

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DIESEL CUANDO USA BIODIESEL Y DIESEL COMO COMBUSTIBLE

**Idalberto Herrera Moya¹; Iosvani López Díaz¹; Pedro Julio Villegas Aguilar¹;
Bernardo Bucki Wasserman²; Eugenio Bonnet³**

¹Centro de Estudio de Energías y Tecnologías Ambientales (CEETA), Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, 54830, CUBA, Teléfono: 53 42 281194 – Fax: 53 42 281608

E-mail: idalbertohm@uclv.edu.cu; iosvanild@uclv.edu.cu; pjva00@yahoo.com; pjva00@gmail.com

²Grupo de Estudios sobre Energía (GESE), Unidad Académica Confluencia. UTN. Plaza Huincul, 8318, Neuquén, ARGENTINA. Teléfono: 54 299 496 3292 - Email: ingbucki@speedy.com.ar

³Centro de Desarrollo de la Energía Solar (CEDESOL). Juan José Silva1246 – 3600. Formosa, ARGENTINA. Teléfono: 54 – 03717 – 425 378. Email: cedesolarg@yahoo.com.ar

RESUMEN

El desarrollo del mundo moderno después de la revolución industrial se ha basado en la explotación de combustibles fósiles. Estos de relativamente fácil obtención, bajo costo de producción y fácil transporte, desplazaron a otras fuentes de energía como la madera, el carbón vegetal y la fuerza animal. Hoy, la posible extinción a mediano plazo de estas reservas fósiles, unido a la mayor incidencia de una conciencia ambientalista y la realidad concreta del deterioro medioambiental han modificado la situación precedente, reactivando la búsqueda de combustibles alternativos. Dentro de los combustibles alternativos que cobran importancia por su valor ecológico se encuentran los biocombustibles como el bioetanol, biometanol y el biodiesel. En este trabajo se estudia de manera experimental el comportamiento de un motor diesel que emplea como combustible biodiesel obtenido a partir de aceite de girasol sin usar y sin refinar y etanol 97 como materias primas fundamentales y factibles de obtener en Cuba. Con este propósito se realizó el ensayo de característica exterior de velocidad y se midieron las emisiones de gases contaminantes como el SO₂ y NO_x bajo diferentes estados de carga, encontrándose que la caída máxima de potencia efectiva no excede el 9,7% y sin embargo la reducción en las emisiones de SO₂ y NO_x son de 100% y entre el 48 y 51% respectivamente.

Palabras Claves: Combustible alternativo, biodiesel, potencia efectiva, reducción de emisiones de gases contaminantes.

1. INTRODUCCIÓN

La idea de utilizar productos vegetales en el corazón mismo del motor no es ninguna novedad, sólo con citar la experiencia del creador del motor de encendido por compresión, o motor diesel, el propio Rudolf Diesel, quien utilizó aceite de maní para impulsar una de sus creaciones en la exposición de París de 1900, nos indica, que los orígenes del uso de combustibles no fósiles se remontan a más de un centenar de años atrás. Durante estos cien años, y fundamentalmente, en la segunda mitad del siglo veinte, se sucedieron un sin fin de investigaciones y experiencias, las que llevaron como estandarte la frase “el aceite de cocina será el combustible del futuro”, a la cual se le ha otorgado un significativo impulso en estos últimos años.

La sustitución de los combustibles derivados del petróleo, por otros, de origen vegetal, cobra una gran importancia en nuestros días por varias razones, a) el hecho de provenir de una fuente renovable, b) ser un instrumento en lucha contra el deterioro ambiental, además de un factor de desarrollo de la agricultura e industrias derivadas. En el caso particular de Cuba, las limitadas reservas de combustibles convencionales imponen la búsqueda de alternativas energéticas viables a corto y mediano plazo para obtener la energía necesaria a partir de fuentes renovables. En este sentido debe prestarse especial interés al biodiesel, combustible renovable de origen vegetal derivado de los aceites vegetales, obtenidos de semillas, plantas, o algas oleaginosas, y que puede reemplazar al gasoil fósil en los motores de combustión interna sin ninguna modificación pues sus propiedades son similares a las del combustible diesel derivado del petróleo, además puede ser empleado en mezclas con gasoil convencional de cualquier proporción. Este combustible de posible aplicación a cualquier sector, puede ser muy factible sobre todo para el sector agrícola, por la posibilidad de autoabastecerse del insumo fundamental para su obtención, el aceite, y de combinar varias fases de su producción en este caso la fase de obtención de la semilla, extracción del aceite y elaboración del biocombustible lo cual reducen en gran medida los costos.

2. CARACTERÍSTICAS DEL BIODIESEL EMPLEADO COMO COMBUSTIBLE

El biodiesel es un combustible obtenido a partir de materias de base renovables, como los aceites vegetales, que se puede usar en los motores diesel. Típicamente se produce a través de una reacción de trans-esterificación cuando un aceite vegetal o grasa animal reacciona con un alcohol (Metanol o Etanol) en presencia de un catalizador (NaOH o KOH), obteniendo biodiesel y Glicerol. Durante la transesterificación el catalizador y el alcohol se mezclan para crear un compuesto químico polar muy fuerte que rompe los triglicéridos en glicerina (glicerol) y cadenas de éster que se combinan con el alcohol (biodiesel).

En este caso las materias primas empleadas para la obtención del biodiesel fueron:

Aceite de girasol sin usar y sin refinar, extraído de las semillas por compresión en una máquina de tornillo sin fin. Para eliminar las impurezas y sólidos en suspensión del aceite se hizo pasar por un tamiz y se dejó decantar durante 24 horas, al cabo de este tiempo se puede extraer el aceite limpio de la parte superior del recipiente (Figura 1).

Etanol 97, en la mayoría de la literatura consultada se emplea metanol o etanol absoluto, ambas sustancias resultan por cuestiones económicas prohibitivas en el caso de Cuba, por tal motivo se decidió el empleo de etanol 97 que a pesar de ser poco recomendado por el contenido de agua algunos reportes apuntan que puede lograrse la reacción de trans-esterificación con etanol de hasta 96%.

Hidróxido de Potasio, este catalizador resulta ser el más recomendado por la literatura cuando se emplea etanol, para iniciar y acelerar la trans-esterificación.



Figura 1. Aceite en decantación.

Los ensayos de caracterización del biodiesel obtenido se efectuaron en el Laboratorio de Combustibles y Lubricantes de la División Centro de los Ferrocarriles de Cuba, en el cual habitualmente se realizan este tipo de ensayos. Los resultados que se detallan en la Tabla 1.

Propiedades	Resultados
Viscosidad 40°C	12,1 cSt
Punto de inflamación CA	190 °C
Punto de inflamación CC	134 °C
Agua y sedimentos	Ausencia
Corrosión Lam Cobre	1b
Impureza Mecánica	Ausencia
Densidad	0,9057g/cm ³
Índice de viscosidad	229
Agua por destilación	Ausencia

Tabla 1. Resultados de los ensayos realizados al biodiesel.

La viscosidad cinemática biodiesel resultó ser de 12,1 cSt a 40°C, encontrándose por encima de los valores permisibles entre los 1.9 y 6.0 cSt exigidos por la normativa ASTM, cabe señalar que la viscosidad del aceite de girasol es de 35 cSt, la que se logró reducir en gran medida aunque no todo lo deseado. También resulto estar por encima de la norma el valor del punto de inflamación en aproximadamente un 40%. El resto de las variables analizadas se encuentran en el rango especificado por la norma para el biodiesel.

3. ENSAYO DE CARACTERÍSTICA EXTERIOR DE VELOCIDAD EMPLEANDO DIESEL Y BODIESEL

El banco de pruebas donde se realizaron los ensayos consiste en un motor de fabricación cubana, MOTOCUBA, de cuatro tiempos, con inyección por precámara, dicho motor se encuentra acoplado a un dinamómetro de copa que es el encargado de transmitirle carga. Las características técnicas del motor y el dinamómetro pueden verse en la Tabla 2.

Marca del motor	Moto Cuba
Cilindrada	860 cc
Diámetro del cilindro	100 mm
Carrera del cilindro	110 mm
Potencia máxima	8 Kw.
Dinamómetro	Dinamómetro de copa
Brazo	0.65 m
Fluido de trabajo	Aceite para motor o transmisiones
Fluido de enfriamiento	Agua

Tabla 2. Características del motor y el dinamómetro.

3.1. Algunos comentarios sobre el ángulo de avance de la inyección

Al emplear biodiesel como combustible en la primera etapa del experimento se verifico un incremento en la temperatura del motor por encima de los valores normales de trabajo llegando hasta los 98°C, esto se atribuye al tiempo de retardo de la combustión que se

incrementa respecto al diesel bajo las mismas condiciones, debido a que este combustible tiene un punto de inflamación mayor, para contrarrestar esto se adelantó la inyección desde 10° hasta 19°, a partir de este adelanto en el ángulo de inyección las temperaturas alcanzaron valores normales que oscilaron entre 50°C y 70°C.

Las condiciones atmosféricas en las que se realizó el experimento fueron las siguientes:

- ❖ Presión atmosférica: 1.016 bar,
- ❖ Temperatura del bulbo seco: 29.5°C,
- ❖ Temperatura del bulbo húmedo: 25.8°C,
- ❖ Humedad relativa: 74%

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3 y los gráficos 1 y 2.

No	Velocidad de rotación (rpm)	Consumo de combustible (g)	Torque (N-m)	Potencia efectiva (kW)	Consumo horario (kg/h)	Consumo específico (g/kW-h)
1	684	60	48.43	3.47	1.8	519
2	781	60	48.88	4.00	1.8	450
3	885	75	49.66	4.60	2.25	489
4	957	85	49.14	4.92	2.55	518
5	1097	100	49.79	5.72	3	525
6	1211	105	49.73	6.31	3.15	500
7	1236	115	48.10	6.23	3.45	554
8	1360	135	47.78	6.80	4.05	595
9	1371	125	48.62	6.98	3.75	537
10	1450	130	48.30	7.33	3.9	532
1	780	60	46.80	3.82	1.8	471
2	850	80	46.93	4.18	2.4	575
3	1004	95	46.48	4.89	2.85	583
4	1222	120	46.48	5.95	3.6	605
5	1444	145	43.55	6.58	4.35	661
6	1530	150	43.55	6.98	4.5	645

Tabla 3. Resultado de las mediciones en el banco de pruebas empleando combustible diesel y biodiesel.

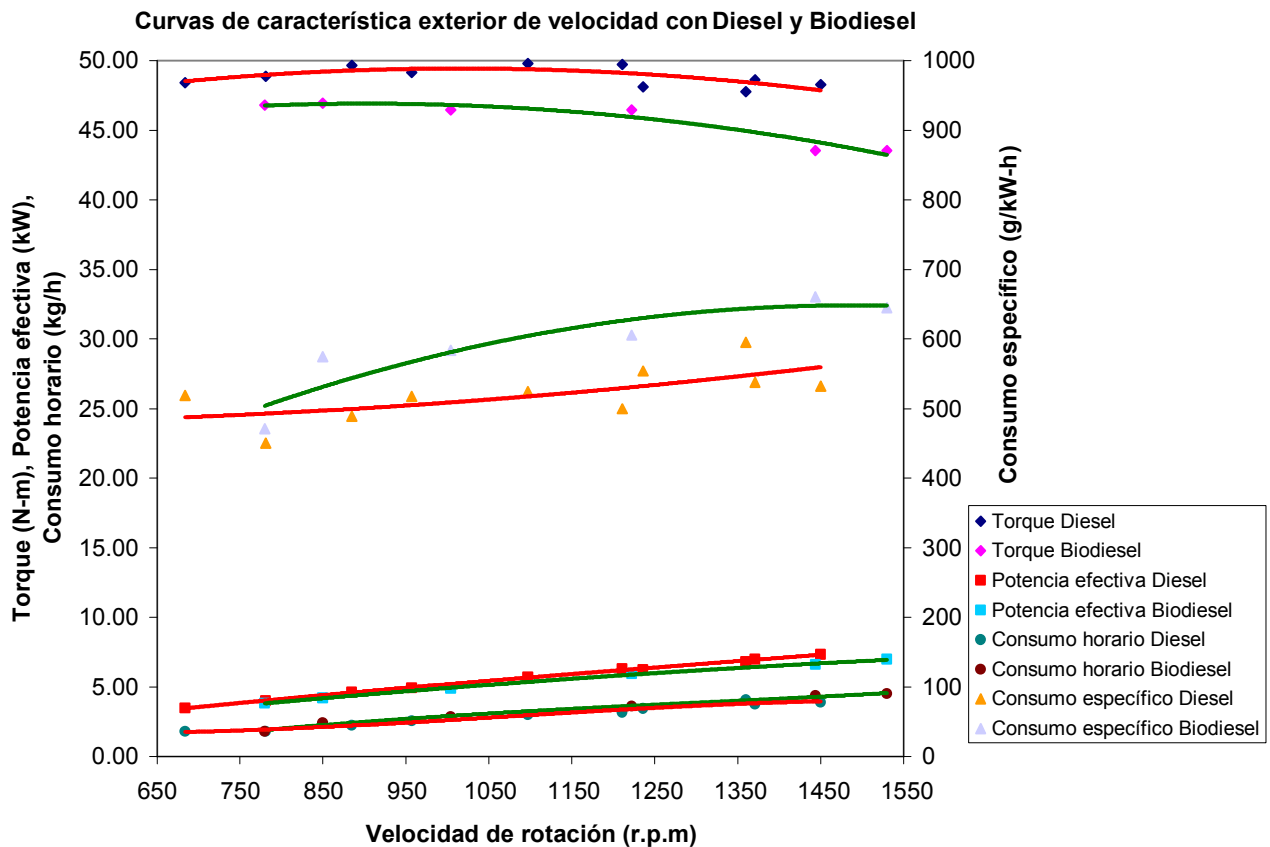


Gráfico 1.

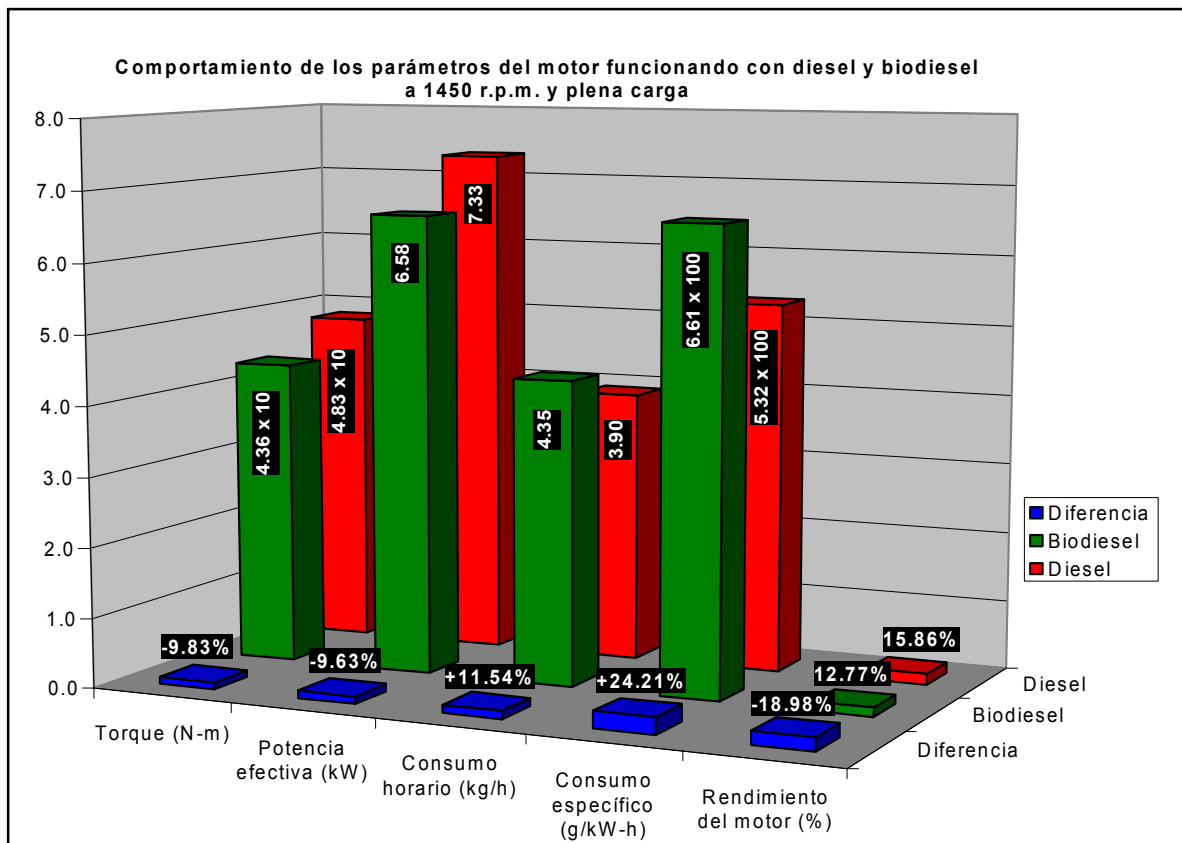


Gráfico 2.

El par curvas de la parte superior del gráfico 1 corresponden a los valores de torque, donde se aprecian diferencias que van desde el 4% al 10%, las menores diferencias se dan a las velocidades de rotación más bajas y aumentan con el incremento de las revoluciones del motor. En la zona media del gráfico se muestran las curvas de consumo específico de combustible apreciándose que para bajas revoluciones estas curvas llegan casi a superponerse entre sí, obteniéndose consumos similares por unidad de potencia, mientras que para la zona media de velocidad de rotación (1200 rpm) las diferencias son más acentuadas, incrementándose proporcionalmente a la velocidad de rotación del motor. El tercer par de curvas ya en la parte inferior del gráfico, corresponden a las curvas de potencia, en estas se observan pendientes y características similares de comportamiento, notándose que la del diesel se encuentra ligeramente por encima de la del biodiesel, donde para los valores de 1450 rpm se encuentra el punto de donde difieren en su mayor valor, aproximadamente el 10%.

El último par curvas situadas en la parte inferior del gráfico muestran el comportamiento de los consumos horarios, estas curvas tienen una tendencia ascendente a medida que aumentan las revoluciones del motor, y puede notarse que en el caso del biodiesel el consumo horario es superior que al emplear el diesel en aproximadamente un 11%.

En el gráfico 2 se muestra el comportamiento de los parámetros del motor al funcionar con diesel y biodiesel a una velocidad de rotación de 1450 rpm, punto donde llegan a ser máximas las diferencias.

El primer par de barras de izquierda a derecha son las que representan el torque, que al emplear biodiesel es un 9,83% menor, le siguen las barras de potencia efectiva, esta es menor en un 9,63% cuando se usa biodiesel. El tercer par de barras indica el consumo horario, donde se aprecia que en el caso del biodiesel este es un 11,94% mayor que el diesel. En el cuarto par de barras, correspondientes al consumo específico puede verse que en el caso del biodiesel este es un 24,21% mayor que al emplear diesel. Las últimas barras son las del rendimiento del motor, que empleando biodiesel es menor en un 18,98% que empleando diesel.

4. EMISIONES DE LOS GASES DE ESCAPE EN LA PRUEBA DE CARACTERÍSTICA EXTERIOR DE VELOCIDAD

La medición de las emisiones de gases se realizó para tres puntos, similares para ambos combustibles a fin de conseguir una referencia para la comparación entre ellos. Los detalles de esta medición se muestran en la tabla 4. Asimismo en el gráfico 3 y 4 se muestra el comportamiento de las emisiones de gases, prestando especial interés a las emisiones de NO_x y de SO₂ para tres velocidades de giro del motor diferentes (880 rpm, 1050 rpm y 1230 rpm).

El primer componente de los gases de escape, a analizar, es el SO₂ que como se puede apreciar para el caso del diesel a 880 rpm se encuentra en una concentración de 415 ppm, a 1050 rpm se encuentra en una concentración de 367 ppm, y a 1230 rpm se encuentra en una concentración de 238 ppm, para esos mismos puntos empleando biodiesel la concentración de SO₂ fue de 0 ppm, lo que demuestra que el contenido de azufre del biodiesel es nulo. El parámetro temperatura de los gases de escape, es mayor al emplear el diesel como combustible, dichas curvas son similares, con tendencia al crecimiento a medida que aumentan las rpm, para el caso del diesel la temperatura más alta se debe al mayor poder calórico de este combustible respecto al biodiesel y los porcentajes de incremento de temperatura en cada punto son de 5,32%, 10,71% y 12,6%, respectivamente.

Los valores máximos de temperatura en el diesel llegan hasta 397 °C, mientras que empleando biodiesel llegan hasta 347°C. Las emisiones de óxidos de nitrógeno en el motor están dadas por la temperatura máxima alcanzada en la combustión, y como en el caso

del diesel es mayor entonces la emisión de óxidos de nitrógeno será mayor también. Estas curvas tienen un comportamiento similar, sin embargo la correspondiente al diesel es superior y alcanzando un valor máximo de 212 ppm, mientras que para el biodiesel el valor máximo es de 110 ppm, lo que representa una reducción de casi el doble de este contaminante.

Análisis de Gases.	U/M	diesel	biodiesel	Diferencia (%)	
Temperatura gases	°C	282	267	5.32	Pto. 1 a 880 rpm.
O ₂	%	1.8	6.5	63.89	
NO _x	ppm	203	99	51.23	
SO ₂	ppm	414	0	100.00	
CO ₂	%	14	10.6	24.29	
Exceso de aire	—	1.09	1.45	33.03	
Temperatura gases	°C	364	325	10.71	Pto. 2 a 1050 rpm
O ₂	%	1.7	5.8	65.88	
NO _x	ppm	212	110	48.11	
SO ₂	ppm	367	0	100.00	
CO ₂	%	14.1	11.1	21.28	
Exceso de aire	—	1.09	1.38	26.61	
Temperatura gases	°C	397	347	12.6	Pto. 3 a 1230 rrrpm
O ₂	%	1.9	6.1	67.9	
NO _x	ppm	204	99	51.5	
SO ₂	ppm	238	0	93.3	
CO ₂	%	13.9	10.9	21.6	
Exceso de aire	—	1.1	1.41	28.2	

Tabla 4. Análisis de los gases de escape (U/M: unidad de medida).

En el gráfico 4 se muestra el comportamiento del exceso de aire, y de O₂ libre restante en los gases de escape. El O₂ que se encuentra presente en los gases de escape con el uso del biodiesel es superior al registrado cuando se emplea el diesel. Esto se debe a que en el biodiesel se encuentra presente cierta cantidad oxígeno, superior a las que presenta el diesel y que participa en la reacción de combustión, por lo que parte del oxígeno que entra con el aire de admisión sale sin reaccionar con los gases de escape. Estas diferencias se acentúan aún más al trabajar en las bajas velocidades de rotación llegando a tener una diferencia de un 63,89%.

El exceso de aire para el biodiesel es superior al del diesel, y el punto de mínima se encuentra a las 1050 rpm aproximadamente.

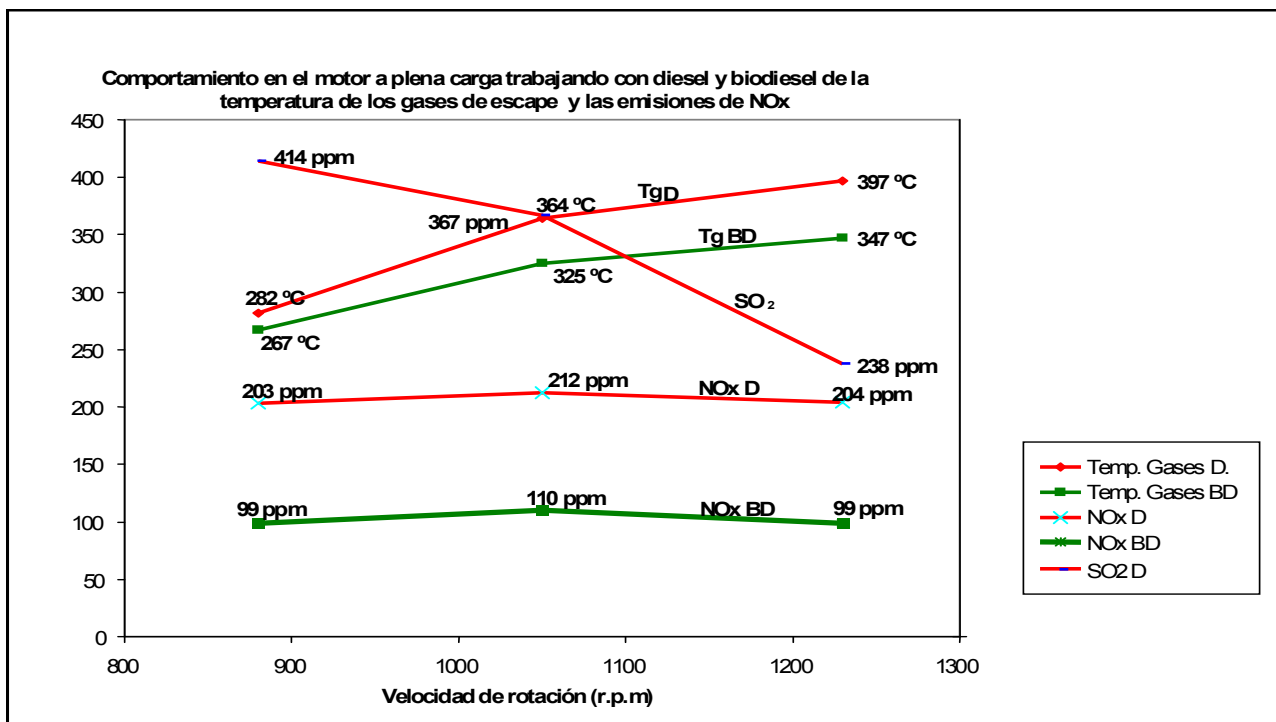


Gráfico 3.

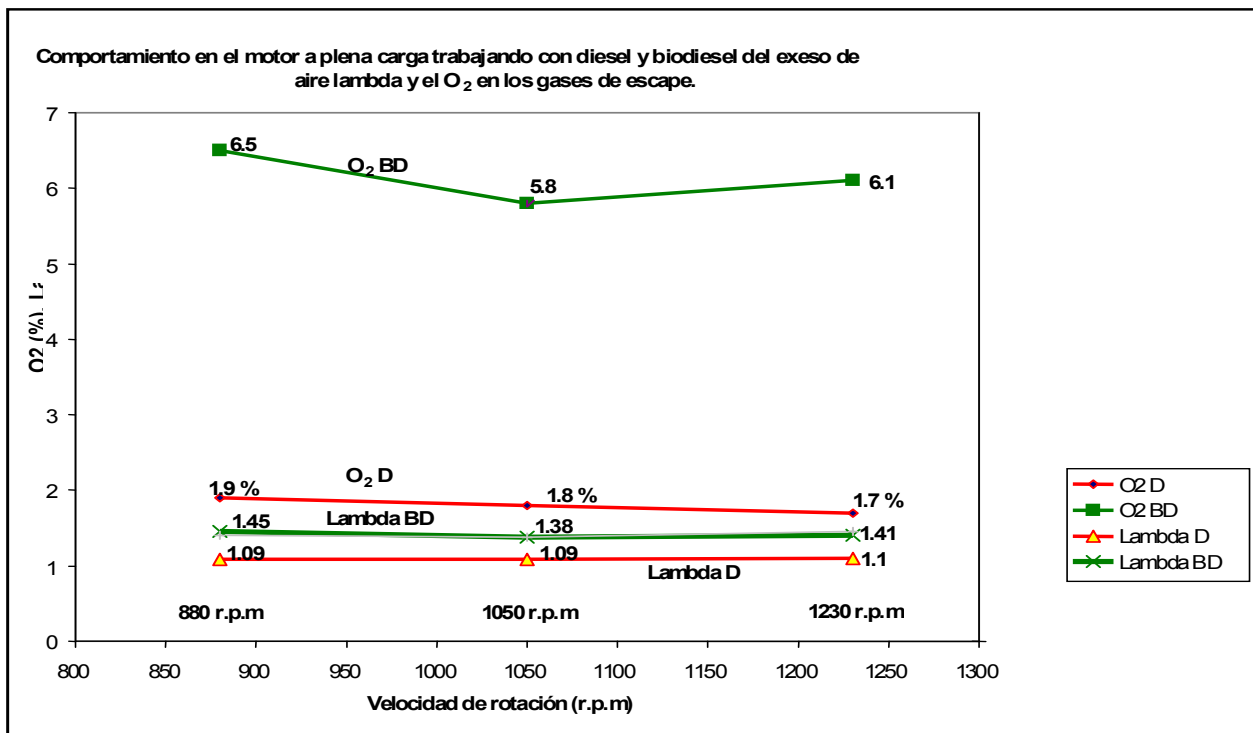


Gráfico 4.

5. CONCLUSIONES

1. Los resultados de los experimentos empleando biodiesel obtenido a partir de aceite de girasol y etanol 97 como materias primas fundamentales en el motor diesel son similares a los reportados por la literatura internacional.
2. El biodiesel empleado presenta una viscosidad, que aunque está todavía por encima de la registrada en la norma ASTM, resultó aceptable para el empleo en el motor utilizado, no reportándose anomalías en su funcionamiento.
3. Al emplear biodiesel las emisiones de dióxido de azufre se reducen a 0 y los óxidos de nitrógeno se reducen en un 50% como así también se reducen las emisiones de monóxido de carbono.
4. A medida que aumentan las revoluciones del motor se incrementan las diferencias entre los parámetros del motor al emplear los combustibles diesel y biodiesel, para las 780 rpm del motor el torque, la potencia, el consumo horario y el consumo específico tienen diferencias de 4.26, 4.06, 0 y 4.58%, mientras que para las 1450 rpm las diferencias son de 9.83, 9.63, 11.54 y 24.21% respectivamente.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Alonso, J. A. Los biocarburantes como alternativa energética. Situación actual y objetivos. Biocarburantes: Una alternativa energética. Curso de verano. UCM-IDAE. San Lorenzo del Escorial. 2002.
2. Engine performance and emissions. Journal of propulsion and power. Vol. 15. No. 2. pp 224-231. 1999.
3. Gruse, W. A. Motor Fuels. Performance and Testing. Ed. Reinhold Publishing Co. New York, 1968. pp.280.
4. Jójvaj, M. S. Motores de Automóvil / M. S. Jójvaj G. S. Maislov. – La Habana : Editorial Pueblo y Educación , 1985. pp. 434.
5. Tickell, J. From the fryer to the fuel tank.. Tercera Edición. 2000.
6. <http://www.biodiesel.com.ar>
7. <http://www.biodiesel.org>

ABSTRACT

The development of the modern world after the industrial revolution has been based on the exploitation of fossil fuels, these of relatively easy obtaining, low production cost and easy transport, displaced to other energy sources like the wood, the vegetable coal and the animal force. Today, the possible extinction to medium term of these fossil reservations, together to the biggest incidence in a conscience environmentalist and the concrete reality of the environmental deterioration has modified the precedent situation, and has reactivated the search of alternative fuels. Inside the alternative fuel that charge importance for their ecological value are the biofuel like the bioethanol, biomethanol and the biodiesel. In this work it is studied in an experimental way the behavior of a diesel motor that uses as combustible biodiesel obtained starting from oil of sunflower without using and without refining and ethanol 97 as matters fundamental and feasible to obtain in Cuba. With this purpose was carried out the rehearsal of external characteristic of speed and the emissions of polluting gases and were measured as the SO₂ and NO_x under different load states, being that the maximum fall of effective power doesn't exceed 9,7% and however the reduction in the emissions of SO₂ and NO_x is of 100% and between the 48 and 51%, respectively.

Keywords: Alternative fuel, biodiesel, effective power, reduction emissions of polluting gases.