

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE BIODIESEL EN GASÓLEO EN EL RENDIMIENTO TÉRMICO DE UN MOTOR DIESEL LIGERO ENSAYADO EN TRÁFICO REAL.

FONSECA GONZÁLEZ, Natalia, CASANOVA KINDELÁN, Jesús ⁽¹⁾

BETANCOURT ASTETE, Robinson ⁽²⁾

nfonseca@etsii.upm.es

⁽¹⁾Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica

⁽²⁾Universidad de la Frontera (Temuco, Chile), Departamento de Ingeniería Mecánica.

RESUMEN

La utilización de biocombustibles derivados de aceites vegetales es una opción válida para contribuir a la reducción de emisiones de CO₂ y extender la vida de los combustibles convencionales. El biodiésel (mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos) mezclado con gasóleo en motores diesel es una opción ya conocida, pero el análisis del comportamiento del motor en un vehículo ligero en tráfico real es aun un tema poco investigado.

El objeto de esta ponencia es presentar la metodología de ensayo y los resultados obtenidos en un trabajo de investigación sobre el efecto que la variación del porcentaje de biodiesel en gasóleo tiene en las prestaciones del motor y su rendimiento térmico en tráfico urbano real. Las medidas se han realizado con equipos embarcados en un vehículo y utilizando el biodiesel producido en la Universidad de la Frontera en Temuco (Chile) mezclado en proporciones diferentes con gasóleo suministrado por Repsolypf, S.A., caracterizado en laboratorio.

Los ensayos se han realizado en la ciudad de Madrid con un SEAT León TDI 2.0 con un solo conductor y aplicado dos estilos de conducción diferentes: agresiva y eficiente, caracterizadas según trabajos anteriores.

Los resultados obtenidos en consumo de combustible no son los que cabía esperar en base al poder calorífico y la densidad de la mezcla, y no siguen los obtenidos en otras investigaciones realizadas en banco de pruebas. Para explicar esta discrepancia se aportan los resultados de un estudio de la energía aportada por el motor en cada instante seguido de una análisis estadístico de todo el volumen de datos obtenidos para presentar los resultados en una nueva forma que muestra cómo la potencia demandada en el vehículo es menor y el rendimiento térmico del motor diesel mejora al aumentar el porcentaje de biodiesel.

Palabras clave: Emisiones, Biodiésel, Tráfico Real.

1. Introducción.

La utilización de biocombustibles derivados de aceites vegetales es una opción válida para contribuir a la reducción de emisiones de CO₂ y extender la vida de los combustibles convencionales. El biodiesel (éster metílico de ácidos grasos) mezclado con gasóleo en motores diesel es una opción ya conocida, pero el análisis del comportamiento del motor en un vehículo ligero en tráfico real es aun un tema poco investigado.

En Temuco (Chile) esta preocupación ha movilizó recursos para desarrollar un procedimiento de obtención de ésteres metílicos de aceite de colza (raps) cultivado en la región. El Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de La Frontera, apoyado por un proyecto de investigación de FONDEF en Chile, viene desarrollando desde el año 2004 una metodología de fabricación de ésteres metílicos de aceite de Brassica Napus, cuyos detalles pueden verse en las referencias [1] y [2].

En el laboratorio de Motores Térmicos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid se ha desarrollado un equipo de medida portátil y una metodología de ensayo para medir emisiones contaminantes (CO, HC, NO_x y partículas) y CO₂ en tiempo real como parte de un proyecto de Investigación Aplicada financiado por el Ministerio de Medio Ambiente, cuyos detalles pueden verse en la referencia [3].

Como consecuencia de ambos trabajos se planteó un trabajo experimental para determinar las emisiones y el consumo de un vehículo ligero turbodiesel en tráfico real en la ciudad de Madrid utilizando como combustible el biodiésel producido en Chile, que fue financiado en parte por la UPM como proyecto de colaboración con América Latina.

Existe mucha información técnica publicada sobre emisiones y consumo de motores diesel alimentados con mezclas de gasóleo y biodiésel en porcentaje diferentes que se refieren a ensayos en banco de pruebas como los presentados por Casanova [4] y Lapuerta [5] y a ensayos de vehículos ligeros en banco de rodillos siguiendo un ciclo NEDC como los que se presentan en los trabajos de Luján [6], Kawano [7] y Kenneth [8]. Este tipo de ensayos las condiciones de potencia y régimen de giro del motor vienen definidas en el protocolo de las pruebas, por lo que no pueden reproducir las modificaciones que se produzcan en la respuesta del motor ante transitorios de carga y régimen de giro o en su conductibilidad. Son útiles para entender el efecto de la mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos con gasóleo en los fenómenos de combustión, formación de emisiones y postratamiento de gases, pero no reproducen la realidad del comportamiento del motor y del conductor cuando opera el vehículo con un combustible diferente al original. Las mezclas de gasóleo con biodiésel tienen mayor densidad y viscosidad que el gasóleo original y su poder calorífico en menos a medida que aumenta el porcentaje de biodiésel en la mezcla.

El reciente desarrollo de las metodologías de medida de emisiones en tráfico real con equipos embarcados, planteadas inicialmente para ensayos de certificación y de comprobación de emisiones en motores de vehículos pesados, ha permitido ampliar el tipo de ensayos e investigar el comportamiento real de los motores cuando operan en condiciones de tráfico urbano real, como los trabajos de Fontaras [9] y Senda [10]. En estas condiciones el motor trabaja parte de su tiempo en condiciones de muy bajo grado de carga y de régimen de giro, incluido los periodos de ralentí, lo que reduce la temperatura de los gases de escape y como consecuencia la eficiencia de los sistemas de postratamiento. Un alto porcentaje del tiempo está en condiciones transitorias de carga y régimen de giro, y parte del mismo con temperatura de la cámara de combustión y del aceite lubricante por debajo de las normales. Además, como se concluye de los trabajos de Fonseca [11], el estilo de conducción es una variable significativa en los valores reales de emisiones y consumo de los motores diesel en utilización real, por lo que debe ser tenida en cuenta.

Por todo ello, el objeto de esta ponencia es presentar la metodología de ensayo y los resultados obtenidos experimentalmente sobre el efecto que la variación del porcentaje de biodiesel en mezcla

con gasóleo tiene en las prestaciones y en el rendimiento térmico de un motor de combustión interna turbodiesel en tráfico urbano real. Las prestaciones se han determinado en base al registro instantáneo de variables dinámicas del vehículo y del motor, y el rendimiento en base al cálculo del consumo de combustible en cada momento en función de las emisiones instantáneas medidas de CO, CO₂ y HC en el escape, conociendo la fórmula química real del combustible (gasóleo y biodiésel).

Las medidas se han realizado con equipos embarcados en un vehículo y utilizando el biodiésel producido en la Universidad de la Frontera en Temuco (Chile) mezclado en proporciones diferentes con gasóleo suministrado por Repsolypf, S.A., caracterizado previamente en laboratorio.

Los ensayos se han realizado en la ciudad de Madrid con un SEAT León TDI 2.0 con un solo conductor y aplicado dos estilos de conducción diferentes: agresiva y eficiente, caracterizadas según los trabajos de Fonseca [11].

2. Metodología.

A continuación se presentan los detalles de las medidas realizadas, el vehículo y los combustibles utilizados, y la instrumentación y los protocolos de los ensayos.

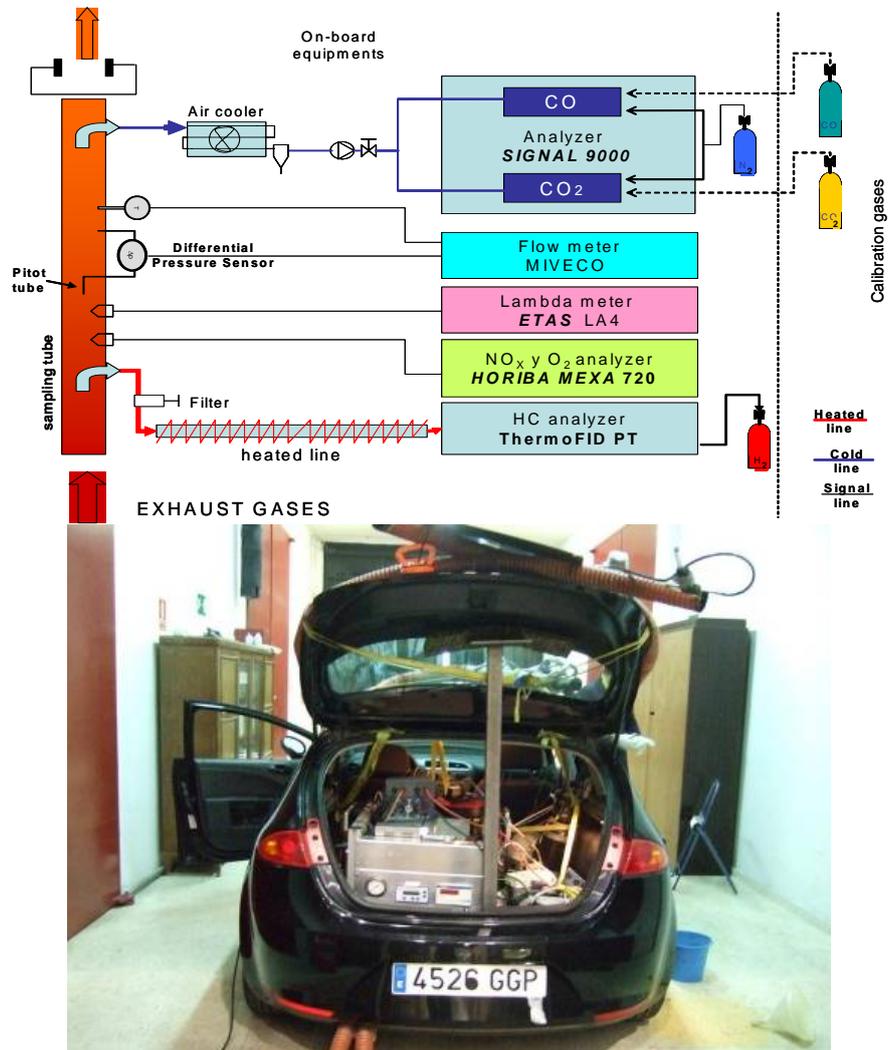


Figura 1. Esquema de los equipos que componen el sistema MIVECO – PEMS y foto del sistema en el vehículo

2.1. Medida de emisiones a bordo.

Para este trabajo se ha utilizado el sistema de medida de emisiones y variables de funcionamiento del vehículo y del entorno MIVECO-PEMS desarrollado por los autores. La figura 1 muestra el esquema de los sub-sistemas que componen el equipo completo y una fotografía del equipo instalado en el vehículo. El conjunto de equipos y, principalmente, la parte del mismo que va instalada en la parte externa del vehículo, han sido certificados por el INSIA en cuanto a la seguridad vial como carga especial para su utilización en tráfico real para labores de investigación.

El conjunto de equipos MIVECO –PEMS consta de las siguientes partes:

- **Conjunto de analizadores de gases** que se compone de los equipos de análisis químico de concentraciones de CO, CO₂, HC (en caliente), NO_x y partículas. En el conjunto se incorpora el sistema de desecación de gases para la medida de CO y CO₂ y el control de temperatura de la línea calefactada.
- **Sistema de toma de muestras y caudalímetro**, que consta de un tubo con un medidor de caudal tipo tubo de Pitot, los sensores de NO_x para motores diésel, de oxígeno y de dosado, así como un termopar y las tomas de muestras fría y calefactada. El caudal se mide por la presión diferencial con un tubo de pitot modificado y la presión absoluta en el tubo de muestreo según se explica en la referencia [12].
- **Sistema de alimentación eléctrica** por baterías e inversores de 12 V CC a 220 V CA, independiente del sistema eléctrico del vehículo.
- **Sistema de sensores del vehículo** con estación meteorológica (presión, temperatura y velocidad de viento frontal), sensores de régimen de giro del motor, sistema GPS para medir posición y velocidad, y un medidor de velocidad por sistema radar doppler. La pendiente de la vía se determina por la presión atmosférica.
- **Sistema de medida y registro de variables**, que consta de una caja de conexiones y adaptación de señales y un ordenador portátil con el programa de registro realizado en lenguaje Labview®. Para la adquisición de datos se ha usado una tarjeta National Instruments modelo USB6211 conectada a un ordenador portátil.

Los datos se almacenan a una frecuencia de 0,1 Hz. El caudal de gases de escape es muy pulsante, por lo que es necesario medirlo a la frecuencia de 1 kHz, pero solo se archiva el valor medio de la décima de segundo anterior. Los datos de los equipos de análisis de gases y el caudalímetro deben tratarse por un procedimiento de tratamiento de señales posterior que se basa en una sincronización y deconvolución de las señales registradas en un proceso de postratamiento.

Cada uno de los analizadores y componentes del sistema de análisis de gases tienen salidas de tipo analógico, las cuales son recogidas usando una tarjeta de adquisición de datos integrada a un portátil que se lleva embarcado. Para esto, se desarrolló un programa sobre LabView® que permite visualizar en tiempo real la concentración de los diferentes gases medidos y el caudal instantáneo, así como almacenar en continuo las diferentes señales.

Como post-procesamiento, se realiza una sincronización de las diferentes señales, la corrección de la concentración de CO y CO₂ por tipo de medida, el cálculo de las emisiones instantáneas, cálculo de emisiones totales y factores de emisión.

Como el equipo MIVECO-PEMS de medida de CO y CO₂ requiere que el gas a medir esté a una temperatura inferior a 50°C y libre de humedad, los gases de escape se acondicionan antes de entrar al equipo de análisis de gases pasando por un enfriador y un decantador y un filtro que retiene toda la humedad, concentración en mezcla seca. La concentración real (concentración en mezcla húmeda) se

calcula con base a la estequiometría de la reacción química, teniendo en cuenta la proporción de C, H y O de la fórmula real del combustible en sus diferentes mezclas gasóleo + biodiésel.

Para calcular las emisiones máscas instantáneas se necesita el peso molecular de los diferentes gases, M_x . Las ecuaciones utilizadas para calcular las emisiones máscas instantáneas (denotadas de forma genérica como x) del CO, CO₂, NO_x, HC y O₂ con base en la concentración medida en % vol o en ppm son las siguientes:

$$\dot{m}_x \left[\frac{g}{s} \right] = \frac{\%x}{100} \left[\frac{m^3_x}{m^3_{esc}} \right] * \dot{q} \left[\frac{m^3_{esc}}{s} \right] * \frac{p_e}{RT} \left[\frac{mol}{m^3_x} \right] * M_x \left[\frac{g_x}{mol_x} \right] \quad (1)$$

$$\dot{m}_x \left[\frac{g}{s} \right] = \frac{ppm_x}{10^6} \left[\frac{m^3_x}{m^3_{esc}} \right] * \dot{q} \left[\frac{m^3_{esc}}{s} \right] * \frac{p_e}{RT} \left[\frac{mol}{m^3_x} \right] * M_x \left[\frac{g_x}{mol_x} \right] \quad (2)$$

El consumo de combustible se calcula instantáneamente en base al método de balance de carbonos, que puede verse en Heywood [13], utilizando los datos de concentraciones instantáneas de emisiones de CO, CO₂ y HC, considerando despreciables las de partículas para este cálculo.

El consumo por unidad de tiempo promediado se divide por la velocidad media en km/h para obtener el factor de consumo en kg/km o en l/100 km.

2.2. Vehículo de ensayo.

Las características del vehículo se muestran en la tabla 1 y la figura 2 unas fotos del mismo.

Tabla 1: Datos del vehículo de ensayo.

| | | | |
|----------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|
| Marca | SEAT | Denominación comercial | Leon |
| Tipo de motor | Diésel | Cilindrada (cm ³) | 1.968 |
| Alimentación | Turbo + postenfriado | Sistema de inyección | Inyector unitario |
| Normativa emisiones | EU4 | Filtro de partículas | No |
| Año de matriculación | 2008 | Caja de cambios | Manual (6) |
| Tara (kg) | 1.315 | Potencia (kW) | 103 |
| Km antes de ensayos | 17.962 | Número relaciones | 6 |

2.3. Combustibles.

Para estos ensayos se ha utilizado gasóleo comercial para automoción Repsol e+ (10 ppm de S), adquirido en la estación de servicio. Se midió su análisis elemental, necesario para establecer el dosado estequiométrico, su Poder Calorífico Inferior y su densidad. Además, para poder controlar el porcentaje de biodiésel en la mezcla con gasóleo con precisión, fue necesario saber el porcentaje de biodiésel que el gasóleo comercial adquirido tenía, pues según la norma actualmente vigente (EN590) puede contener hasta un 5% (vol).

El biodiésel fue obtenido en la planta piloto de producción en la finca Molino Gorbea en Temuco (Chile) por el método desarrollado en la Universidad de la Frontera. Se midieron las siguientes propiedades del mismo: análisis elemental, Poder Calorífico Inferior, contenido en monoglicéridos, diglicéridos, triglicéridos, glicerina libre y glicerina total, contenido en agua y contenido en ésteres.



Figura 2. Detalle de la adquisición de datos y vista del vehículo utilizado en los ensayos.

Las tablas 2 y 3 muestran los resultados del análisis elemental, de poder calorífico y de densidad y la tabla 4 los datos y denominación de las mezclas ensayadas.

Tabla 2: Análisis elemental de los combustibles.

| Análisis Elemental | Biodiésel Chile | Gasóleo comercial |
|--------------------|-----------------|-------------------|
| % (m/m) C | 76,35 | 84,03 |
| % (m/m) H | 13,41 | 14,56 |
| % (m/m) N | 0 | 0,27 |
| % (m/m) S | 0 | 0,00486 |
| % (m/m) O | 10,24 | 1,13514 |
| C | 1,0 | 1,0 |
| H | 2,109 | 2,081 |
| O | 0,10074 | 0,01015 |

Tabla 3: Poder calorífico y densidad de los combustibles.

| | kJ/kg | Densidad | kJ/dm ³ |
|-----------|---------|----------|--------------------|
| Gasóleo | 42753,0 | 841,8 | 35987,8 |
| Biodiésel | 37388,0 | 880,4 | 32917,5 |

Tabla 4: Poder calorífico y densidad de los combustibles de las mezclas de ensayo.

| Denominación | % biodiésel medido | % biodiésel Chile | % gasóleo comercial | Densidad mezcla (kg/m ³) | PCI (kJ/kg) |
|--------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------|
| B0 | 3,85 | 0,00 | 100,00 | 841,8 | 42.824,6 |
| B10 | 11,30 | 7,75 | 92,25 | 844,8 | 42.390,4 |
| B30 | 31,30 | 28,55 | 71,45 | 852,9 | 41.240,0 |
| B50 (29/09) | 42,50 | 40,20 | 59,80 | 857,5 | 40.605,4 |
| B50 (10/10) | 51,70 | 49,77 | 50,23 | 861,3 | 40.089,1 |
| B100 | 98,75 | 98,70 | 1,30 | 880,4 | 37.517,4 |

El cambio de combustible se realizó siguiendo un protocolo preciso para asegurar el completo vaciado del tanque, de la línea y del filtro de combustible y de la bomba de inyección de la mezcla anterior antes de cargar la nueva. En todo caso siempre se conservó una muestra de la mezcla real ensayada para posteriormente determinar con precisión el porcentaje real usado en cada tanda de medidas

2.4. Circuitos urbanos.

En base a las experiencias anteriores en medidas con equipos embarcados, referencia [11], se seleccionaron y caracterizaron dos recorridos urbanos en la ciudad de Madrid. Cada circuito se caracterizó en pendientes mediante el análisis de planos geográficos y de medidas in situ con una combinación de un sistema GPS y de la medida de la presión atmosférica instantánea. Cada circuito se subdividió en zonas con diferentes tipos de calles, número de carriles, distancia, pendientes positivas o negativas, número de cruces y de semáforos y flujo medio diario de vehículos. Debido a la aleatoriedad del tráfico real, se realizaron varias pasadas por cada recorrido y con cada mezcla para asegurar la consistencia estadística.

3. Resultados obtenidos

Debido al menor poder calorífico (en kJ/kg) del biodiésel frente al gasóleo – por su contenido en oxígeno en la molécula del éster metílico – y por su mayor densidad, las mezclas con mayor contenido en biodiésel tiene menor poder energía por litro. Por ello, es esperable que el consumo de combustible medido en litros por 100 kilómetros (L/100km) aumente al aumentar el porcentaje de biodiésel. Pero el consumo de combustible en L/100km ya se ha demostrado en la referencia [11] que depende significativamente de la velocidad media en tráfico urbano, menores velocidades medias van asociadas con mayor número de paradas por kilómetro y mayores aceleraciones positivas, es decir mayor cantidad de energía utilizada en un recorrido dado.

Del conjunto de todos los ensayos realizados con el SEAT León desde gasóleo puro hasta biodiésel puro, se ha podido constatar este efecto inverso de la velocidad media en el consumo, como se ve en las gráficas de la figura 3. En esta figura se ha representado, también, otra forma de ver este resultado: valor de la “eficiencia global positiva”. Este término, utilizado en este trabajo por primera vez, se refiere al cociente entre la potencia que se ha utilizado en propulsar el vehículo, pero sumando solo los valores que son positivos, pues los negativos son debidos al efecto de resistencias y frenado, que no puede recuperarse, y la potencia aportada por el combustible inyectado en los cilindros del motor. El

primer valor se calcula en cada instante a partir de la dinámica del vehículo en base a conocer su peso, su resistencia a la rodadura, los datos aerodinámicos, el viento frontal, la pendiente de la calle, la velocidad y valor instantáneo de la aceleración calculado de la velocidad instantánea. El segundo valor se calcula en cada instante a partir del consumo instantáneo calculado de los datos medidos y con el poder calorífico de la mezcla que en cada caso se esté usando. Se observa que esta eficiencia aumenta al aumenta la velocidad media.

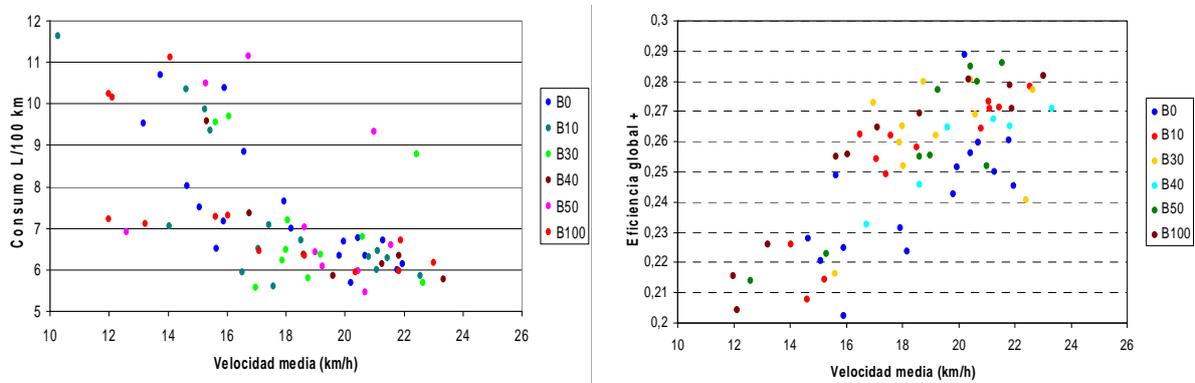


Figura 3. Consumo de combustible y eficiencia global positiva del conjunto de ensayos con mezclas de biodiésel

La gráfica de la figura 4 muestra el consumo de combustible promediado para el conjunto de todos los recorridos y pasadas con cada porcentaje de biodiésel. En función del porcentaje de biodiésel (desde B0: gasóleo puro, hasta B100: biodiésel puro). Se observa que la tendencia no es la que se podría esperar y que se ha obtenido por otros investigadores en ensayos en banco de rodillos siguiendo ciclo MVEG, por ejemplo los presentados en la referencia [9]: un aumento sostenido del consumo con el porcentaje de biodiésel.

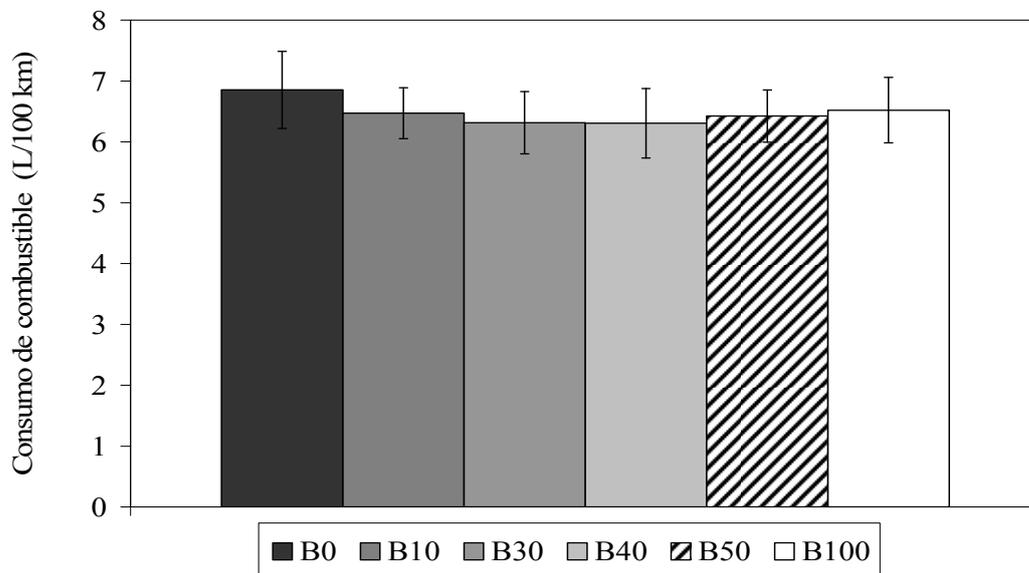


Figura 4. Consumo de combustible en función del porcentaje de biodiésel.

Aunque no es el objeto de esta comunicación, también se midieron las emisiones contaminantes y los resultados se presentan en la figura 5, pudiendo observarse también una tendencia diferente a lo que hubiera sido esperado.

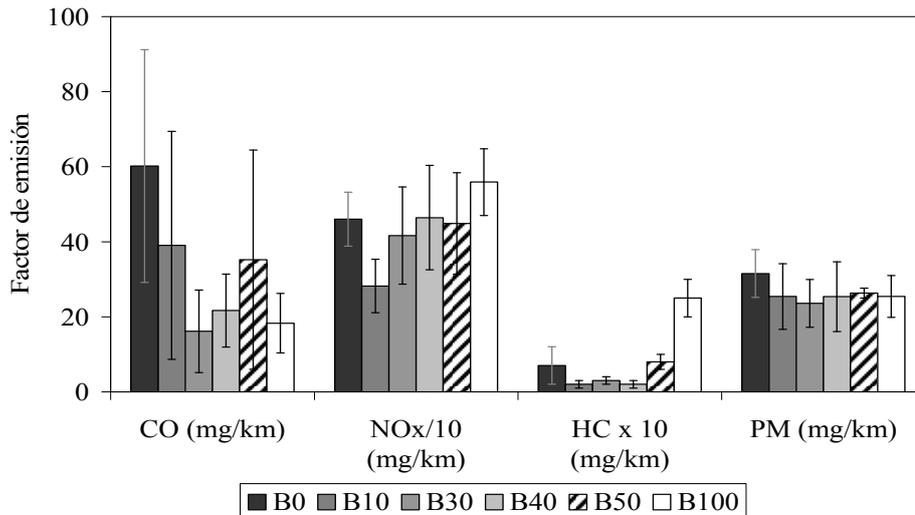


Figura 5. Emisiones en función del porcentaje de biodiésel

4. Discusión de los resultados.

Para entender mejor las razones de esta discrepancia se estudió en mayor detalle la dinámica de la conducción para cada recorrido y cada mezcla. Las gráficas de las figuras 6 (a) y 6 (b) muestran el régimen medio de revoluciones del motor y la aceleración media durante los ensayos.

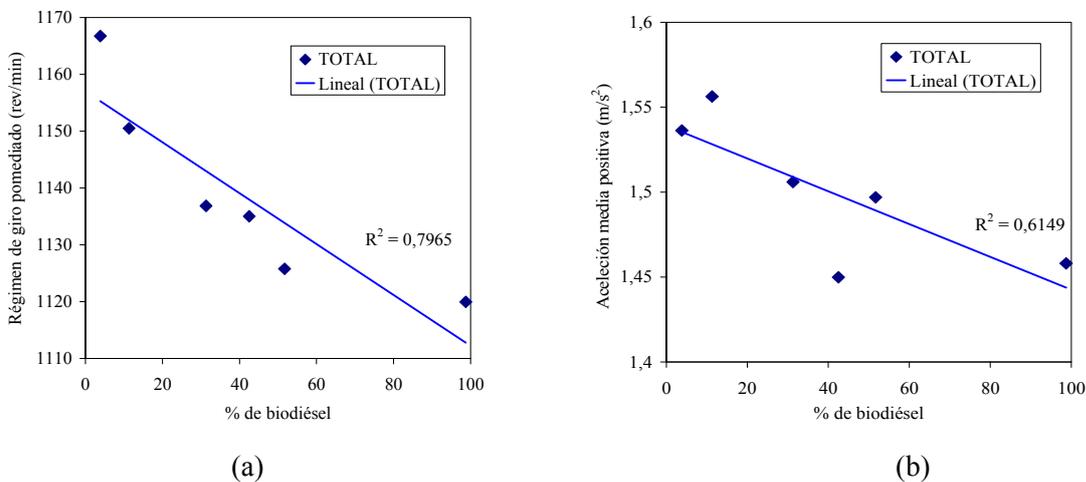


Figura 6. Régimen de giro medio del motor (a) y aceleración media positiva del vehículo (b) obtenido en los ensayos en función del porcentaje de biodiésel.

Se observa algo inesperado: al aumentar el porcentaje de biodiésel en la mezcla el conductor, a pesar de tener la intención de usar el mismo estilo de conducción, tiene la tendencia a utilizar regímenes de giro del motor menores y menores aceleraciones positivas. Esto solo puede ser debido a que la variación de las características del combustible (mayor densidad y viscosidad) modifica el reglaje y la respuesta del motor ante la demanda de par del conductor, y éste tiende a conducir de forma diferente. El conductor efectivamente era consciente de que el motor “tiraba menos” y “era como más perezoso”, en sus propias palabras. Efectivamente, se observa en la figura 7 (a), obtenida de la dinámica de movimiento del vehículo, que la energía consumida en tracción del vehículo por km era menor al aumentar el porcentaje de biodiésel, pero el conductor tenía la intención de conducir con la misma

pauta y el mismo estilo. La figura 7 (b), calculada a partir del consumo medido y del poder calorífico de cada mezcla, aclara que la energía aportada por km ha descendido al aumentar el porcentaje de biodiésel,

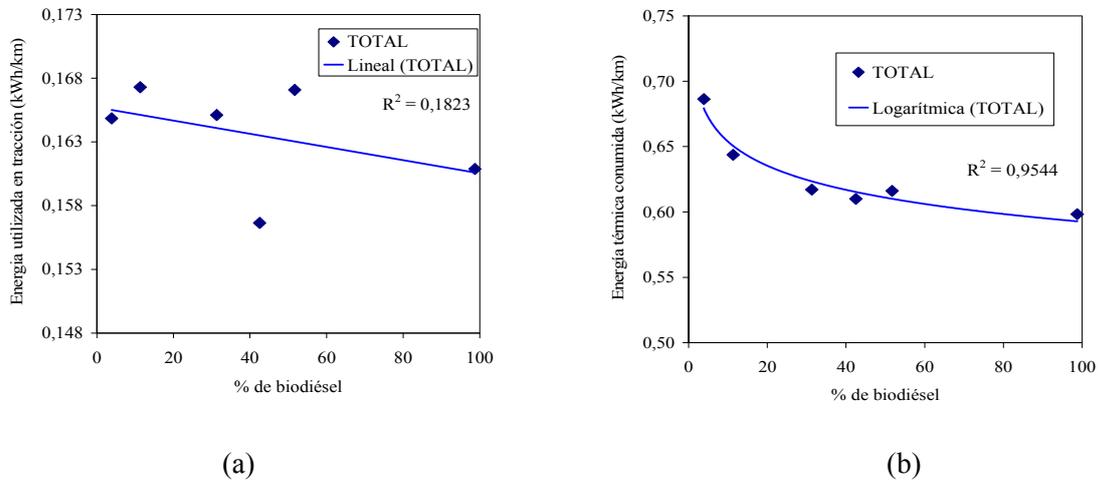


Figura 7. Energía utilizada en tracción (a) y energía térmica aportada por el combustible (b) en función del porcentaje de biodiésel.

Con los valores anteriores se puede calcular la eficiencia global de la conducción al aumentar el porcentaje de biodiésel, y en la figura 8 se observa claramente su tendencia creciente. Esta tendencia, que de mejora del rendimiento ya fue observada por Casanova [4] en ensayos en banco de pruebas, y puede ser debida no solo a lo comentado anteriormente sobre menores aceleraciones, sino también a algún tipo de mejora en los procesos de inyección y combustión en el motor al modificar por la presencia de oxígeno en la formulación del combustible. Pero esto debe ser estudiado en mayor profundidad.

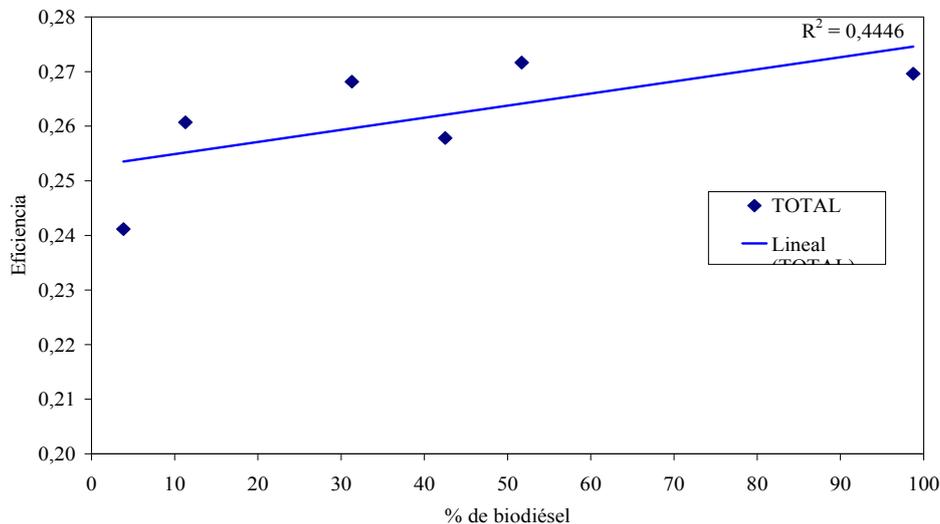


Figura 8. Eficiencia global de la conducción en función del porcentaje de biodiésel.

En todo caso, esto aporta alguna luz a por qué el consumo no aumenta en el porcentaje en que disminuye el poder calorífico de la mezcla gasóleo – biodiésel. Sin embargo, como cabría esperar las emisiones de CO_2 en utilización (del tanque a la rueda) no siguen exactamente la tendencia del consumo, figura 9 y su tendencia es la que cabría esperar porque la emisión específica de CO_2 por litro de combustible es mayor al aumentar el contenido en oxígeno de las mezclas con más biodiésel.

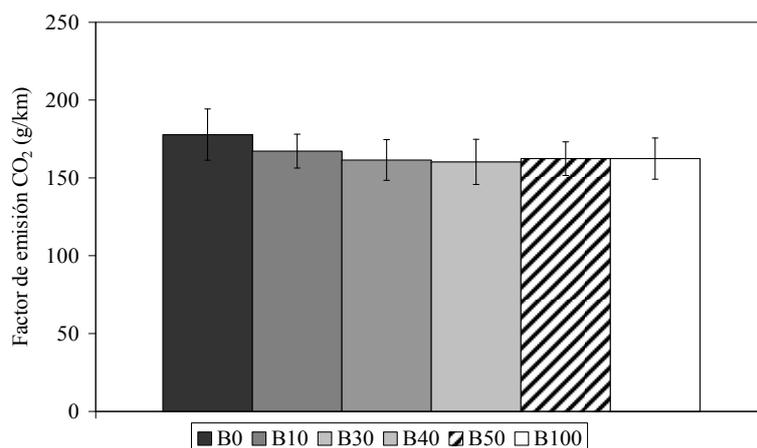


Figura 8. Emisiones de CO₂ en función del porcentaje de biodiésel.

5. Conclusiones y consideraciones finales

Con este trabajo se ha tratado por una parte confirmar la aplicabilidad del biodiésel desarrollado en la Universidad de Temuco (Chile) y por otra determinar la realidad de la tendencia del consumo de combustible en motor turbo-diésel modernos alimentados con mezclas diferentes de de gasóleo y biodiésel. El elevado número de ensayos realizados, el estudio de la dinámica del comportamiento del vehículo y del motor y el cuidado puesto en la determinación de las propiedades del combustible, aseguran la validez de los resultados.

Los resultados obtenidos son en principio algo sorprendentes por las tendencias del consumo con el porcentaje de biodiésel, que no es continuamente creciente como se hubiera predicho. El estudio realizado, analizando la potencia realmente utilizada del motor diésel y la eficiencia térmica del conjunto moto-propulsor, ha permitido explicar dicha tendencia.

Por ello se puede afirmar que en motores diesel con sistemas de inyección tipo *inyector unitario* con control electrónico avanzado, la modificación de las propiedades del combustible al aumentar el porcentaje de biodiésel en la mezcla contribuyen a cambiar la repuesta del motor ante las solicitaciones del conductor y a reducir la potencia utilizada en la tracción a pesar de la intención del conductor de mantener una mismo estilo de conducción. Será necesario realizar estos ensayos en otros motores, sobre todo en aquellos dotados de sistemas de inyección tipo common rail. Por otra parte, no puede descartarse que en pruebas de más larga duración, algún tipo de auto-adaptación de los algoritmos de control electrónico de la inyección, del sistema de recirculación de gases de escape y del turbo da paso variable, podrían haber llevado a modificaciones no sustanciales de estos resultados.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen especialmente a Víctor Pozo Arroyo su contribución a la realización de los ensayos y el tratamiento posterior de los datos. El biodiesel fue fabricado en Chile con la subvención del proyecto FONDEF D05/10391. Este trabajo se ha podido realizar por el apoyo para la realización de Actividades con Latinoamérica de la UPM (código AL07-PAC-017). Los equipos de medida se desarrollaron como parte del proyecto MIVECO financiado por el M° de Medio Ambiente (referencia MMA 071/2006/3-13.2). El vehículo fue cedido para estos ensayos por Castellana Motor, concesionario de SEAT en Madrid.

7. Referencias

- [1] BETANCOURT, R., CASANOVA, J., NAVIA, R., HIDALGO, P., ANTILEO, C., CURAQUEO, C. y AZOCAR, L. "Elaboración de biodiesel a partir de brassica napus". *IV Congreso Nacional y I Congreso Ibérico de Agroingeniería (Albacete, Septiembre 2007)*.
- [2] BETANCOURT, R., CASANOVA, J., y FARIAS, O. "Estudio Teórico Experimental de la Utilización de Esteres Metílicos de Brassicas Napus como Combustible" En *Actas del I Congreso Latinoamericano Biorrefinerías (Concepción, Chile, noviembre 2006)*.
- [3] FONSECA, J. y CASANOVA, J. "Problemas asociados a la medida de emisiones másicas instantáneas en motores de vehículos" En *Actas de las I Jornadas Técnicas. Ensayos de Emisiones con Equipos Embarcados (Pamplona, noviembre 2010)*.
- [4] CASANOVA, J. y BARRIOS, C. "Análisis experimental de la influencia del porcentaje de éster metílico de aceite de girasol en mezcla con gasóleo sobre el ciclo termodinámico de un motor diesel" En *Actas de las VI Jornadas Nacionales de Ingeniería Termodinámica (Córdoba, junio 2009)*. Universidad de Córdoba.
- [5] LAPUERTA, M., ARMAS, O. y RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, J. *Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions*. Progress in Energy and Combustion Science 2008, vol. 34, número 2, pp.198-223.
- [6] LUJAN, J.M., BERMÚDEZ, V., TORMOS, B. y PLA, B. *Comparative analysis of a DI diesel engine fuelled with biodiesel blends during the European MVEG-A cycle. Performance and emissions (II)*. Biomass and Bioenergy 2009 Vol. 33, pp. 948-956.
- [7] KAWANO, D., ISHII, H. y GOTO, Y. *Effect of Biodiesel Blending on Emission Characteristics of Modern Diesel Engine*. SAE Technical Paper 2008-01-2384.
- [8] KENNETH, D. R. y otros. *Impact of Biodiesel Blends on Fuel Consumption and Emissions in Euro 4 Compliant Vehicles*. SAE Technical Paper 2010-01-1484.
- [9] FONTARAS, G. y otros *Effects of biodiesel on passenger car fuel consumption, regulated and non-regulated pollutant emissions over legislated and real-world driving cycles*". Fuel 2009, vol 88, número 9, pp.1608-1617.
- [10] SENDA, J., OKUI, N., TSUKAMOYO, T. y FUJIMOTO, H. *On-Board Measurement of Engine Performance and Emissions in Diesel Vehicle Operated with Bio-diesel Fuel* SAE Technical Paper 2004-01-0083, 2004.
- [11] FONSECA, CASANOVA, J y ESPINOSA, F. "Influence of Driving Style on Fuel Consumption and Emissions in Diesel-Powered Passenger Car". En *Proceedings of the 18th International Symposium Transport and Air Pollution (Zurich, junio 2010)* EMPA, Universidad Técnica de Zurich.
- [12] FONSECA, J. y CASANOVA, J. "Desarrollo de una metodología de ensayo de emisiones en tráfico real. Aplicación al estudio del estilo de conducción" En *Actas de las VI Jornadas Nacionales de Ingeniería Termodinámica (Córdoba, junio 2009)*. Universidad de Córdoba
- [13] HEYWOOD, J.B. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw Hill. 1988.