

EFFECTO DEL USO DE BIODIESEL SOBRE LOS MATERIALES DE LOS COMPONENTES DEL MOTOR

Martín Caldera, Ricardo A. Martínez, Ariel Stocchi

Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de Mar del Plata, Av. Juan B. Justo 4302, Mar del Plata, Argentina.
INTEMA-CONICET
mcaldera@fi.mdp.edu.ar

Palabras clave: Materiales, Degradación, Biodiesel, Motores Diesel.

Resumen

El biodiesel se plantea como una alternativa al combustible Diesel debido a su carácter renovable y biodegradable. Entre sus principales ventajas se encuentran la disminución en la producción de CO_2 , y la no emisión de SO_2 , debido a que no contiene azufre. Puede ser utilizado puro (B100) o mezclado con Diesel en diferentes concentraciones. Por ejemplo B20 significa una mezcla con 20% de biodiesel y 80% de Diesel. En general, dicho biocombustible, no es compatible con ciertos polímeros, produciendo su degradación.

El objetivo de este trabajo es estudiar la influencia del uso de biodiesel en las propiedades de ciertos componentes del motor, como piezas construidas en materiales poliméricos, materiales cerámicos utilizados como barrera térmica y el aceite lubricante.

Se realizaron ensayos mecánicos a muestras de diferentes polímeros, utilizados en partes del sistema de alimentación de combustible de motores Diesel modernos, sometidas a diferentes tiempos de contacto con biodiesel. En particular se realizaron ensayos de absorción de combustible en anillos tipo "o" fabricados en acrilonitrilo y mangueras y su influencia en las propiedades mecánicas finales. Los resultados obtenidos muestran la mayor absorción y pérdida de propiedades mecánicas para el caso de mayores cortes de biodiésel.

Se realizaron ensayos químicos al aceite del motor, en distintas etapas de un ensayo de larga duración, realizado en el banco de pruebas de esta Facultad. El objetivo fue determinar la posible contaminación del mismo y variación de sus propiedades lubricantes.

Por otro lado, y terminado el ensayo de larga duración, se procedió a desarmar el motor para verificar la integridad de los recubrimientos cerámicos de las válvulas y pistones.

A partir de los datos obtenidos con los diferentes ensayos, se obtuvieron conclusiones respecto al comportamiento de los materiales que mantienen contacto con el biodiesel.

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, calentándola. 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 [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.

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, el mismo puede ser utilizado puro (B100) o mezclado con diesel en diferentes concentraciones. Por ejemplo B20 significa una mezcla con 20% de biodiesel y 80% de diesel. 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 por ende 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]. Este trabajo 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, lo cual se justifica por el menor poder calorífico de este combustible [3]. Finalmente se evidencia una menor emisión de CO [2].

Otra tendencia actual de investigación, es del punto de vista de los materiales. Desde hace muchos años los ingenieros trabajan para desarrollar el tan deseado "motor adiabático". Este motor ideal no tiene pérdidas de calor a través de las paredes, logrando así una más eficiente conversión de la energía [9]. El problema es que las altas temperaturas alcanzadas durante el funcionamiento no pueden ser soportadas por los materiales metálicos actuales. Desde entonces se trabaja en el desarrollo y empleo de materiales de mayor punto de fusión, como los cerámicos; sin embargo las propiedades mecánicas de los mismos distan demasiado de las elevadas sollicitaciones requeridas en el funcionamiento de un motor. Surge como una nueva alternativa, recubrir las piezas metálicas expuestas al frente de llama por una barrera térmica de material cerámico.

Los recubrimientos de barrera térmica (TBC) están diseñados para reducir la transferencia de calor. Principalmente se usan materiales cerámicos. Su aplicación en película fina prácticamente ha anulado los problemas causados por mala adherencia o separación, provocados por los diferentes coeficientes de dilatación del material protegido y el revestimiento de barrera térmica.

Los autores en un trabajo anterior [10], realizaron ensayos de performance sobre un motor Diesel recubierto con TBC (en los pistones y válvulas), operado con gasoil y diferentes mezclas gasoil-biodiesel. Un objetivo del presente trabajo ha permitido observar la degradación de las coberturas de barrera térmica aplicadas a los componentes de la cámara de combustión.

Por otro lado, la compatibilidad del biodiesel con los materiales utilizados en los motores debe ser un punto de atención. En relación con los materiales poliméricos, por ejemplo podemos encontrar los utilizados en el sistema de combustible. Estos materiales son susceptibles al ataque de varios químicos y pueden traer aparejada su degradación, con influencia en sus propiedades físicas y estabilidad, que conllevan a fallas importantes de la máquina. [11, 12]

Algunos autores [13] han trabajado utilizando mezclas de combustibles diesel-biodiesel investigando la dureza y la resistencia a la elongación de varios elastómeros. En algunos observaron cambios en sus propiedades físicas, mientras que en otros como los polipropilenos no han encontrado efecto negativo del uso de biocombustibles. Otros estudios han mostrado que el uso de biodiesel produce la hinchazón de los elastómeros (como trilobutyl-dilene, gomas acrílicas y HNBR- hydrogenated nitrile rubber) aún en mezclas tan bajas como B10, esto indica que hay una relación compleja entre biodiesel y los elastómeros y existen algunos datos contradictorios en la bibliografía, por lo que es de interés realizar estudios adicionales en este aspecto [14]. Bajo estas circunstancias, la absorción del combustible así como la extracción de componentes solubles de los mismos, tales como plastificantes, son diferentes para cada tipo de polímero.[15,16]

El control de la degradación del aceite lubricante, durante su uso, es un tema fundamental para prolongar la vida del motor de combustión interna. En particular se pretende identificar las propiedades del aceite que se ven alteradas con el cambio del tipo de combustible. Han sido reportados valores [17] sobre la variación en la viscosidad, la misma disminuye con las horas de funcionamiento. Otro parámetro importante, la densidad, que aumenta con el tiempo de funcionamiento, pudiendo esto justificarse por el aumento de las partículas de desgaste y el contenido de humedad del aceite lubricante. En este caso, la tendencia creciente disminuye cuando el motor es operado con un corte B20.

1.1. Objetivos del trabajo

Determinar los efectos de la utilización de biocombustibles (biodiesel y cortes biodiesel-gasoil) sobre las propiedades mecánicas de los materiales poliméricos de las piezas del sistema de alimentación. Estudiar la contaminación del aceite lubricante del motor, con su correspondiente detrimento de las propiedades lubricantes, al utilizar biodiesel como combustible. Analizar la integridad estructural de las TBC luego de un ensayo de larga duración con mezclas gas oil - biodiesel.

2. Procedimiento experimental

El combustible utilizado en todos los estudios fue gasoil grado 3, de la petrolera YPF, el cual contenía al momento de la realización de los ensayos, un porcentaje de 7,5% de biodiesel (B7,5). El Biodiesel, a base de aceite de soja, cumple con las normas internacionales ASTM 6715 y EN 14214.

Para la realización de los ensayos de absorción se sumergieron muestras (a partir de mangueras, peso nominal 15 gramos) y probetas completas de empaquetaduras tipo O´ring, fabricadas en goma de nitrilo butadieno (nitrile-butadiene rubber) (NBR) en recipientes conteniendo cinco diferentes cortes: a) B7,5, b) B25, c) B50, d) B75, e) biodiesel (B100). La cinética de absorción de fluido por parte de los materiales fue seguida por medio de mediciones gravimétricas en al menos cuatro muestras utilizando una balanza analítica con una precisión de $\pm 0,01$ mg.

Todas las pruebas se realizaron a temperatura ambiente. Las muestras se retiraron de su envejecimiento una hora antes de la prueba con el fin de lograr el equilibrio térmico. Los tiempos máximos de envejecimiento fueron de 4200hs. (Aproximadamente 6 meses)

Para la determinación de las propiedades mecánicas de las probetas se realizaron ensayos de tracción según la norma ASTM D3039M – 95 sobre probetas de sección completa en mangueras. En el caso de los O´rings los ensayos de tracción fueron realizados según norma ASTM D1414M – 95. En todos los casos se utilizó un dinamómetro marca Instron, modelo 4467. La velocidad de ensayo fue de 50 mm/min. Se obtuvieron registros tensión-deformación, a partir de los cuales se calcularon el módulo elástico, carga máxima, y la resistencia a la tracción del material.

Los ensayos de funcionamiento se realizaron en el laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería de la UNMDP, sobre un motor marca Pertrak 4-203, cuyas válvulas y pistones se encontraban recubiertos con barreras térmicas de un estudio anterior [10]. Se empleó un freno dinamométrico hidráulico, marca Go-Power de 500 hp de capacidad. El motor funcionó durante 40 horas con un corte B50 y se extrajeron muestras de aceite lubricante cada 10 horas de funcionamiento. El aceite lubricante utilizado fue de la petrolera YPF, "Extravida XV100", 15W40.

Al finalizar el ensayo de larga duración, se procedió a desarmar el motor y extraer cuidadosamente las piezas recubiertas con TBC (pistones y válvulas) para su estudio.

El análisis de las 4 muestras de aceite se realizó en el laboratorio de análisis de aceites del Arsenal Naval Mar del Plata.

3. Análisis de resultados

3.1. Ensayos de absorción

En la Figura 1 se pueden apreciar los resultados obtenidos para la absorción de biodiesel para la manguera de tela-poliéster (manguera negra). En todos los casos se aprecia una marcada absorción en las primeras etapas del ensayo, denotada por el incremento de masa de la muestra, seguida por una pérdida de masa hasta la estabilización. Asimismo es posible apreciar que se logró un equilibrio en la absorción solamente para los cortes más bajos de biodiesel (B7,5 y B25). El porcentaje final de aumento de masa se situó cercano al 4% en el caso del B7,5, y del 6% en el caso del B25. En el caso de cortes B50 y superiores se puede observar que no se alcanzó el equilibrio, aún para tiempos de exposición prolongados, con una pendiente aproximadamente lineal luego de la estabilización, que se produjo aproximadamente a las 1000hs en todos los casos. La forma de la curva también muestra que el proceso es irreversible e induce cambios de masa significativos debido a procesos de difusión.

En la Figura 2 se pueden apreciar los resultados obtenidos para la absorción de biodiesel para la manguera de policloruro de vinilo (PVC) (manguera amarilla). Se puede apreciar en todos los casos un aumento de peso que indica una absorción del combustible, seguido por una importante baja en el peso total de las muestras para cortes superiores a B50. Esta baja puede explicarse por una disolución y migración de componentes del polímero tales como plastificantes (que otorgan flexibilidad) y colorantes por parte de los componentes más livianos presentes en el biocombustible.

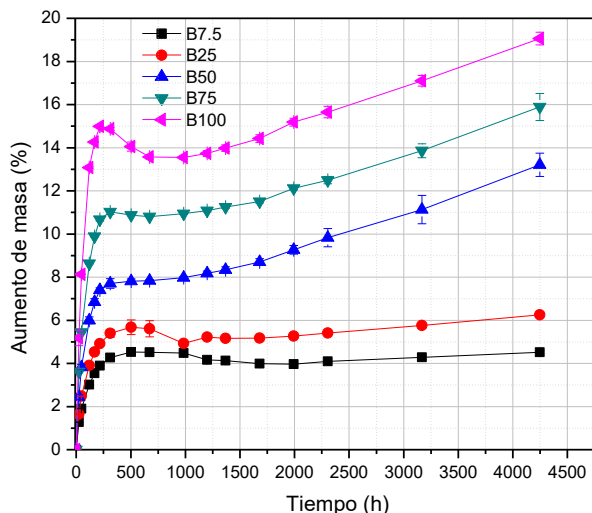


Figura 1. Absorción de biodiesel para la manguera de tela-poliéster.

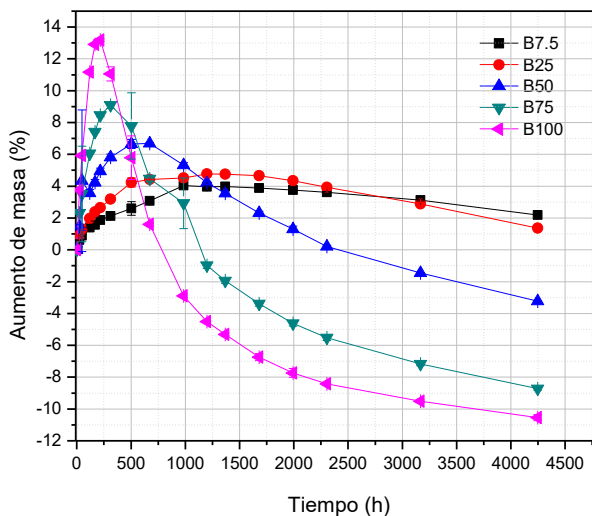


Figura 2. Absorción de biodiesel para la manguera de PVC.

En la Figura 3 se pueden apreciar los resultados obtenidos para la absorción de biodiesel en las empaquetaduras (o ring) de NBR. Se puede apreciar, en todos los casos, un aumento de peso que indica una absorción del combustible. Asimismo, en todos los casos se aprecia una marcada absorción en las primeras etapas del ensayo, seguida por una estabilización. Es posible apreciar que se logró un equilibrio en la absorción solamente para los cortes más bajos de biodiesel (B7,5 y B15). El porcentaje final de aumento de masa se situó cercano al 4% en el caso del B 7,5, y de hasta un 18 % en el caso del corte al 100%. En todos los casos se pudo observar una disminución de peso en el rango de las 500 hs, atribuibles a la migración de componentes. Este efecto resulta marcado para cortes mayores al B75.

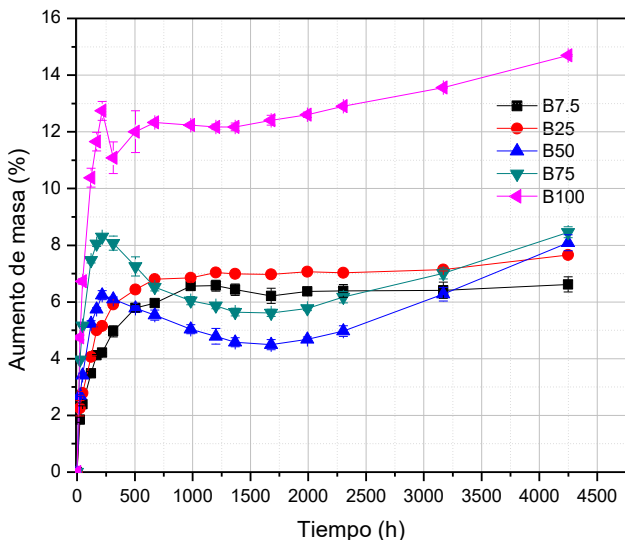


Figura 3. Absorción de biodiesel para el o'ring de NBR.

3.2. Comportamiento mecánico

En la figura 4 se pueden apreciar los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de la manguera tela-poliéster. Las dos primeras barras corresponden a los valores de las probetas no expuestas a ningún combustible antes del ensayo, (s/exp). Es posible observar una importante disminución de propiedades mecánicas, haciéndose más notorio este efecto en cortes superiores a B50, coincidentemente con la mayor absorción observada para dichos cortes. En cuanto a la elongación máxima se puede apreciar que los valores tienden a estabilizarse para cortes superiores a B25, posiblemente debido a que estas mangueras poseen tela como refuerzo el cual impide mayores deformaciones.

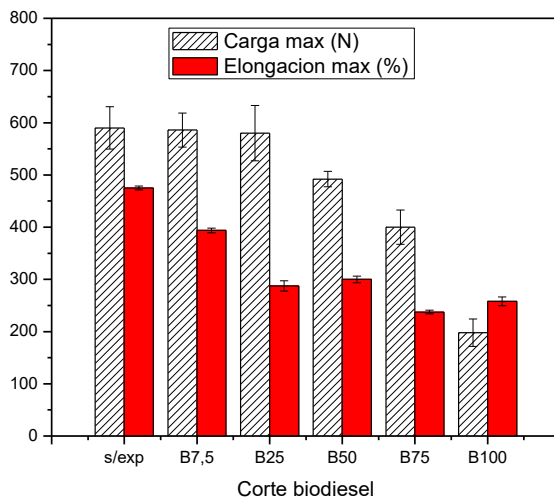


Figura 4. Propiedades mecánicas de la manguera de tela-poliéster.

En la figura 5 se pueden apreciar los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de la manguera de PVC. Es posible observar que las cargas máximas se mantienen, no registrándose pérdida importante en la resistencia. En cambio, el comportamiento en deformación se ve afectado, corroborando el hecho de migración de plastificantes, haciéndose más notorio este efecto en cortes superiores a B50, coincidentemente con la mayor absorción y posterior pérdida de masa observada para dichos cortes. Asimismo se observaron cambios en la coloración de las mangueras ensayadas confirmando la migración de colorantes.

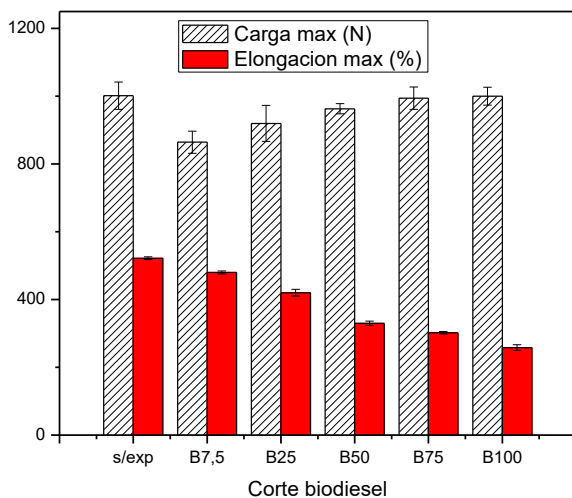


Figura 5. Propiedades mecánicas de la manguera de PVC.

En la figura 6 se pueden apreciar los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos en las empaquetaduras (o ring) de NBR. Es posible observar que no se produce una pérdida significativa de propiedades mecánicas tanto en resistencia como en elongación a la rotura para cortes inferiores a B50. En cortes superiores, se encuentra una leve caída en las tensiones máximas y en la elongación total. Estos resultados se muestran en concordancia con referencias halladas en la literatura [18].

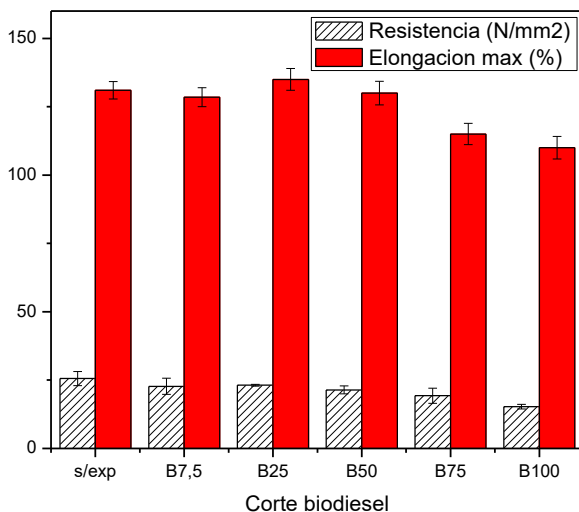


Figura 6. Propiedades mecánicas de los O ring.

3.3. Ensayos de aceite lubricante

La Tabla 1 muestra los valores de las diferentes propiedades del aceite lubricante analizadas luego de 10, 20, 30, y 40 horas de uso con combustible B50. Además se muestran los valores correspondientes al aceite nuevo (antes de uso).

Tabla 1. Variación de las diferentes propiedades del aceite lubricante con las horas de ensayo.

Horas de ensayo	0 (aceite nuevo)	10	20	30	40
Viscosidad a 40°C (cSt)	164	155	116	126	160
Viscosidad a 100°C (cSt)	15	15,1	15	15,2	16
Indice de Viscosidad	90	97	133	124	103
Densidad (gr/ml)	0,895	0,895	0,898	0,897	0,898
Agua por destilación (%)	1 % Max	Trazas	Trazas	0,1	0,1
Punto de inflamación (°C)	230	230	208	215	210

Con respecto a la viscosidad a 40°C se nota una primer tendencia a la disminución y luego un incremento, alcanzando valores finales similares a los iniciales. Sin embargo la viscosidad a 100°C muestra una leve tendencia al incremento. Ambos resultados son contradictorios a lo esperado que es una disminución de la viscosidad con el tiempo de uso, debido a la disolución del lubricante con combustible. [17]

Por otro lado, los valores de densidad no se ven afectados durante el tiempo de funcionamiento analizado. Aunque sería de esperar que los valores de densidad aumenten a causa de las partículas de desgaste "debris" y la humedad que aumenta en contenido con el uso del aceite.

Los análisis realizados no revelan variaciones significativas en el contenido de humedad del fluido lubricante. La humedad en el lubricante causa efectos corrosivos sobre las partes metálicas del motor y degradación de los aditivos del aceite lubricante. El aumento del contenido de humedad se debe fundamentalmente a la diferencia de temperatura del aceite y del aire ambiente, en conjunción con el fenómeno físico de la presión de vapor de la humedad ambiente.

Finalmente, el punto de inflamación hace evidente una leve tendencia a la disminución, con el funcionamiento, en este caso la tendencia coincide con la marcada en la bibliografía [17]. La disminución del punto de inflamación con el uso, se fundamenta en la dilución del aceite con combustible, esta dilución debilita las fuerzas de Van der Waal's de los enlaces de la molécula de lubricante facilitando la vaporización del mismo. De lo analizado anteriormente podemos concluir que la duración del ensayo realizado no ha sido suficiente, como para marcar tendencias definidas sobre las variables estudiadas.

3.4. Análisis de integridad de Barreras Térmicas luego de uso prolongado

En la Figura 7 se puede apreciar el aspecto que presentaban una válvula nueva con y sin recubrimiento, y el estado de la misma luego de las 60 horas de uso del motor. Puede apreciarse que los bordes del recubrimiento cerámico, en la cabeza de la válvula, muestran desprendimientos, que sin duda están en pleno periodo de degradación y que seguramente terminan con el desprendimiento total de la capa aisladora térmica. El mismo puede deberse a fenómeno de fatiga térmica, dado que el coeficiente de dilatación térmica del TBC es muy diferente al del acero de las válvulas.



Figura 7. Válvulas nuevas con y sin recubrimiento sin uso y luego de 60 horas de funcionamiento.

Con respecto a los pistones, cómo es posible observar en la Figura 8, no se aprecia el mismo fenómeno, aparentando un buen comportamiento. Quizás la amplitud térmica sufrida por este componente es menor a la que están sometidas las válvulas y por ende requieren más ciclos para nuclear la falla.



Figura 8. Estado del recubrimiento luego de 60 horas comparado con el estado inicial.
No se observan desprendimientos.

Este tipo de barreras térmicas se depositan con capas intermedias "Bond coat" previamente a la deposición de la capa de cerámico visible "Top Coat". Estas capas se depositan con el objetivo de minimizar este efecto de variación en los coeficientes de dilatación entre los materiales utilizados. Sin dudas que se deben seleccionar materiales de la bond coat con otras propiedades para el caso de la válvula de manera de poder superar el problema de los desprendimientos observados.

Trabajos más específicos en este aspecto, estudiando el tipo de cerámico más adecuado y observando el nivel de penetración de productos de combustión en el cerámico, y el nivel de degradación que estos introducen, es objeto de un estudio que excede los objetivos de este trabajo.

Actualmente se están analizando muestras con microscopía electrónica de barrido, con fin de determinar el motivo fehaciente del desprendimiento y concluir si el uso del biodiesel pudo haber influido en este comportamiento. Teóricamente, la menor temperatura de funcionamiento, al operar el motor con mezclas de biodiesel, debería beneficiar la vida de las coberturas de barrera térmica.

4. Conclusiones

- El ensayo de absorción de las probetas de tela-poliéster (manguera negra), en todos los casos muestran una marcada absorción en las primeras etapas del ensayo, seguida por una pérdida de masa hasta la estabilización. Se logró un equilibrio en la absorción solamente para los cortes más bajos de biodiesel (B7,5 y B25). El porcentaje final de aumento de masa se situó cercano al 4% en el caso del B7,5, y del 6% en el caso del corte B25.

- En el ensayo de absorción de las probetas de manguera de policloruro de vinilo (PVC) (manguera amarilla), en todos los casos se puede apreciar un aumento de peso seguido por una importante baja en el peso total de las muestras para cortes superiores al B50.
- Con respecto al ensayo de absorción de los O'rings de NBR, puede observarse que hay una marcada absorción en las primeras etapas del ensayo, seguida por una estabilización. Es posible apreciar que se logró un equilibrio en la absorción solamente para los cortes más bajos de biodiesel (B7,5 y B15). En todos los casos se pudo observar una disminución de peso en el rango de las 500 hs, atribuibles a la migración de componentes livianos.
- Los ensayos mecánicos realizados sobre probetas de la manguera tela-poliéster muestran una importante disminución de propiedades mecánicas, haciéndose más notorio este efecto en cortes superiores a B50. En cuanto a la elongación máxima se puede apreciar que los valores tienden a estabilizarse para cortes superiores a B25.
- Los ensayos mecánicos de la manguera de PVC evidenciaron que las cargas máximas se mantienen, no registrándose pérdida importante en la resistencia. En cambio, el comportamiento en deformación se ve afectado en cortes superiores a B50.
- Los ensayos mecánicos de los O'rings de NBR muestran que no se produce una pérdida significativa de propiedades mecánicas tanto en resistencia como en elongación a la rotura para cortes inferiores a B50.
- Se observaron cambios en la coloración de las mangueras ensayadas confirmando la migración de colorantes.
- Los ensayos de degradación del aceite lubricante mostraron una disminución de viscosidad seguida de un aumento luego de varias horas, la densidad y el porcentaje de humedad no se ven alterados y el punto de inflamación tiene una leve tendencia a la disminución con las horas de funcionamiento. Se propone para trabajos futuros realizar ensayos de funcionamiento más prolongados y contrarrestar los valores con gas oil puro o comercial (B7,5).
- Las TBC se ven deterioradas en los bordes de las válvulas, posiblemente debido a un fenómeno de fatiga térmica. Los pistones no muestran daño aparente.

5. Agradecimientos

Se agradece al CONICET y a la Universidad Nacional de Mar del Plata por el financiamiento otorgado, al "Arsenal Naval Mar del Plata" por los análisis de aceite lubricante y a la empresa Patagonia Bioenergía S.A. por la donación del biodiesel utilizado.

6. 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.; Gonzáles 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.; Martinez, 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] Caldera, M.; Bour, M.; Castagnaro, E.; Martinez, R.. (2014). "Estudio del funcionamiento de un motor diesel con recubrimiento cerámico parcial de la cámara de combustión alimentado por cortes gasoil-biodiesel". 4º Congreso CAIM 2014, Resistencia, Chaco, Argentina, 02 al 05 de Septiembre de 2014.
- [11] Thomas EW, Fuller RE, Terauchi K. (2007), Fluoroelastomer compatibility with biodiesel fuels. SAE Technical paper No. 2007-01-40061.
- [12] Mitra S, Ghanbari-Siahkali A, Kingshott P, Rehmeier HK, Abildgaard H, Almdal K. (2006), Chemical degradation of crosslinked ethylene-propylene-diene rubber in an acidic environment, part I: effect on accelerated sulphur crosslinks. *Polymer Degradation and Stability* 2006;91(1):69e80.
- [13] Bessee GB, Fey JP. Society of Automotive Engineering; 1997. Technical paper No. 971690.
- [14] Shafer A. (1994), Biodiesel research Mercedes Benz-engine warranty policy. Presented at commercialization of biodiesel: establishment of engine warranties, University of Idaho National Center for Advanced Transportation Technology;1994:125e41.
- [15] Trakarnpruk W, Porntangjitlikit S. (2008), Palm oil biodiesel synthesized with potassium loaded calcined hydrotalcite and effect of biodiesel blend on elastomer properties. *Renewable Energy.* Vol 33. pp 1558.
- [16] Frame E, McCormick RL. Elastomer compatibility testing of renewable diesel fuels. National Renewable Energy Laboratory; 2005. Technical Report NREL/ TP-540e38834. www.nrel.gov/vehiclesandfuels/nrbf/pdfs/38834.pdf.
- [17] Avinash Kumar Agarwal, *Lubricating Oil Tribology of a Biodiesel-Fuelled Compression Ignition Engine*, Fall Technical Conference, ASME Internal Combustion Engine Division and Rail Transportation Division, Erie, Pennsylvania, USA, 07 al 10 de Septiembre de 2003.
- [18] Raitis Rudbahs, Ruslans Smigins (2014), Experimental research on biodiesel compatibility with fuel system elastomers, engineering for rural development. *Engineering for rural development.* Vol 29. pp 278-282.