



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DIESEL CON RECUBRIMIENTO CERÁMICO PARCIAL DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN ALIMENTADO POR CORTES GASOIL-BIODIESEL

Caldera, Martín^{*1}; Bour, Marcelo²; Castagnaro, Emanuel³; Martinez, Ricardo⁴

^{1,4} División Metalurgia y Área Máquinas Térmicas, INTEMA- CONICET – Facultad de Ingeniería.
Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

E-mail: mcaldera@fi.mdp.edu.ar

^{2,3} Alumno de grado– Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

RESUMEN

Los problemas relacionados con la escasez de combustibles fósiles y la emanación de gases contaminantes, han impulsado la búsqueda de soluciones tendientes a mejorar el rendimiento y funcionamiento de los motores [1]. Una de las tendencias actuales es la sustitución parcial de los combustibles fósiles por otros derivados de la biomasa [2].

Por otro lado, es bien conocido que una mayor temperatura de combustión genera un rendimiento térmico mayor.

El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto del uso de biodiesel como combustible sobre las prestaciones del motor diesel; con y sin aislación térmica de la cámara de combustión del motor.

Se realizaron ensayos de potencia, par, consumo específico, temperatura de gases de escape, análisis de humo (opacidad), y análisis de gases. Las mediciones fueron realizadas con diferentes porcentajes de mezclas gasoil-biodiesel. El biocombustible utilizado corresponde a biodiesel procesado a partir de aceite de soja según normas internacionales.

Todos estos ensayos se repitieron luego de recubrir parcialmente, con materiales cerámicos y técnicas de spray térmico, la superficie de la cámara de combustión.

Los resultados muestran, en forma coincidente con la bibliografía [3], que a medida que aumenta el porcentaje de biodiesel disminuye la potencia máxima alcanzada. El consumo específico de combustible aumenta y la opacidad disminuye junto con la emanación de gases contaminantes, a excepción de un ligero incremento de los NOx. Por otro lado, el uso del recubrimiento cerámico no mostró los incrementos esperados en los valores de performance del motor. Por el contrario se observó una merma en los valores de todas las variables medidas.

Palabras Claves: Biodiesel, Recubrimiento Cerámico, Prestaciones.

REFERENCIAS

- [1] Demirbas, Ayhan. (2009). "Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review". Applied Energy. vol 86. pp 108-117.
- [2] Agarwal, Avinash. (2007). "Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines". Progress in Energy and Combustion Science. vol 33. pp 233-271.
- [3] Murillo, S.; Miguez, J.; Porteiro, J.; Granada, E.; Moran, J. (2007). "Performance and exhaust emissions in the use of biodiesel in outboard diesel engines". Fuel. vol 86. pp 1765-1771.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

1. INTRODUCCIÓN

Los problemas ambientales que experimenta nuestro planeta son causados fundamentalmente por el efecto invernadero, el mismo consiste en el proceso por el cual ciertos gases de la atmósfera retienen gran parte de la radiación emitida por la Tierra y la remiten de nuevo a su superficie, calentandola. Los gases responsables del efecto invernadero son: Vapor de agua (H_2O), Dióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Ozono (O_3), y Clorofluorocarbonos ($CFCI_3$), gases que han estado presentes en la atmósfera en cantidades muy reducidas durante la mayor parte de la historia de la Tierra. Actualmente, el CO_2 , presente en la atmósfera, está creciendo en gran forma debido a diferentes actividades desarrolladas por el hombre, pero principalmente por la combustión de carbón, petróleo y gas natural, proceso que libera el carbono de estos combustibles fósiles.

Por otro lado, es de conocimiento público que los combustibles fósiles son un recurso limitado, si bien no se conocen en forma exacta la cantidad de reservas aun disponibles, es cierto que con los niveles extremadamente crecientes en el consumo de este tipo de combustibles la escasez del petróleo se torna cada vez más próxima [1]. En las últimas tres décadas, se ha notado un fuerte interés en lograr una disminución en el consumo innecesario de combustibles fósiles y un mejor aprovechamiento de la energía. Un claro ejemplo, es la mejora en la eficiencia de funcionamiento de los motores de combustión interna, la disminución en el tamaño y peso de los automóviles, etc. Otro objetivo más reciente es lograr disminuir la producción y emanación de los gases que contribuyen al efecto invernadero. Para ello, y con la ayuda de la electrónica, se ha logrado controlar notablemente la emanación de gases contaminantes generados en cualquier proceso de combustión.

Actualmente gobiernos y científicos de los países más desarrollados trabajan en pos de evitar estos inconvenientes. Un ejemplo de ello es el desarrollo de fuentes de energía alternativas, "renovables", que permitan: en primer lugar disminuir la generación de gases que aportan al aumento del efecto invernadero, y en segundo lugar disminuir o al menos mantener el consumo desmedido de las fuentes de energía no renovables [1-2]. Las tendencias más importantes marcan el uso de combustibles generados a partir de biomasa, los cuales son 100% renovables, llamados biocombustibles. Dentro de estos podemos encontrar el biodiesel, aceite vegetal (biooil), el bioetanol, el biogas, y el gas pobre. Si bien los bajos niveles de producción de estos combustibles hacen imposible el reemplazo total de los derivados del petróleo, ayudan a minimizar el consumo de estos últimos y fundamentalmente ayudan a evitar la generación de gases nocivos para la atmósfera [2-6]. En nuestro país la legislación existente (Ley Nacional 26093/06, artículos 7 y 8)

estableció para principios del 2010 un uso obligatorio de cortes 5% de biodiesel en el gasoil y 5% de bioetanol en las naftas [7].

Los autores de este trabajo han realizado estudios previos sobre un motor de ciclo diésel [8]. El estudio consistió en realizar ensayos de prestaciones del motor operando con gasoil y diferentes mezclas gasoil-biodiesel. Se observaron tendencias que marcan una leve caída de los valores de potencia y cupla motriz cuando aumenta el porcentaje de biodiesel de la mezcla, por otro lado el consumo específico aumenta a medida que se incrementa el porcentaje de biodiesel en el corte. Además muestran que la temperatura de los gases de escape disminuye al aumentar el porcentaje de biocombustible, lo cual se justifica por el menor poder calorífico de este combustible [3]. Finalmente se evidencia una menor emisión de CO al incrementar el porcentaje de biocombustible lo cual queda justificado por la presencia de átomos de oxígeno en la molécula de biodiesel [2].

Desde el punto de vista del motor propiamente dicho, es conocido que los ingenieros trabajan para desarrollar el “motor adiabático”, es decir un motor que funcione sin pérdidas de calor a través de las paredes, logrando así una más eficiente conversión de la energía [9]. Este objetivo choca con el problema de que las altas temperaturas alcanzadas durante el funcionamiento no pueden ser soportadas por los materiales metálicos normalmente utilizados. Desde entonces se trabaja en el desarrollo y empleo de materiales resistentes a este esfuerzo térmico, tales como los cerámicos; sin embargo las propiedades mecánicas de los mismos no satisfacen los esfuerzos a los que están sometidos los componentes principales del motor. Surge de esta manera, la alternativa de recubrir las piezas metálicas expuestas al frente de llama por una capa de material cerámico que actúa como barrera térmica (TBC). Los TBC se pueden obtener mediante varios procesos, métodos de deposición química y física. Sin embargo existen dos tipos de procedimientos principales, Air Plasma Spray (APS) y Electron Beam Physical Vapour Deposition (EBPVD).

Existen reportes [10] de recubrimientos aplicados a válvulas y tapa de cilindro de un motor diesel, una delgada capa de 150 μm de NiCrAl como material de base y luego una capa de 350 μm de CaZrO₃. En cambio, las cabezas de los pistones son directamente recubiertas con una capa de 350 μm de MgZrO₃. Los resultados son excelentes y logran reducir el consumo específico de combustible, la generación de partículas contaminantes y los gases, con excepción del óxido de nitrógeno (NO_x) el cual aumenta ligeramente.

La bibliografía referente a los biocombustibles es abundante, sin embargo pocos trabajos se enfocan en optimizar el motor de combustión interna, ciclo diesel, desde el punto de vista mecánico

y de la ingeniería de los materiales, para mejorar su rendimiento y durabilidad, cuando este funciona con biocombustibles o cortes biodiesel-gasoil.

1.1. Objetivos del trabajo

Determinar los efectos de la utilización de biocombustibles (biodiesel y cortes biodiesel-gasoil) sobre parámetros de funcionamiento del motor en estado original y con partes de la cámara de combustión aisladas térmicamente.

Evaluar las ventajas y desventajas de la implementación de estas modificaciones en motores de combustión interna que funcionan con biocombustibles.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería de la UNMdP, sobre un motor marca Pertrak 4-203. Se empleó un freno dinamométrico hidráulico, marca Go-Power de 500 hp de capacidad. Los ensayos se adecuaron a la norma de ensayos de motores de combustión interna (ISO 3046 "Performance – Reciprocating Internal Combustion Engine") y la norma de determinación de gases contaminantes (ISO 8178 "Exhaust Emission Measurement - Reciprocating Internal Combustion Engine").

El combustible utilizado fue gasoil grado 3, de la petrolera ESSO, el cual contenía al momento de la realización de los ensayos, un porcentaje de 7,5% de biodiesel (B7,5). La medición de mencionados porcentajes se realizó con un equipo marca Delphi modelo YDT 553. El Biodiesel, a base de aceite de soja, cumple con las normas internacionales ASTM 6715 y EN 14214

Todas las determinaciones se realizaron utilizando las siguientes mezclas: a) 7,5% en volumen de biodiesel – resto gas oil (B7,5), b) B25, c) B50, d) B75, c) motor funcionando con biodiesel (B100).

Las determinaciones de cupla motriz, potencia, temperaturas de refrigeración, de aceite, y de gases de escape fueron realizadas con un equipo de adquisición de datos marca SMAC, a su vez los datos fueron corregidos por condiciones climáticas. La determinación del consumo de combustible se midió con el método gravimétrico. Por otro lado, la emanación de CO, CO₂, HC y NO_x fue medida con un analizador de gases de escape de tecnología infrarroja de alta precisión, de la firma SENSOR INC, y la opacidad de los humos con un opacímetro de flujo total marca TESTO 308, en la escala de Bacharach.

Utilizando los valores obtenidos en los ensayos se determinaron las curvas de: a) consumo específico de combustible, b) torque, c) potencia, d) humos, y e) emisión de gases contaminantes.

Además se midieron variables de funcionamiento como temperatura de fluido de refrigeración, temperatura de aceite, temperatura de escape, etc.

El recubrimiento cerámico se realizó por spray térmico en las instalaciones de la empresa "Metaliza S.A.C.I.". Se utilizó un equipo de proyección por plasma atmosférico (APS) Marca SulzerMetco, modelo 3MB II, montado sobre manipulador robótico de 6 ejes Fanuc S-420iF. Las superficies fueron previamente granalladas con óxido de aluminio amorfo mesh #24, utilizando una distancia de proyección de 200 mm, ángulo: 45° y presión: 3 bar. Luego del granallado, con el objetivo de reducir la cantidad de partículas de óxido de aluminio incrustadas residuales, se cepillaron las superficies y se realizó un barrido con nitrógeno a 45° con 3,5 bar de presión. Posteriormente se depositó una capa de AMDRY 9625(Ni 22Cr 10Al 1.0Y) de 160-180µm de espesor como capa de unión y una capa de METCO 204NS(ZrO₂ 8Y₂O₃) de 380-420µm de espesor como capa final. La Figura 1 muestra el aspecto de las partes recubiertas con respecto a las partes originales, con su superficie metálica expuesta.



Figura 1. Fotografías comparativas entre un pistón recubierto con cerámico y uno sin recubrimiento (izquierda), y de válvulas de admisión y escape, con y sin recubrimiento (derecha).

3. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1. Curva de Par y Potencia

En todo el rango de revoluciones del motor la potencia disminuye a medida que aumenta el porcentaje de biodiesel en la mezcla, registrándose los valores más altos para el corte B7,5. La potencia del motor con recubrimiento cerámico, mostró el mismo comportamiento relativo para los distintos cortes que el motor estándar, Figura 2. Respecto al motor sin recubrimiento la potencia alrededor de las 3000 RPM tuvo una disminución de 4 CV para B7.5 y 1 CV para B100.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

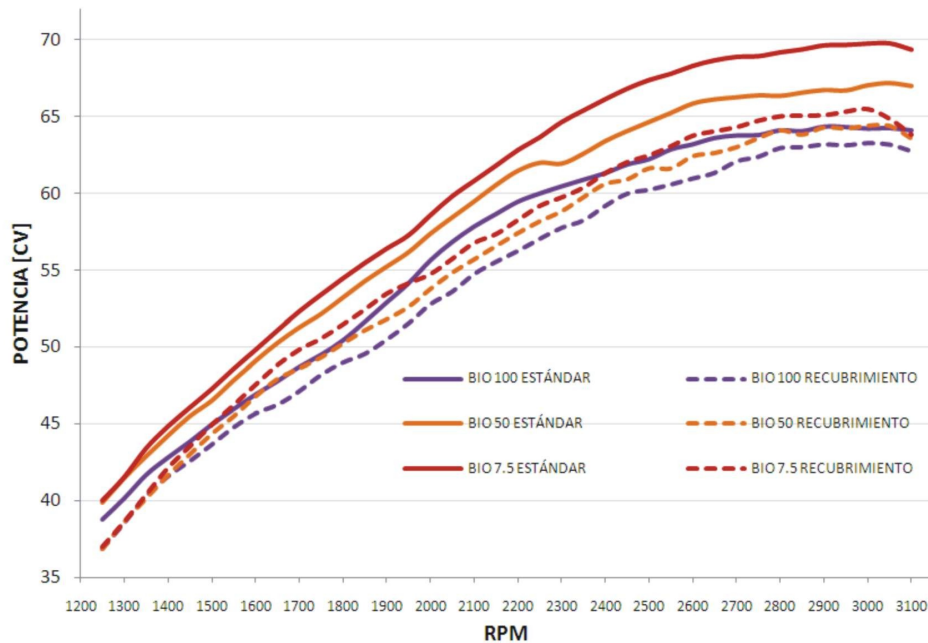


Figura 2. Comparación entre la potencia motor estándar vs motor con recubrimiento.

Esta disminución podría atribuirse a una caída en el rendimiento gravimétrico, esto es, debido al calentamiento de la cámara de combustión, el aire que ingresa y se calienta, disminuye su densidad manteniendo fijo su volumen, que está determinado por el tamaño del cilindro del motor, resultando en una menor cantidad de masa de aire disponible para la combustión.

3.2. Consumo específico

El consumo específico de los cortes ensayados con recubrimiento mostró un aumento promedio del 5% respecto del consumo obtenido con el motor estándar, Figura 3. El aumento del consumo se explica teniendo en cuenta la mecánica de inyección, donde el volumen de combustible que ingresa a la cámara de combustión sólo depende de la posición del acelerador, y la potencia entregada resulta menor.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

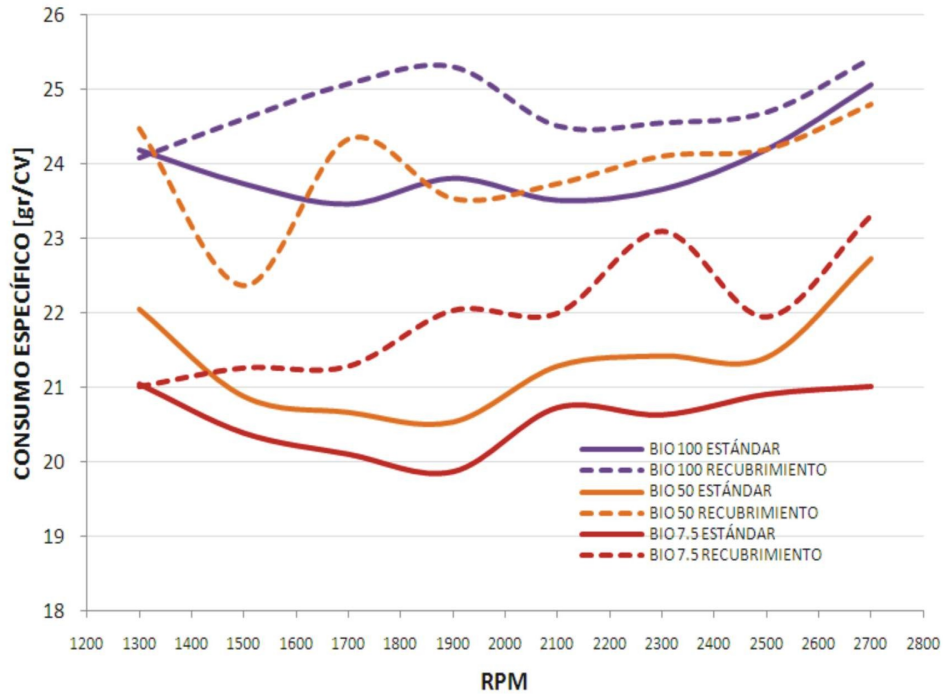


Figura 3. Comparación consumo específico, motor estándar vs motor con recubrimiento.

3.3. Temperatura de gases de escape (TGE)

Para los 3 cortes ensayados con recubrimiento, la temperatura de gases de escape mostró un aumento con respecto al motor estándar, Figura 4. En el rango de trabajo de 2300 a 2700 RPM se observa que el aumento es mayor para el biodiesel (7%), seguido por B50 (2%) y en menor medida el B7.5 (1%). Este aumento es debido a la aislación térmica parcial generada con el recubrimiento cerámico.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

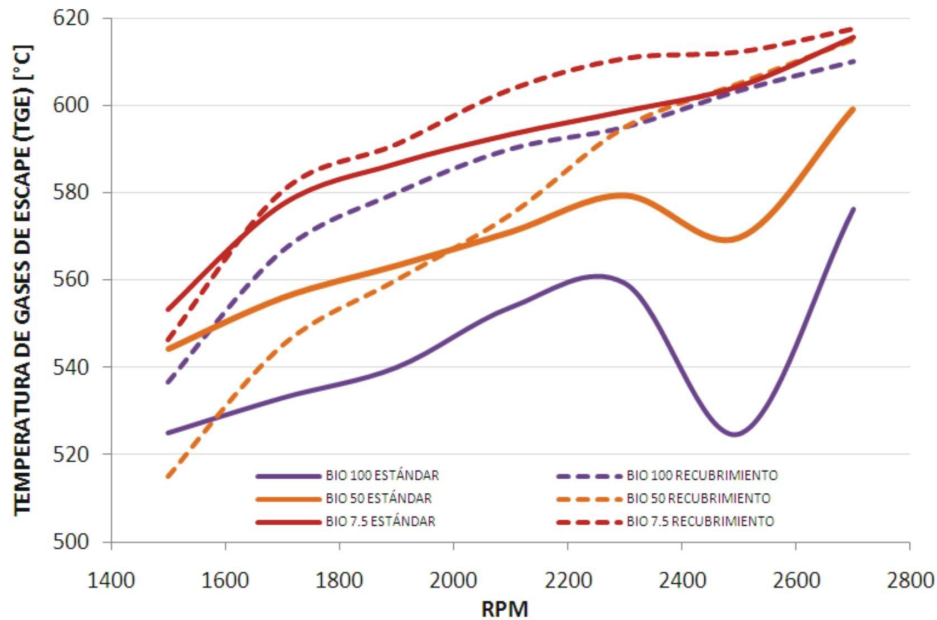


Figura 4. Comparativa TGE, motor estándar vs motor con recubrimiento.

3.4. Gases de escape

En la Figura 5 se observa la comparativa de promedios de la medición de hidrocarburos, monóxido de carbono, dióxido de carbono, y óxidos de nitrógeno para gasoil común (B7.5) y Biodiesel puro (B100) con el motor estándar y recubierto.

En todos los casos el motor recubierto revierte la tendencia de menores concentraciones en la emisiones para el biodiesel; en presencia del recubrimiento muestra mayores concentraciones para HC, CO y CO₂ y menor para NO_x que el diesel común.

La disminución de los valores obtenidos utilizando combustible diesel normal (B7.5) podría atribuirse al aumento de temperatura en la cámara, generando una combustión más completa.

La tendencia obtenida con el Biodiesel (B100) en el motor recubierto aun no pudo ser justificada.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

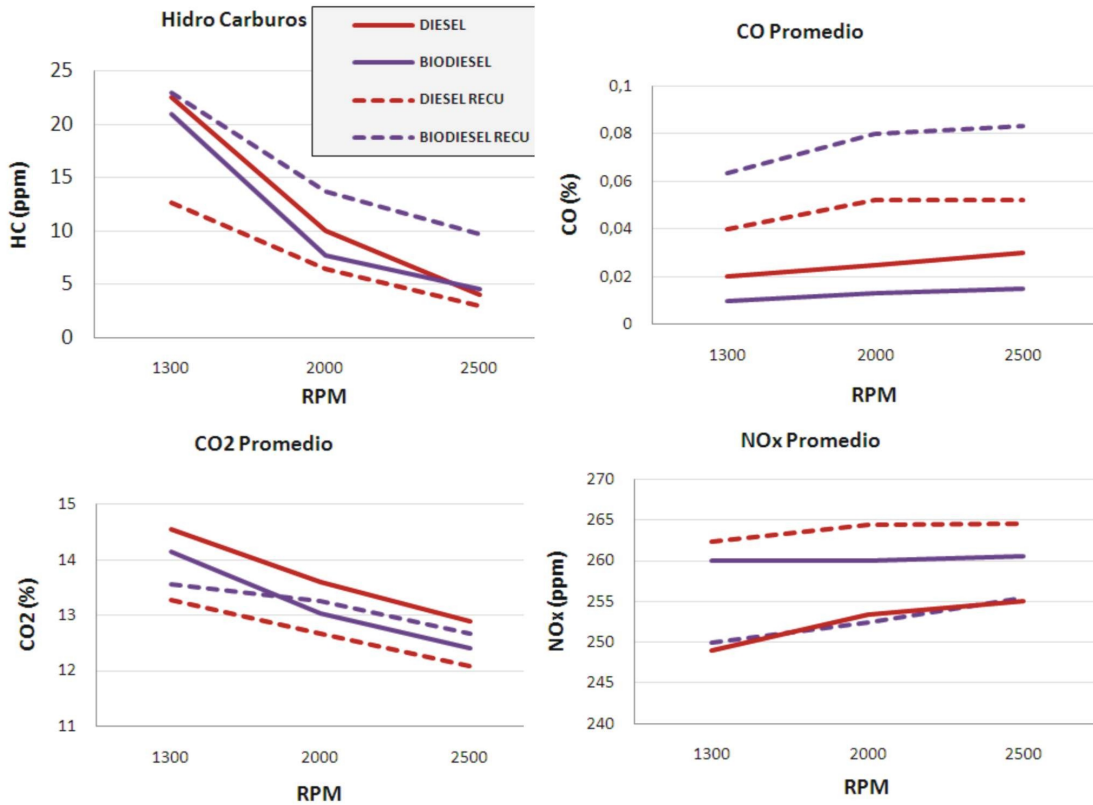


Figura 5. Comparación de emisiones de los diferentes gases de escape obtenidos con el motor estándar vs el motor con recubrimiento.

3.5. Opacidad de flujo parcial

La opacidad medida en flujo parcial mostró la misma tendencia que la medición de flujo total con el motor sin recubrimiento [8]. Los valores de opacidad disminuyen a mayor porcentaje de biodiesel en la mezcla, Figura 6.

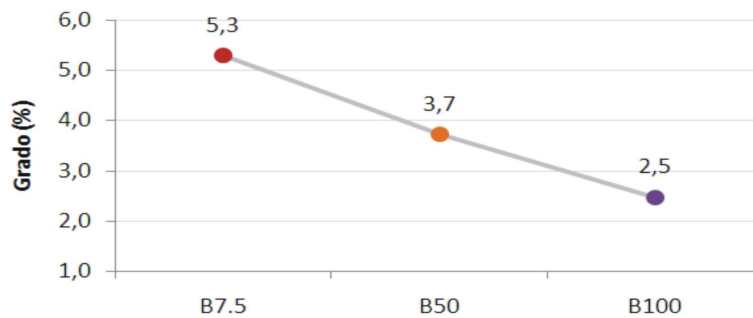


Figura 6. Opacidad, medición de flujo parcial.



3.6. Cambio en el avance de la Bomba de Inyección

La Figura 7 muestra los valores de potencia obtenidos para distintos ángulos de avance de la bomba de inyección, utilizando B7.5 y B100. Para el corte B100 el adelanto al encendido de 26° generó una caída de potencia mayor a la registrada con el recubrimiento y el avance de fábrica (23°). Para avances menores (retraso respecto del ángulo de fábrica), 17° y 20°, la potencia fue mayor que con el ángulo de 23° pero no superó la potencia obtenida con el motor en condiciones estándar (sin recubrir).

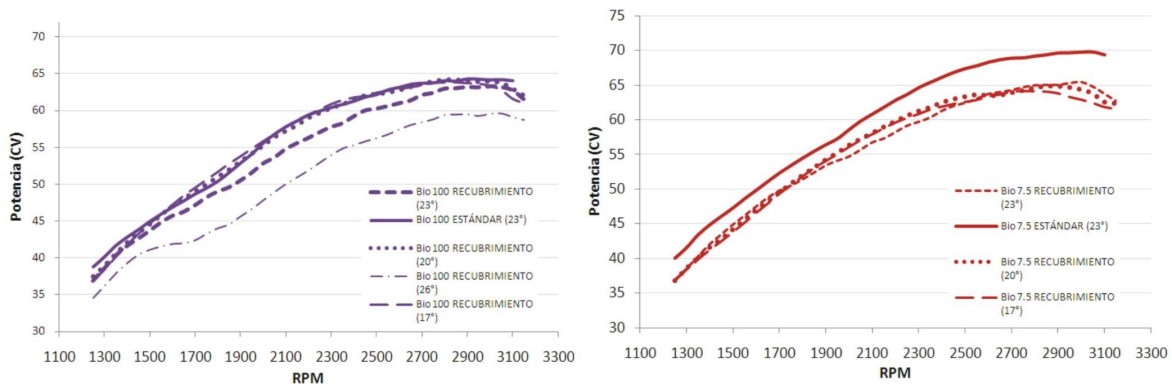


Figura 7. Potencia para distintos ángulos de la bomba de inyección, utilizando B100 y B 7.5.

En los ensayos con B7.5, con avances menores al de fábrica (17° y 20°), a diferencia de los ensayos con B100, la potencia no mostró cambios favorables en los valores obtenidos con el avance original (23°). Esto puede fundarse en la optimización en fábrica del reglaje de la distribución y el adelanto al encendido para el gasoil puro.

4. CONCLUSIONES

- A medida que aumenta el porcentaje de biodiesel en el corte, los valores de prestaciones del motor se reducen y el consumo específico aumenta.
- Se destaca que los gases de escape presentan una temperatura menor a mayor proporción de biodiesel. Los humos acompañan esta tendencia, haciendo que la implementación de este tipo de combustibles aporte al cuidado ambiental.
- El recubrimiento no mostró la mejora esperada en valores de potencia. Además, el consumo específico aumentó, acorde a la disminución de la potencia obtenida con el recubrimiento.
- Variar el ángulo de avance de la bomba de inyección, cuando el motor funciona con biodiesel puro y recubrimiento cerámico, permite recuperar las prestaciones obtenidas con el motor sin recubrir.

- Es de gran interés realizar el estudio con un motor de tecnología más moderna y con sobrealimentación, para observar si hay algún cambio en las tendencias obtenidas.

5. REFERENCIAS

- [1] Demirbas, Ayhan. (2009). "Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review". *Applied Energy*. vol 86. pp 108-117.
- [2] Agarwal, Avinash. (2007). "Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines". *Progress in Energy and Combustion Science*. vol 33. pp 233-271.
- [3] Murillo, S.; Miguez, J.; Porteiro, J.; Granada, E.; Moran, J. (2007). "Performance and exhaust emissions in the use of biodiesel in outboard diesel engines". *Fuel*. vol 86. pp 1765-1771.
- [4] Romano, S.D.; González Suárez, E. (2009) "Biocombustibles líquidos en Iberoamérica". Ediciones Cooperativas, Capital Federal, Argentina. ISBN 978-987-652-043-0.
- [5] Demirbas, Ayhan. (2000). "Conversion of biomass using glycerin to liquid fuel for blending gasoline as alternative engine fuel". *Energy Convers Manage*. vol 41. pp 1741-1748.
- [6] Agrawal, A. K.; Das, L.M. (2001). "Biodiesel development and characterization for use as a fuel in compression ignition engines". *Trans ASME*. vol 123. pp 440-447.
- [7] Revista encrucijadas, Universidad de Buenos Aires (UBA), Vol 45.
- [8] Caldera, M.; Bour, M.; Castagnaro, E.; Martínez, R.. (2012). "Estudio de prestaciones de motor diésel alimentado por cortes gasoil-biodiesel". *3º Congreso CAIM 2012, Buenos Aires, Argentina, 02 al 05 de Octubre de 2012*.
- [9] Heywood, J. "Internal Combustion Engine Fundamentals" Publisher: McGraw-Hill Science | ISBN: 007028637X
- [10] Hazar, Hanbey. (2009). "Effects of biodiesel on a low heat loss diesel engine". *Renewable Energy*. vol 34. pp 1533-1537.

Agradecimientos

Se agradece al CONICET y a la Universidad Nacional de Mar del Plata por el financiamiento otorgado, a la empresa "Metaliza S.A.C.I." por realizar el trabajo de recubrimiento cerámico de piezas del motor, y a la empresa Patagonia Bioenergía S.A. por la donación del biodiesel utilizado.