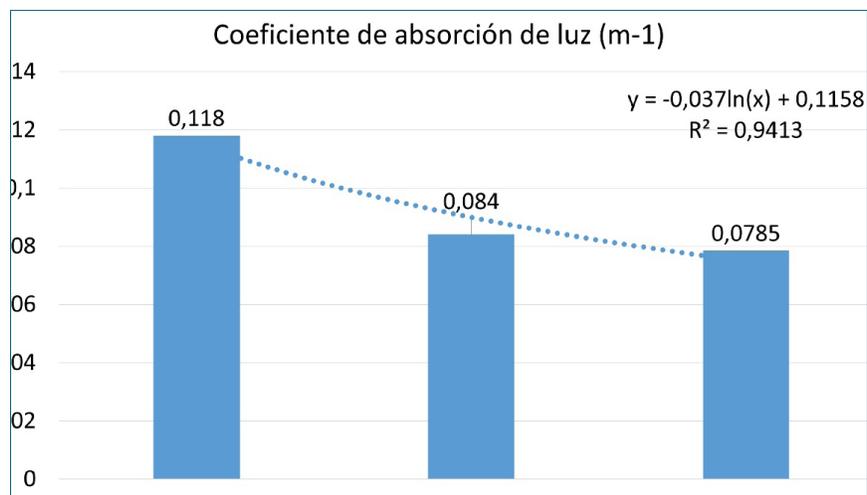
Fuente: elaboración propia.

La tendencia permite considerar que mientras se aumente la cantidad de biocombustible en el diésel regular, los porcentajes de opacidad de las emisiones de gases disminuirán. De igual manera, se evidencia el mismo comportamiento para los resultados del coeficiente de absorción de luz. Este análisis se puede observar en la figura 3 y la figura 4, en las que se expresa la ecuación del modelo matemático que predice los resultados con diferentes mezclas de biocombustible y diésel.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 3. LÍNEA DE TENDENCIA DEL COMPORTAMIENTO DEL PROMEDIO DE OPACIDAD POR CADA COMBUSTIBLE



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 4. LÍNEA DE TENDENCIA DEL COMPORTAMIENTO DEL PROMEDIO DE COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE LUZ POR CADA COMBUSTIBLE

4. CONCLUSIONES

El uso de biocombustibles a diferentes mezclas reduce de manera significativa los índices de opacidad y coeficiente de absorción de luz en motores de combustión interna con encendido por compresión, lo que conlleva a una reducción en los niveles de contaminación del medio ambiente.

Así, mientras mayor sea la concentración de biocombustible en el diésel común, se prevé una mayor reducción del porcentaje de opacidad y del coeficiente de absorción de luz en los gases de escape. Sin embargo, se deberían considerar los efectos adversos que podría provocar una alta relación de biodiésel en los componentes mecánicos del motor.

Las algas (*chlorella*) son un tipo de vegetación abundante en las zonas marítimas del planeta que, debido a su naturaleza, es idóneo para la fabricación de biocombustibles. Este tipo de planta, al no ser de consumo humano ni industrial, se considera una materia prima de tercera generación cuya producción no tendrá repercusiones en el ser humano.

El uso de biocombustibles garantiza que las emisiones de gases de los motores de combustión interna con encendido por compresión cumplan las normativas más exigentes de cada uno de los países, y se asegure así la calidad del aire y la disminución del impacto ambiental de este tipo de vehículos.

REFERENCIAS

- [1] D. Magueta, M. Madaleno, M. Ferreira, & M. Meireles, «New cars and emissions: effects of policies, macroeconomic impacts and cities characteristics in Portugal», *Journal of Cleaner Production*, vol. 181, pp. 178-191, 2017. Doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.243
- [2] M. Kacem, A. Zaghdoudi, A. Morales-Rubio, & M. De la Guardia, «Preliminary results on the influence of car characteristics on their gases emissions using gas sensors», *Microchemical Journal*, vol. 139, pp. 69-73, 2018. Doi: 10.1016/j.microc.2018.02.022
- [3] L. Morawska, Z. Ristovski, E. Jayaratne, D. Keogh, & X. Ling, «Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions: characteristics, ambient processing and implications on human exposure», *Atmospheric Environment*, vol. 42, pp. 8113-8138, 2008. Doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.07.050
- [4] Fundación Vida Sostenible, «Historia de las tecnologías de reducción de emisiones contaminantes en vehículos», *Vidasostenible.org*, enero, 2015. Disponible en: <http://www.vidasostenible.org/informes/historia-de-las-tecnologias-de-reduccion-de-emisiones-contaminantes-en-vehiculos/>

- [5] G. Triantafyllopoulos, D. Katsaounis, D. Karamitros, L. Ntziachristos, & Z. Samaras, «Experimental assessment of the potential to decrease diesel NO_x emissions beyond minimum requirements for Euro 6 Real Drive Emissions (RDE) compliance», *Science of the Total Environment*, vol. 618, pp. 1400-1407, 2017. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.274
- [6] D. Limón, *Seguridad y salud en el trabajo*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2013.
- [7] G. Ban-Weiss, M. Lunden, T. Kirchstetter, & R. Harley, «Size-resolved particle number and volume emission factors for on-road gasoline and diesel motor vehicles», *Aerosol Science*, vol. 41, n.o 1, pp. 5-12, 2010. Doi: 10.1016/j.jaerosci.2009.08.001
- [8] J. Eilperin, «Black carbon ranks as second-biggest human cause of global warming», *Washingtonpost.com*, enero 15, 2013. Disponible en: https://www.washingtonpost.com/national/health-science/black-carbon-ranks-as-second-biggest-human-cause-of-global-warming/2013/01/15/6d4e542a-5f2d-11e2-9940-6fc488f3fecd_story.html
- [9] N. Nabi, A. Zare, F. Hossain, Z. Ristovski, & R. Brown, «Reductions in diesel emissions including PM and PN emissions with dieselbiodiesel blends», *Journal of Cleaner Production*, vol. 166, pp. 860-868, 2017. Doi: 10.1016/j.jclepro.2017.08.096
- [10] G. Szabados, & Á. Bereczky, «Experimental investigation of physicochemical properties of diesel, biodiesel and TBK-biodiesel fuels and combustion and emission analysis in CI internal combustion engine», *Renewable Energy*, vol. 121, pp. 568-578, 2018. Doi: 10.1016/j.renene.2018.01.048
- [11] P. Tan, Z. Hu, & D. Lou, «Transient particle number emissions from diesel engines with biodiesel fuel», *2013 International Conference on Material for Renewable Energy and Environment*, 2013, pp. 240-243. Doi: 10.1109/ICMREE.2013.6893657
- [12] R. Sakthivel, K. Ramesh, R. Purnachandran, & P. Mohamed Shameer, «A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, n.o 3, pp. 2970-2992, 2018. Doi: 10.1016/j.rser.2017.10.037
- [13] S. Khan, R. Siddique, W. Sajjad, G. Nabi, K. M. Hayat, P. Duan, & L. Yao, «Biodiesel production from algae to overcome the energy crisis», *Hayati Journal of Biosciences*, vol. 24, n.o 4, pp. 163-167, 2017. Doi: 10.1016/j.hjb.2017.10.003
- [14] L. Gouveia, «Microalgae as a feedstock for biofuels springer briefs in microbiology», *SpringerBriefs in Microbiology*, vol. 38, n.o 3, pp. 1-69, 2011. Doi: 10.1007/978-3-642-17997-6
- [15] H. Bilanovic, «Microalgal CO₂ sequestering-modeling microalgae production costs», *Energy Convers Manag*, vol. 58, n.o 9, pp. 104-109, 2012. Doi: 10.1016/j.enconman.2012.01.007

- [16] M. Borowitzka, & N. Moheimani, *Algae for biofuels and energy*. Países Bajos: Springer, 2013.
- [17] O. Armas, A. Gómez, E. Barrientos, & A. Boehman, «Estimation of opacity tendency of ethanol and Biodiesel-diesel blends by means of the smoke point technique», *Energy & Fuels*, vol. 25, pp. 3283-3288, 2011. Doi: 10.1021/ef2005817
- [18] E. Shay, «Diesel fuel from vegetable oils: status and opportunities», *Biomass and Bioenergy*, vol. 4, n.o 4, pp. 227-242, 1993. Doi: 10.1016/0961-9534(93)90080-N
- [19] A. Collymore, R. Arencibia, A. Blanco, & J. Araújo, «Producción científica mundial sobre biodiesel», *ACIMED*, vol. 18, n.o 5, pp. 1-19, 2008. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/aci/v18n5/aci041108.pdf>
- [20] M. Aldhaidhawi, R. Chiriac, & V. Badescu, «Effect of rapeseed biodiesel B20 on combustion characteristics and emissions of DI diesel engine,” *The 10th International Symposium On Advanced Topics In Electrical Engineering*, Bucharest, 2017. Doi: 10.1109/ATEE.2017.7905086
- [21] S. Awad, K. Loubar, & M. Tazerout, «Experimental investigation on the combustion, performance and pollutant emissions of biodiesel from animal fat residues on a direct injection diesel engine», *Energy*, vol. 69, pp. 826-836, 2014. Doi: 10.1016/j.energy.2014.03.078
- [22] O. Emiroğlu, A. Keskin, & M. Sen, «Experimental investigation of the effects of turkey rendering fat biodiesel on combustion, performance and exhaust emissions of a diesel engine», *Fuel*, vol. 216, pp. 266-273, 2018. Doi: 10.1016/j.fuel.2017.12.026
- [23] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN-2 202:2000», Quito. 2000.
- [24] C. Ochoa, «Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-167-SEMARNAT-2016», Ciudad de México, 2016.
- [25] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, «Norma Técnica Colombiana Ntc 4231», Bogotá, 2012.