

Instituto de Investigación Aplicada a la Industria Aeronáutica

Universidad de Castilla-La Mancha

Funcionalidad de bombas de inyección Diesel usadas, antes y después de ensayo de larga duración, con combustible renovable

Informe técnico

Informe realizado por:
Grupo de investigación en Procesos Energéticos y Medioambientales (GPEM)

Índice

	Página
1. Introducción y objetivos.	3
2. Revisión bibliográfica sobre sistemas de inyección Diesel empleados en vehículos en España.	4
2.1 <i>Resumen estadístico del parque de vehículos en España.</i>	4
2.2 <i>Descripción del parque de vehículos diésel por fabricante.</i>	5
2.3 <i>Fabricantes de sistemas de inyección para vehículos diésel.</i>	6
2.4 <i>Vehículos ligeros (turismos) diésel, más vendidos en España.</i>	6
2.5 <i>Bombas de inyección diésel elegidas para el estudio. Segunda mano.</i>	8
3. Instalación experimental y procedimiento.	9
4. Combustible empleado en los ensayos.	11
5. Resultados obtenidos.	11
5.1 <i>Entrega de combustible. Bomba de inyección CONTINENTAL.</i>	11
5.2 <i>Entrega de combustible. Bomba de inyección DELPHI.</i>	11
5.3 <i>Entrega de combustible. Bomba de inyección DENSO.</i>	12
5.4 <i>Entrega de combustible. Bomba de inyección BOSCH 2.</i>	12
5.5 <i>Entrega de combustible. Bomba de inyección BOSCH 1.</i>	13
6. Conclusiones	14
Referencias	14
Anexo 1	16

1. Introducción y objetivos.

El objetivo del presente estudio es comprobar la funcionalidad hidráulica de diferentes bombas de inyección de combustible de vehículos con motor Diesel, usadas tras un ensayo de larga duración con combustible 100% renovable de composición parafínica (HVO). Al comprobar la funcionalidad hidráulica, implícitamente se estaría verificando la compatibilidad del combustible con los materiales (metálicos y no metálicos de las diferentes partes y piezas de las bombas). De esta forma, se estaría evaluando el efecto que tendría el hecho de comenzar a utilizar combustible 100% renovable de composición parafínica, en un vehículo del parque circulante que hubiera estado funcionando con combustible convencional.

Para cumplir con este objetivo, se planteó un plan de trabajo basado en las siguientes tareas:

i) Realizar un estudio bibliográfico, a partir de información pública, para seleccionar los tipos de bombas a evaluar.

El requisito fundamental en este caso era tratar de que las bombas de inyección Diesel a seleccionar fueran representativas del parque automovilístico español. Para acelerar el estudio, se han seleccionado bombas usadas con combustible Diésel convencional, en lugar de partir de bombas nuevas y someterlas a una acumulación de horas de funcionamiento con combustible Diésel convencional, simulando lo que les podría haber ocurrido representativamente, en su uso en campo real sobre un vehículo diésel del parque circulante. Se planteó hacer el trabajo seleccionando bombas y no otras partes del sistema de inyección Diésel atendiendo a: 1) importancia técnica y valor económico de las bombas frente al resto de partes del sistema de inyección Diesel y 2) la disponibilidad de un banco de inyección adaptable para poder disponer de una instalación experimental como la que se planteó en el punto iii).

ii) Evaluación del correcto estado de funcionamiento de las bombas seleccionadas.

En este caso se estableció como requisito fundamental la inspección de las bombas y la comprobación de funcionalidad hidráulica (cumplimiento de la entrega de combustible requerida y la no existencia de fugas).

iii) Preparar una instalación experimental que posibilite la acumulación de horas de exposición de las bombas seleccionadas al trabajo con combustible renovable de forma segura.

En este caso el requisito fundamental era que la instalación permitiera el control de las condiciones de trabajo de las bombas seleccionadas y expuestas al combustible 100% renovable de composición parafínica al mismo tiempo.

iv) Acumulación de horas de trabajo con las bombas seleccionadas.

El requisito establecido en este caso fue que se simulara la exposición de las bombas ensayadas a, al menos, 2000 h de funcionamiento, a razón de, al menos, 15 h diarias. Suponiendo 90 km/h de funcionamiento (límite de velocidad en vehículos ligeros industriales y de un gran número de carreteras españolas) ese trabajo sería equivalente a 180000 km recorridos. Para esta tarea se definió que la temperatura del combustible durante los ensayos se mantuviese en el entorno de las condiciones térmicas de trabajo de las bombas de inyección en el vehículo (50 - 60°C).

v) Evaluación del correcto estado de funcionamiento de las bombas seleccionadas tras la acumulación de horas con el combustible 100% renovable de composición parafínica.

En este caso, el requisito fundamental fue el mismo que el definido en el punto ii).

Las tareas i), iii) y iv) se realizaron en las instalaciones del Instituto de Investigación Aplicada a la Industria Aeronáutica (INAIA) de la Universidad de Castilla-La Mancha, Campus Fábrica de Armas de la ciudad de Toledo. Las

tareas ii) y v) sobre la comprobación hidráulica de las bombas de inyección antes y después del tiempo de exposición al combustible 100% renovable, se realizó en una empresa de verificación independiente y externa de Ciudad Real.

2. Revisión bibliográfica sobre sistemas de inyección Diesel empleados en vehículos en España.

2.1 Resumen estadístico del parque de vehículos en España.

Actualmente, en España, aproximadamente algo más de 36 millones de vehículos componen el parque móvil. De esa cantidad total, aproximadamente 25,35 millones son vehículos ligeros (turismos), tal y como se muestra en la Tabla 1 [1], ver Anexo 1.

Los vehículos de turismo se dividen, según el tipo de motor, en diésel o encendido por compresión (13,1 millones) (Tabla 2, ver Anexo 1), gasolina o encendido provocado (11,9 millones) (Tabla 3, ver Anexo 1) y otras motorizaciones (algo más de 0,3 millones) (Tabla 4, ver Anexo 1) a finales del año de 2023.

Aunque las ventas actuales de vehículos de turismo diésel se han desplomado y tienden hacia un valor reducido (un 10% de las matriculaciones en 2023), su presencia en las carreteras seguirá siendo mayoritaria, porque su protagonismo ha caído solo en la última década. Resulta pertinente recordar que en 2014 (hace 10 años) la cuota superaba el 66,3% de matriculaciones de vehículos diésel, el 33,4% de vehículos de gasolina y solo el 0,3% otras tecnologías como híbridos, eléctricos [2]. Analizando el parque móvil actual se puede observar que, aunque las ventas y matriculaciones en general de vehículos han descendido (ver Figura 1), en las carreteras españolas siguen siendo mayoritarios los vehículos diésel con un total de 13,1 millones de vehículos en el parque móvil nacional en comparación con los 12,5 del resto de tecnologías (ver Tablas 2, 3 y 4, Anexo 1) [1].

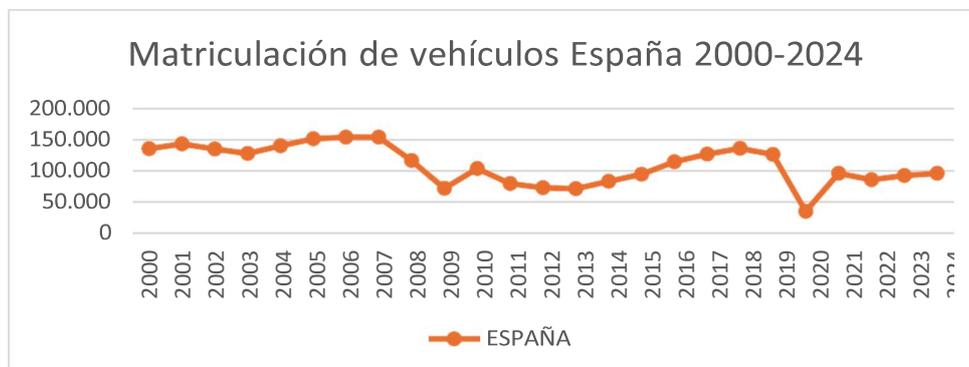


Figura 1 Evolución del número acumulado de vehículos de turismos matriculados. [3].

Estas estadísticas indican que el parque móvil en España está compuesto mayoritariamente por vehículos con tecnología diésel y cuya edad oscila entre los 8 y 25 años. Desde 2014 se observa un claro descenso de las ventas de vehículos diésel, siendo el año 2017 aquel donde las ventas de vehículos ligeros de gasolina comenzaron a superar las de vehículos diésel, tal y como se muestra en la Figura 2.

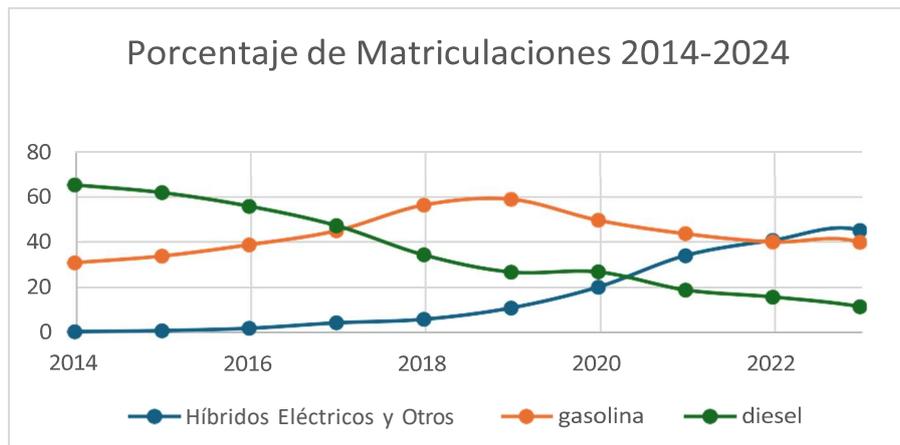


Figura 2 Porcentaje de vehículos de turismo matriculados por tipo de combustible. Década 2014-2024 [3].

2.2 Descripción del parque de vehículos diésel por fabricante.

Aun cuando el empleo de motorizaciones diésel en Europa ha ido disminuyendo, España se encuentra entre los países con mayor porcentaje de turismos diésel matriculados, tal y como se muestra en la Figura 3, según datos del año 2022.

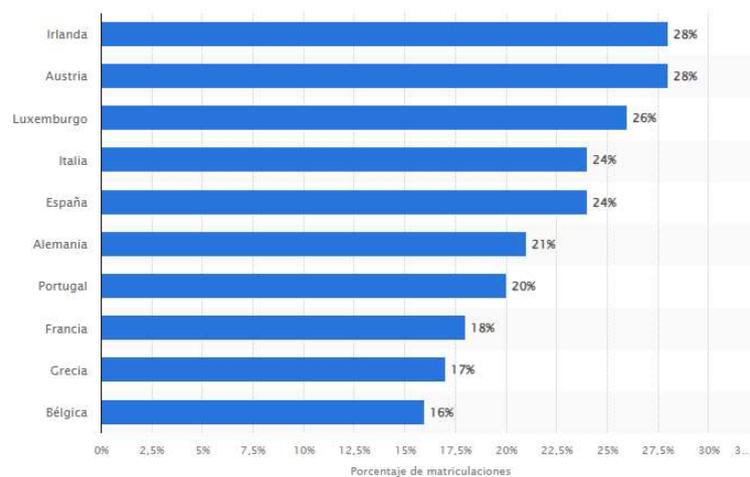


Figura 3 Ranking de países con mayor porcentaje de turismos diésel matriculados en Europa en 2022 [4].

Si se toma como ejemplo a España y a Europa en el año 2010 (año usado como referencia), se puede observar que las ventas de los turismos se dispararon hasta cifras de 13,3 millones de vehículos en Europa de los cuales más de 1 millón se vendió en España. Teniendo en cuenta que las tendencias de venta fueron similares y que en España se matricularon un total de 700000 turismos diésel, es posible hacerse la idea de que cerca de 9,3 millones de vehículos diésel se matricularon en 2010 en toda Europa [1].

Si se analizan las ventas por fabricantes o grupos automovilísticos se puede decir que en el año de referencia tomado (2010) el líder indiscutible del sector fue el grupo Volkswagen (Volkswagen, Audi, Seat, Škoda, Bentley, Bugatti y Lamborghini) que vendió más de 3 millones de unidades en Europa, seguido por el extinto grupo PSA (Peugeot, Citroën) que vendió 1.8 millones de unidades (Ver Tabla 5). El grupo Renault, GM, FIAT y Ford vendieron más de un millón de vehículos (1.4, 1.2, 1,1 y 1 respectivamente). Por último, destacan en el grupo de los japoneses Toyota y Nissan con 0.6 y casi 0.4 millones de ventas en el año 2010 (Ver Tabla 5, Anexo 1).

2.3 Fabricantes de sistemas de inyección para vehículos diésel.

Los principales fabricantes suministradores de sistemas de inyección diésel (en particular, de bombas de inyección) para constructores de vehículos son Bosch, Continental (Siemens), Delphi y Denso [6], [7].

La firma Bosch es, hoy por hoy, el líder mundial en el sector de componentes de sistemas de inyección diésel. Por otro lado, la firma Delphi es, junto con Bosch, la marca de componentes y equipos de inyección diésel predominante en el mercado europeo. En el año 2000 el grupo Delphi adquiere el negocio de Lucas Diesel Systems. Delphi nació en E.E.U.U. al desprenderse General Motors de su empresa fabricante de componentes, proceso que duró desde 1994 hasta 1999 año en el que nace Delphi Automotive Systems. Actualmente, la red comercial y postventa de Delphi integra también las representaciones de Siemens / Continental.

El último actor, en participar en el mercado europeo de la fabricación de productos diésel, fue Siemens a través de su filial VDO. VDO es una empresa dedicada a la fabricación de componentes para el automóvil y desde hace tiempo ha estado muy vinculada a la gestión de motores de gasolina, siendo el grupo VW uno de sus mejores clientes. VDO, entonces en manos de Siemens, comenzó con el suministro de componentes de sistemas *common rail* en el año 2000 a Citroen/Peugeot. Desde entonces hasta ahora, su crecimiento en el sector del diésel ha sido muy importante.

En noviembre de 2004, Volkswagen y Siemens VDO Automotive inician una *joint-venture*, para la fabricación de inyectores-bomba (UIS) con mando piezoeléctrico. En 2007 Siemens vende a Continental AG su filial de componentes para el mercado automotriz VDO [8].

2.4 Vehículos ligeros (turismos) diésel, más vendidos en España

En la Figura 4 se muestra la evolución del mercado automovilístico de España desde el año 2000 hasta 2021. La figura muestra que las marcas Renault, SEAT y Volkswagen han liderado las ventas en diferentes ocasiones. En la Figura 5 se muestra, como ejemplo, el año 2017. En ese año la marca Renault y el modelo SEAT León fueron los más vendidos.



Figura 4 Evolución del mercado automovilístico de España desde el año 2000 hasta 2021

La marca Renault y el modelo SEAT León, en 2017, fueron los líderes del mercado español. La marca francesa ha sido la única que ha superado las 100.000 unidades vendidas de turismos. El SEAT León, hecho en la planta que la marca española tiene en Martorell, fue líder del mercado por delante de su hermano pequeño, el SEAT Ibiza, que también se ensambla en la factoría catalana.

Por su parte, el grupo Volkswagen es otro de los fabricantes que más turismos vendió en España. Si se unen sus principales marcas (Volkswagen, SEAT, Audi, Škoda y Porsche) totaliza 266.353 unidades; mientras que el grupo PSA sería el segundo consorcio, según AutoInfor y ANFAC, ya que, con sus tres marcas, Peugeot, Citroën y DS, junto a la nueva adquisición de la alemana Opel sumaría más de 243.000 ventas.

Dentro de los 10 modelos más vendidos destaca el Nissan Qashqai como único *allroad* y cuyas ventas representaron el 46% del acumulado de la marca japonesa en España en 2017. Por otro lado, el Sandero de Dacia ascendió un puesto con respecto a 2016 entre los más vendidos. Tesla, la marca de eléctricos 'premium', creció un 600% hasta 387 unidades [9].



Figura 5 Evolución del mercado automovilístico de España. Año 2017.

A modo de resumen, la Figura 6 muestra la evolución del mercado de bombas de inyección en los últimos 23 años [10].

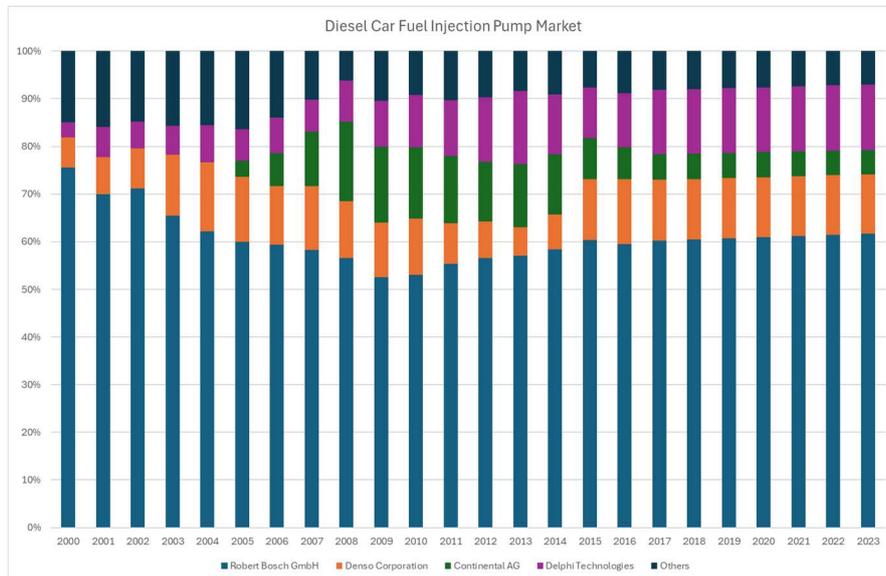


Figura 6 Evolución del mercado de bombas de inyección de las últimas dos décadas.

A partir de toda la información analizada, se decidió adquirir bombas, previamente usadas con combustible Diésel convencional, en desguaces automovilísticos de España, en particular del entorno de la provincia de Toledo. Las marcas de las bombas adquiridas coinciden con el comportamiento del mercado de bombas que se muestra en la Figura 6, mientras que los tipos de bombas elegidos se han montado en un importante número y modelos de vehículos comercializados. Se podría afirmar que las bombas elegidas se montan o se han montado en más del 90% de los vehículos ligeros Diesel comercializados en España.

2.5 Bombas de inyección diésel elegidas para el estudio. Segunda mano.

Las bombas elegidas, además de su representatividad en el parque automovilístico español, han sido usadas previamente con combustible convencional y se han adquirido en desguaces automotrices. Se han seleccionado bombas usadas para reducir costes del trabajo y estar seguros de que son bombas usadas antes de la comercialización del combustible 100% renovable de composición parafínica objeto de estudio. Sin embargo, esta decisión conllevó el desconocimiento del tiempo de empleo acumulado de las bombas elegidas previo a este trabajo.

i) Bomba de alta presión para common rail Continental VDO 03L130755E (1 bomba)



Esta bomba, aunque tenga marca Continental se fabrica por SIEMENS. Se ha usado o se usa en diferentes modelos de vehículos AUDI, SEAT, SKODA, VW.

ii) Bomba de alta presión para common rail DENSO HP3 294000-037 (16700EB300) (1 bomba)



Esta bomba se ha usado o se usa en diferentes modelos de vehículos NISSAN.

iii) Bomba de alta presión para common rail Bosch CP1 (2 Bombas)



Esta bomba se ha usado o se usa en diferentes modelos de vehículos FIAT, LANCIA, PEUGEOT, CITROEN, SUZUKI, MAZDA, MINI, VOLVO, FORD.

iv) Bomba de alta presión para *common rail* DELPHI 2C1Q-9B395-AB K9PAA R9044Z034A N SER 0562299FWE



Esta bomba se ha usado o se usa en diferentes modelos de vehículos FORD y JAGUAR.

Es importante destacar que no se pudo precisar el número de horas de trabajo de cada una de estas bombas con combustible Diésel convencional previamente a este estudio. Solo es posible asegurar que en los desguaces donde se adquirieron las bombas se nos informó que las bombas tendrían del orden de 100000 km recorridos o algo más.

3. Instalación experimental y procedimiento.

En la Figura 7 se muestra un esquema del circuito hidráulico preparado para ejecutar el proyecto y alcanzar los objetivos de envejecimiento de las bombas usadas de inyección con combustible 100% renovable de composición parafínica.

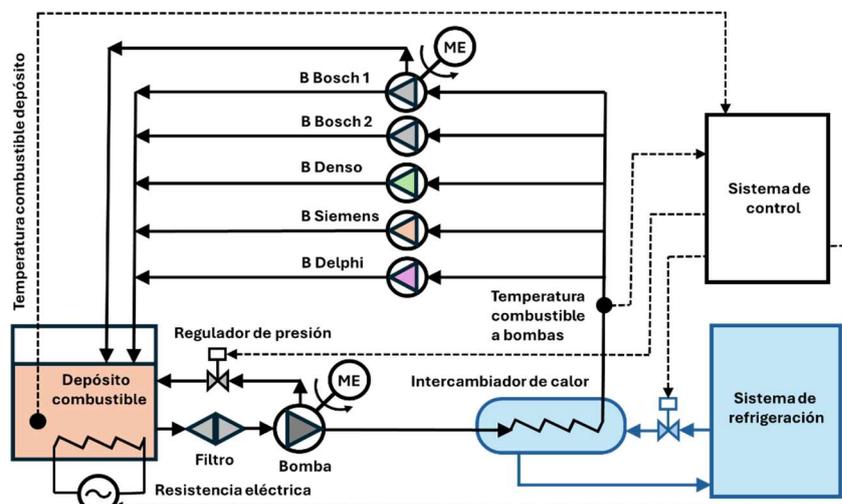


Figura 7. Esquema hidráulico de la instalación usada para el envejecimiento experimental de las diferentes bombas objeto de estudio.

Tal y como se observa en la figura, las bombas denominadas como Bosch 2, Denso, Siemens y Delphi fueron sometidas al paso de combustible 100% renovable de composición parafínica (del tipo aceite vegetal hidrotratado, HVO) durante 2000 horas. La bomba denominada como Bosch 1, además, fue sometida al bombeo de combustible (sin contrapresión exigente) durante 1500 horas de las 2000 horas totales.

En la Figura 8 se muestran vistas (frontal y superior) de la instalación experimental acondicionada para la realización del trabajo. Tal como se puede observar, en la Figura 8b, la bomba Bosch 1 aparece acoplada al eje del banco de

ensayos para realizar el trabajo de bombeo indicado antes. El resto de las bombas aparecen conectadas en paralelo para hacer pasar a través de ellas el combustible 100% renovable de composición parafínica utilizado en los ensayos.

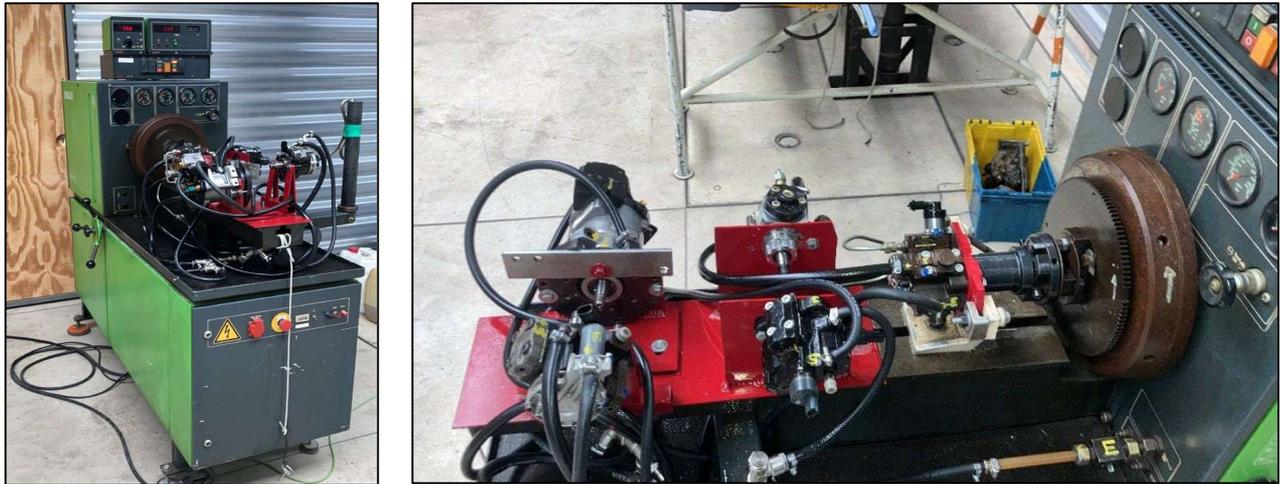


Figura 8 Vistas, a) frontal y b) superior, de la instalación experimental empleada en los ensayos.

Tal y como se describió en el apartado dedicado a la introducción y los objetivos, la bomba Bosch 1, estuvo expuesta al combustible 100% renovable durante unos 180000 km totales equivalentes (a razón de aproximadamente 15 horas diarias), lo que equivaldría a estar trabajando durante un total de 133 días. Como es posible deducir, la bomba Bosch 1 fue sometida a un trabajo exigente, teniendo en cuenta que este trabajo sería adicional a las horas de trabajo ya realizadas por ésta con combustible diésel fósil, pues todas las bombas fueron adquiridas en desguaces automovilísticos de los más relevantes del país.

La temperatura del combustible durante los ensayos se mantuvo en el entorno de las condiciones térmicas de trabajo de las bombas de inyección en el vehículo (50 - 60°C).

Las bombas fueron comprobadas hidráulicamente antes y después del ensayo de larga duración siguiendo la norma ISO 4113 de modo que se pudiera determinar la entrega de combustible a diferentes valores de presión de inyección, así como posibles fugas de cualquier parte de la bomba. Asimismo, se verificó el funcionamiento de la válvula reguladora de presión DRV (del inglés **Diesel Fuel Pump Pressure Regulator Control Valve**). Tal y como su nombre indica, la función de la válvula DRV es controlar la presión en la zona de alta presión de los sistemas de inyección Diesel. Esta válvula según el sistema que se emplee puede estar ubicada en el *common rail* o en la propia bomba de alta presión.

Las comprobaciones de las bombas, antes y después de la exposición al combustible 100% renovable de composición parafínica durante las 2000 h, se realizaron en una empresa externa, especializada en el mantenimiento y reparación de sistemas de inyección, ubicada en Ciudad Real.

Para minimizar el posible efecto del cambio de propiedades fisicoquímicas del combustible debido a la recirculación durante el trabajo en el circuito presentado en la Figura 7, se reemplazó el combustible usado por fresco (sin uso previo) cada 250 h de trabajo.

Para todo el trabajo experimental realizado el combustible 100% renovable de composición parafínica empleado (del inglés *Hydrotreated Vegetable Oil*) fue suministrado por la empresa REPSOL Technology Lab.

4. Combustible empleado en los ensayos

El combustible empleado en los ensayos ha sido el comúnmente denominado HVO puro (del inglés *Hydrotreated Vegetable Oil*), sin mezclar con combustible Diésel convencional. Este combustible 100% renovable, de composición parafínica, se obtiene básicamente a partir de materias primas lipídicas (por ejemplo, aceites vegetales, grasa animal o aceite de cocina usado) mediante la hidrotatamiento y craqueo/isomerización de ésteres y ácidos grasos. Teniendo en cuenta que este combustible debe cumplir con las especificaciones de la norma EN15940, con etiquetado correspondiente a los combustibles denominados XTL (materia prima de origen X to Liquid). Las principales características del combustible ensayado se presentan en la Tabla 6 en el Anexo 1.

5. Resultados obtenidos

5.1 Entrega de combustible. Bomba de inyección CONTINENTAL.

La Figura 9 muestra los resultados de la entrega de combustible (cm^3) a las diferentes presiones de inyección (bar) verificadas por la empresa especializada. Tal y como se puede observar, las diferencias relativas de entrega de combustible, entre las comprobaciones iniciales y finales, no superan el 1.3% de diferencia relativa media, en el rango de puntos de operación verificados.

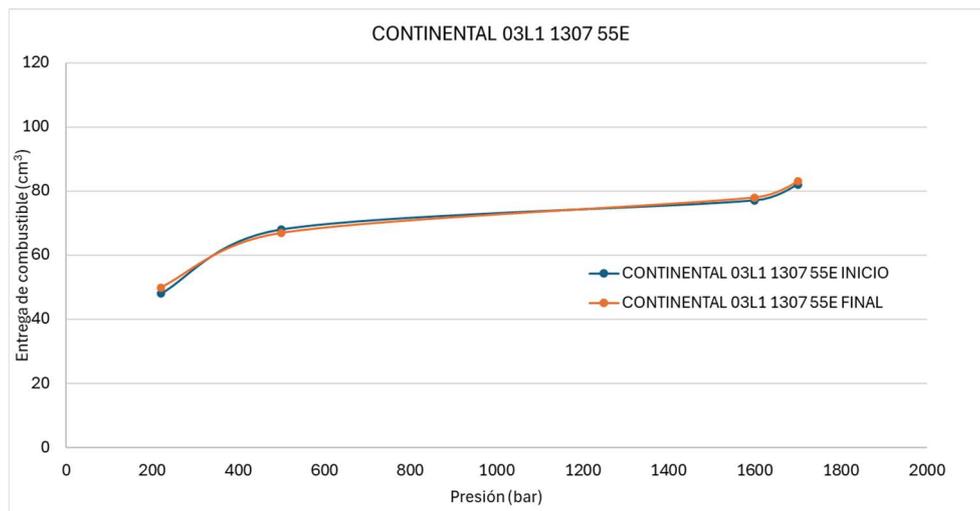


Figura 9. Entrega de combustible antes y después del ensayo de larga duración. Bomba CONTINENTAL.

Adicionalmente, en la bomba no se observó ningún deterioro de la válvula DRV ni ninguna fuga de combustible de ninguna parte de la bomba.

5.2 Entrega de combustible. Bomba de inyección DELPHI.

La Figura 10 muestra los resultados de la entrega de combustible (cm^3) de la bomba de inyección Delphi a las diferentes presiones de inyección (bar) verificadas por la empresa especializada. En este caso, las diferencias relativas de entrega de combustible, entre las comprobaciones iniciales y finales, no superan el 0,3% de la diferencia relativa media, en el rango de los puntos de operación verificados.

Adicionalmente, en la bomba no se observó ningún deterioro de la válvula DRV ni ninguna fuga de combustible desde ninguna parte de la bomba.

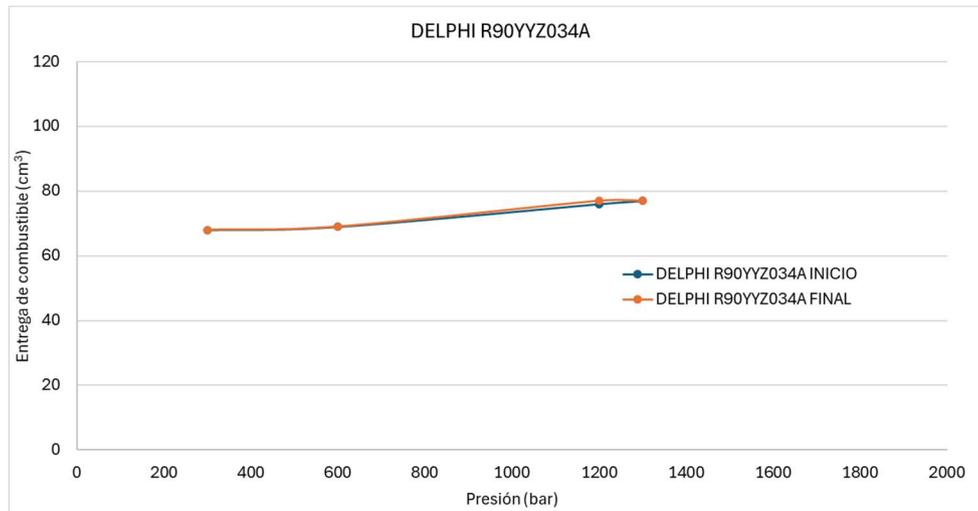


Figura 10. Entrega de combustible antes y después del ensayo de larga duración. Bomba DELPHI.

5.3 Entrega de combustible. Bomba de inyección DENSO.

La Figura 11 muestra los resultados de la entrega de combustible (cm^3) de la bomba de inyección Denso obtenidos a las diferentes presiones de inyección (bar) durante la verificación realizada por la empresa especializada antes y después de la exposición al combustible 100% renovable de composición parafínica. En este caso, las diferencias relativas de entrega de combustible, entre las comprobaciones iniciales y finales, no superan el 0,7% de la diferencia relativa media, en el rango de los puntos de operación verificados.

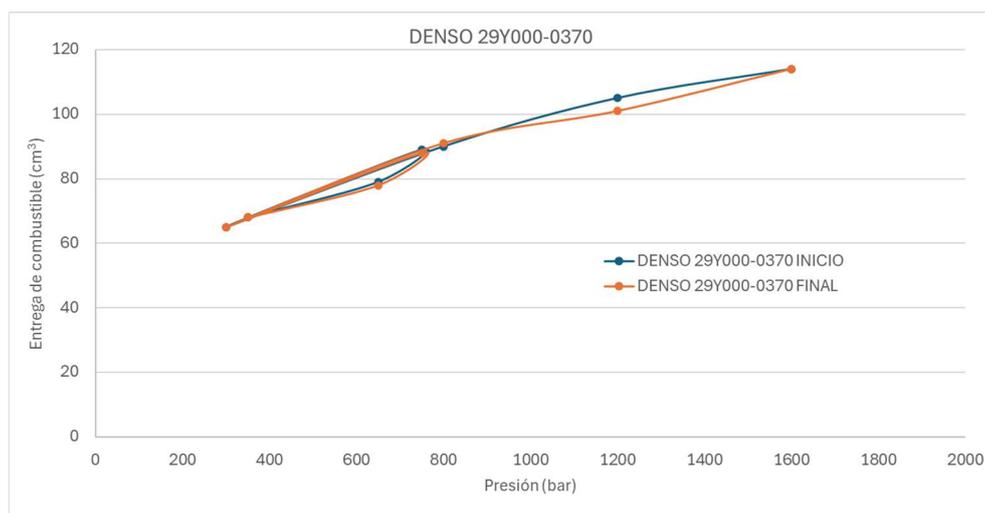


Figura 11. Entrega de combustible antes y después del ensayo de larga duración. Bomba DENSO.

Asimismo, en la bomba no se observó ningún deterioro de la válvula DRV ni ninguna fuga de combustible de ninguna parte de la bomba.

5.4 Entrega de combustible. Bomba de inyección BOSCH 2.

La Figura 12 muestra los resultados de la entrega de combustible (cm^3) de la bomba de inyección Bosch 2 obtenidos a las diferentes presiones de inyección (bar) durante la verificación realizada por la empresa especializada antes y

después de la exposición al combustible 100% renovable de composición parafínica. En este caso, las diferencias relativas de entrega de combustible, entre las comprobaciones iniciales y finales, no superan igualmente el 0,3% de la diferencia relativa media, en el rango de los puntos de operación verificados.

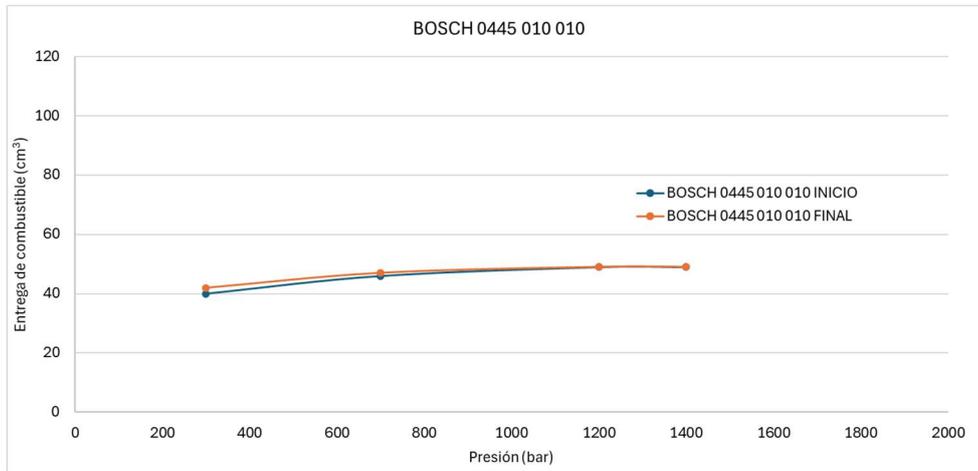


Figura 12. Entrega de combustible antes y después del ensayo de larga duración. Bomba BOSCH 2.

Adicionalmente, en la bomba no se observó ningún deterioro de la válvula DRV ni ninguna fuga de combustible de ninguna parte de la bomba.

4.5 Entrega de combustible. Bomba de inyección BOSCH 1.

La Figura 13 muestra los resultados de la entrega de combustible (cm^3) de la bomba de inyección Bosch 1 obtenidos a las diferentes presiones de inyección (*bar*) durante la verificación realizada por la empresa especializada antes y después de la exposición al combustible 100% renovable de composición parafínica. En este caso, las diferencias relativas de entrega de combustible, entre las comprobaciones iniciales y finales, no superan el 7% de la diferencia relativa media, en el rango de los puntos de operación verificados.

En este caso, aun cuando la diferencia relativa media es mayor respecto al resto de bombas, no es posible justificar que esa diferencia se deba sólo al uso del combustible 100% renovable de composición parafínica o al hecho de que esta bomba estuviese bombeando combustible. Entendemos mucho más importante la incertidumbre que se tiene, en todos los casos, relativa al grado de uso o envejecimiento previo de las bombas.

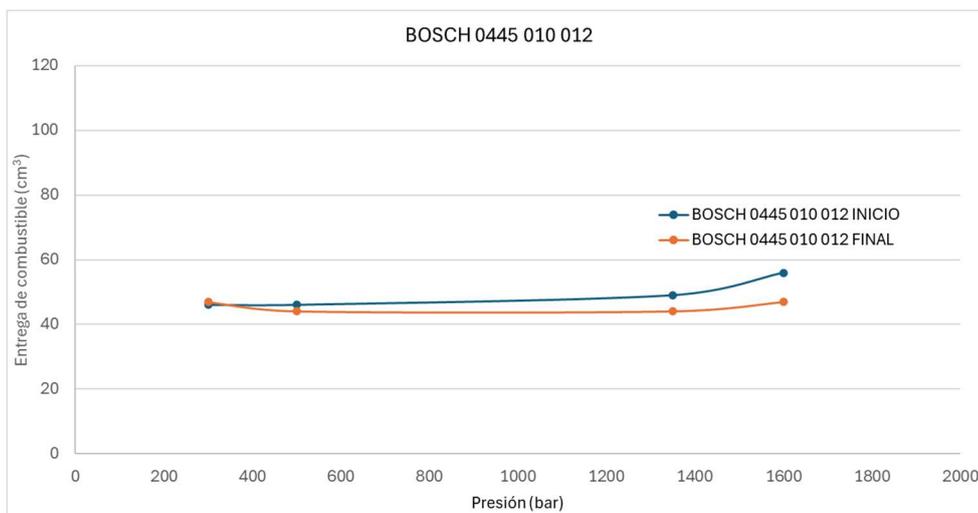


Figura 13. Entrega de combustible antes y después del ensayo de larga duración. Bomba BOSCH 1.

Atendiendo al comportamiento presentado en la Figura 13, atendiendo a que el funcionamiento de la válvula DRV fue calificado como satisfactorio y al hecho de que no había fugas externas visibles, en el caso de esta bomba, el comportamiento observado podría considerarse dentro de lo técnicamente aceptable debido al posible mayor grado de uso o envejecimiento previo de esta bomba en comparación con las bombas restantes.

6. Conclusiones.

Para evaluar la compatibilidad del combustible 100% renovable de composición parafínica según la norma EN15940 (como el HVO, *Hydrotreated Vegetable Oil*) se ha realizado un trabajo experimental que puede resumirse de la manera siguiente:

- i) Se han seleccionado 5 bombas de inyección de alta presión de combustible Diesel de los principales fabricantes (correspondientes al 90% del mercado de bombas de inyección), lo que supone una muestra representativa del mercado español y europeo de este tipo de sistemas de inyección de combustible en el sector automotriz.
- ii) Las bombas de inyección seleccionadas han sido previamente usadas con combustible Diesel, pero en todos los casos se ha hecho una comprobación inicial de su correcto funcionamiento según la norma ISO 4113.
- iii) Con las bombas seleccionadas se ha realizado un estudio experimental de exposición prolongada usando combustible 100% renovable de composición parafínica de tipo HVO, actualmente comercializado en el territorio nacional.

Los resultados obtenidos permiten enunciar las siguientes conclusiones:

- 1) El uso de combustible 100% renovable de composición parafínica tipo HVO durante 2000 h de exposición a través de las bombas no produjo ninguna avería, ni se detectaron fugas en éstas.
- 2) En todas las bombas se observó que la diferencia relativa media de entrega de combustible, en todas las bombas y modos de operación verificados, está dentro de los rangos de operación técnicamente aceptables y estadísticamente representativos.
- 3) No es posible justificar que las pequeñas diferencias observadas en la funcionalidad, en alguno de los modos de operación de alguna de las bombas, se deban sólo al hecho de haber estado empleando combustible 100% renovable de composición parafínica. La incertidumbre del tiempo de uso previo de esas bombas estaría influyendo decisivamente en el comportamiento de la entrega observada.
- 4) Los resultados muestran que el combustible 100% renovable de composición parafínica del tipo HVO es compatible con las piezas y materiales que componen las bombas estudiadas.

Referencias

- [1] Anuario Estadístico General 2023. Dirección General de Tráfico (DGT). Edición: DGT, C/Josefa Valcárcel, 44, 28027, Madrid. Realización: Servicio de Estadística. Observatorio Nacional de Seguridad Vial, N.I.P.O.: 128-15-036-8. ISSN: 2445-0197.
- [2] Anuario estadístico General 2020. Dirección General de Tráfico (DGT). Edición: DGT, C/Josefa Valcárcel, 44, 28027, Madrid. Realización: Servicio de Estadística. Observatorio Nacional de Seguridad Vial N.I.P.O.: 128-15-036-8 ISSN: 2445-0197.

[3] Fuente: ANFAC/FACONAUTO/GANVAM, www.epdata.es

[4] Fuente: <https://es.statista.com>

[5] Fuente: <https://www.motorpasion.com/industria/ventas-de-coches-en-la-union-europea-en-2011-analisis-a-fondo>

[6] Fuente: <https://www.autonorma.es/>

[7] Fuente: [https://www.autonorma.es/blog/post/27-tecnologia-de-inyeccion-diesel-tipos-de-bombas-de-inyeccion#:~:text=Los%20principales%20fabricantes%20de%20bombas,Siemens\)%2C%20Delphi%20y%20Denso](https://www.autonorma.es/blog/post/27-tecnologia-de-inyeccion-diesel-tipos-de-bombas-de-inyeccion#:~:text=Los%20principales%20fabricantes%20de%20bombas,Siemens)%2C%20Delphi%20y%20Denso)

[8] Fuente: <https://www.talldemecanica.com/blog/47-fabricantes-en-el-mercado-diesel-europa>

[9] Fuente: <https://www.expansion.com/empresas/motor/2018/01/01/5a4aa19be5fdead3568b4651.html>

[10] Custom Report. Diesel Car Fuel Injection Pump Market. (2024–2029). Mordor Intelligence.

Anexo 1

Tabla 1. Parque de vehículos en España por tipos.

Años	Camiones y furgonetas	Autobuses	Turismos	Motocicletas	Tractores industriales	Remolques y Semirremolques	Otros vehículos	TOTAL
1990	2.332.928	45.767	11.995.640	1.073.457	68.157	-	180.766	15.696.715
1991	2.495.226	46.604	12.537.099	1.174.420	73.203	-	201.844	16.528.396
1992	2.649.596	47.180	13.102.285	1.251.879	76.595	-	219.668	17.347.203
1993	2.735.144	47.028	13.440.694	1.278.695	77.466	-	230.870	17.809.897
1994	2.825.747	47.088	13.733.794	1.287.850	80.003	-	244.442	18.218.924
1995	2.936.765	47.375	14.212.259	1.301.780	87.481	-	262.185	18.847.245
1996	3.057.347	48.405	14.753.809	1.308.208	94.557	-	279.778	19.542.104
1997	3.205.974	50.035	15.297.366	1.326.333	104.121	-	302.579	20.286.408
1998	3.393.446	51.805	16.050.057	1.361.155	116.305	-	333.725	21.306.493
1999	3.604.972	53.540	16.847.397	1.403.771	130.216	-	371.296	22.411.194
2000	3.780.221	54.732	17.449.235	1.445.644	142.955	243.314	168.114	23.284.215
2001	3.949.001	56.146	18.150.880	1.483.442	155.957	265.495	188.950	24.249.871
2002	4.091.875	56.953	18.732.632	1.517.208	167.014	287.220	212.830	25.065.732
2003	4.188.910	55.993	18.688.320	1.513.526	174.507	306.842	241.354	25.169.452
2004	4.418.039	56.957	19.541.918	1.612.082	185.379	330.933	287.333	26.432.641
2005	4.655.413	58.248	20.250.377	1.805.827	194.206	353.946	339.259	27.657.276
2006	4.910.257	60.385	21.052.559	2.058.022	204.094	380.147	388.597	29.054.061
2007	5.140.586	61.039	21.760.174	2.311.346	212.697	404.859	427.756	30.318.457
2008	5.192.219	62.196	22.145.364	2.500.819	213.366	418.629	436.631	30.969.224
2009	5.136.214	62.663	21.983.485	2.606.674	206.730	412.840	447.363	30.855.969
2010	5.103.980	62.445	22.147.455	2.707.482	199.486	414.673	450.514	31.086.035
2011	5.060.791	62.358	22.277.244	2.799.043	195.960	415.568	459.117	31.289.081
2012	4.984.722	61.127	22.247.528	2.852.297	186.964	410.369	460.196	31.203.203
2013	4.887.352	59.892	22.024.538	2.891.204	182.822	407.847	463.181	30.916.836
2014	4.839.484	59.799	22.029.512	2.972.165	186.060	413.155	475.872	30.976.047
2015	4.851.518	60.252	22.355.549	3.079.463	195.657	426.510	420.734	31.389.683
2016	4.879.480	61.838	22.876.830	3.211.474	207.889	443.598	425.411	32.106.520
2017	4.924.476	63.589	23.500.401	3.327.048	218.154	459.712	435.624	32.929.004
2018	4.980.911	64.905	24.074.151	3.459.722	225.942	474.737	449.614	33.729.982
2019	5.015.973	65.470	24.558.126	3.607.226	232.680	487.823	467.493	34.434.791
2020	5.030.927	63.387	24.716.898	3.735.920	235.511	498.492	484.068	34.765.203
2021	5.050.416	64.447	24.940.969	3.866.220	238.456	512.500	505.800	35.178.808
2022	5.075.068	66.377	25.222.554	4.006.804	245.075	526.546	527.019	35.668.443
2023	5.148.231	66.638	25.356.594	4.162.850	253.334	540.907	546.684	36.075.238

Tabla 2. Parque de vehículos con motor diésel o encendido por compresión.

Años	Camiones y furgonetas	Autobuses	Turismos	Motocicletas	Tractores Industriales	Otros Vehículos	TOTAL
1990	1.490.068	44.833	1.220.746	3.337	66.910	73.025	2.898.919
1991	1.615.902	45.650	1.317.475	3.219	71.847	82.024	3.136.117
1992	1.738.671	46.222	1.461.618	3.087	75.161	88.545	3.413.304
1993	1.813.001	46.085	1.602.062	2.963	76.011	92.182	3.632.304
1994	1.906.229	46.154	1.806.248	2.831	78.492	95.749	3.935.703
1995	2.020.189	46.435	2.059.126	2.738	85.876	101.215	4.315.579
1996	2.151.426	47.478	2.291.352	2.650	92.863	106.950	4.792.719
1997	2.314.915	49.095	2.806.754	2.559	102.276	114.392	5.389.991
1998	2.515.308	50.871	3.368.847	2.498	114.255	125.872	6.177.651
1999	2.746.518	52.610	4.044.419	2.439	127.983	141.071	7.115.040
2000	2.948.837	53.768	4.702.264	2.387	140.588	155.667	8.003.511
2001	3.136.580	55.158	5.355.145	2.345	153.504	171.685	8.874.417
2002	3.302.732	55.917	6.003.919	2.308	164.528	189.047	9.718.451
2003	3.439.434	54.975	6.592.444	2.214	172.097	204.799	10.465.963
2004	3.681.015	55.951	7.506.821	2.266	182.953	224.894	11.653.900
2005	3.939.953	57.287	8.434.725	2.421	191.810	246.263	12.872.459
2006	4.213.186	59.332	9.380.284	2.024	201.810	267.678	14.124.314
2007	4.463.923	59.764	10.255.430	2.130	210.494	291.585	15.283.326
2008	4.538.399	60.924	10.796.625	2.158	211.335	297.538	15.906.979
2009	4.509.541	61.363	11.079.034	2.206	204.847	298.943	16.155.934
2010	4.499.419	61.001	11.466.842	2.213	197.736	301.302	16.528.513
2011	4.476.049	60.669	11.763.255	2.220	194.280	309.832	16.806.305
2012	4.413.826	59.288	11.937.569	2.305	185.411	310.601	16.909.000
2013	4.342.980	58.006	12.061.601	2.350	181.344	313.346	16.959.627
2014	4.321.086	58.323	12.325.894	1.655	186.060	323.280	17.216.298
2015	4.343.585	58.676	12.665.275	2.122	195.657	275.905	17.541.220
2016	4.378.198	59.944	13.038.663	2.644	207.889	280.674	17.968.013
2017	4.426.541	61.336	13.367.879	3.333	218.154	290.231	18.367.474
2018	4.478.050	61.684	13.501.540	3.994	225.942	303.332	18.574.542
2019	4.504.394	61.697	13.510.143	4.758	232.680	319.916	18.633.588
2020	4.514.742	59.262	13.451.079	5.269	235.511	334.578	18.600.441
2021	4.525.981	59.734	13.346.381	5.809	238.456	353.417	18.529.778
2022	4.541.506	60.128	13.245.872	6.004	245.075	371.122	18.469.707
2023	4.603.119	60.861	13.105.719	5.955	253.334	386.723	18.415.711

Tabla 3. Parque de vehículos con motor de gasolina o encendido provocado.

Años	Camiones y furgonetas	Autobuses	Turismos	Motocicletas	Tractores Industriales	Otros Vehículos	TOTAL
1990	842.860	934	10.774.894	1.070.120	1.247	107.741	12.797.796
1991	879.324	954	11.219.624	1.171.201	1.356	119.820	13.392.279
1992	910.925	958	11.640.667	1.248.792	1.434	131.123	13.933.899
1993	922.143	943	11.838.632	1.275.732	1.455	138.688	14.177.593
1994	919.518	934	11.927.546	1.285.019	1.511	148.693	14.283.221
1995	916.576	940	12.153.133	1.298.442	1.605	160.970	14.531.666
1996	905.921	927	12.362.457	1.305.558	1.694	172.828	14.749.385
1997	891.059	940	12.490.612	1.323.774	1.845	188.187	14.896.417
1998	878.138	934	12.681.210	1.358.657	2.050	207.853	15.128.842
1999	858.454	930	12.802.978	1.401.332	2.233	230.227	15.296.154
2000	831.384	964	12.746.971	1.443.257	2.367	255.761	15.280.704
2001	812.421	988	12.795.735	1.481.097	2.453	282.760	15.375.454
2002	789.143	1.036	12.728.713	1.514.900	2.486	311.003	15.347.281
2003	749.476	1.018	12.095.876	1.511.312	2.410	343.397	14.703.489
2004	737.024	1.006	12.035.097	1.609.816	2.426	393.372	14.778.741
2005	715.460	961	11.815.652	1.803.406	2.396	446.942	14.784.817
2006	696.698	937	11.667.433	2.055.459	2.260	113.382	14.536.169
2007	676.058	927	11.500.323	2.308.619	2.179	126.627	14.614.733
2008	653.143	876	11.344.609	2.497.898	2.008	128.450	14.626.982
2009	625.434	839	10.900.655	2.603.477	1.860	129.557	14.261.822
2010	602.843	817	10.677.003	2.703.756	1.730	129.546	14.115.696
2011	582.725	783	10.510.112	2.793.794	1.661	129.249	14.018.320
2012	568.587	743	10.305.113	2.845.944	1.523	128.108	13.850.018
2013	541.751	710	9.956.308	2.883.796	1.419	126.922	13.510.906
2014	515.215	243	9.695.703	2.964.749	0	125.756	13.301.665
2015	503.728	243	9.677.594	3.071.077	0	124.542	13.377.184
2016	495.458	241	9.820.553	3.201.831	0	123.876	13.641.959
2017	489.708	239	10.102.654	3.314.148	0	123.636	14.030.385
2018	488.975	239	10.507.650	3.442.848	0	123.558	14.563.270
2019	488.872	229	10.939.069	3.582.771	0	123.802	15.134.743
2020	488.441	223	11.126.944	3.703.620	0	124.800	15.444.028
2021	488.927	217	11.413.242	3.828.927	0	126.912	15.858.225
2022	492.880	219	11.750.799	3.959.187	0	129.125	16.332.210
2023	496.380	208	11.943.476	4.107.788	0	131.647	16.679.499

Tabla 4. Parque de vehículos con otras motorizaciones.

Años	Camiones y furgonetas	Autobuses	Turismos	Motocicletas	Tractores Industriales	Otros Vehículos	TOTAL
2006	373	116	4.842	539	24	11.150	17.044
2007	606	348	4.421	597	24	9.544	15.539
2008	677	396	4.130	765	23	10.643	16.634
2009	1.239	461	3.796	991	23	18.863	25.373
2010	1.718	627	3.610	1.513	20	19.666	27.154
2011	2.017	906	3.877	2.029	19	20.040	28.888
2012	2.309	1.096	4.846	4.048	30	21.487	33.816
2013	2.621	1.176	6.629	5.058	59	22.913	38.456
2014	3.183	1.233	7.915	5.761	0	26.837	44.929
2015	4.206	1.333	12.680	6.264	0	20.287	44.769
2016	5.823	1.653	17.614	6.999	0	20.861	52.950
2017	8.227	2.014	29.868	9.567	0	21.757	71.433
2018	13.886	2.982	64.961	12.880	0	22.724	117.433
2019	22.707	3.544	108.914	19.697	0	23.775	178.637
2020	27.744	3.902	138.875	27.031	0	24.680	222.242
2021	35.508	4.496	181.346	31.484	0	25.471	278.305
2022	40.682	5.030	225.883	41.613	0	26.772	339.980
2023	48.732	5.569	307.399	49.107	0	28.314	439.121

Tabla 5. Matriculaciones de turismos por fabricantes y marcas. 2010-2011 [5].

U.E. MATRICULACIONES DE TURISMOS POR FABRICANTES			
GRUPOS/MARCAS	2011	2010	%2011/2010
TODOS	13.111.209	13.343.302	-1,7%
GRUPO VW	3.045.000	2.832.799	7,5%
Volkswagen	1.622.045	1.491.421	8,8%
Audi	654.337	600.120	9,0%
Seat	297.416	294.292	1,1%
Skoda	469.221	445.163	5,4%
Otros (1)	1.981	1.803	9,9%
GRUPO BMW	780.981	726.040	7,6%
BMW	617.906	588.816	4,9%
Mini	163.075	137.224	18,8%
DAIMLER	652.790	651.515	0,2%
Mercedes	575.243	570.884	0,8%
Smart	77.547	80.631	-3,8%

U.E. MATRICULACIONES DE TURISMOS POR FABRICANTES			
GRUPOS/MARCAS	2011	2010	%2011/2010
TODOS	13.111.209	13.343.302	-1,7%
GRUPO PSA	1.643.160	1.805.375	-9,0%
Peugeot	889.073	983.969	-9,6%
Citroën	754.087	821.406	-8,2%
GRUPO RENAULT	1.272.560	1.389.340	-8,4%
Renault	1.026.179	1.130.124	-9,2%
Dacia	246.381	259.216	-5,0%
GRUPO GM	1.141.380	1.164.111	-2,0%

U.E. MATRICULACIONES DE TURISMOS POR FABRICANTES			
GRUPOS/MARCAS	2011	2010	%2011/2010
TODOS	13.111.209	13.343.302	-1,7%
GRUPO FIAT	928.930	1.056.399	-12,1%
Fiat	671.131	811.774	-17,3%
Lancia / Chrysler	102.099	108.432	-5,8%
Alfa Romeo	125.794	105.663	19,1%
Jeep	22.177	13.663	62,3%
Otros (2)	7.189	16.867	-57,4%

U.E. MATRICULACIONES DE TURISMOS POR FABRICANTES			
GRUPOS/MARCAS	2011	2010	%2011/2010
TODOS	13.111.209	13.343.302	-1,7%
GRUPO GM	1.141.380	1.164.111	-2,0%
Opel / Vauxhall	968.728	986.948	-1,8%
Chevrolet	172.212	176.093	-2,2%
GM (US)	440	1.070	-58,9%
FORD	1.046.711	1.081.778	-3,2%

U.E. MATRICULACIONES DE TURISMOS POR FABRICANTES			
GRUPOS/MARCAS	2011	2010	%2011/2010
TODOS	13.111.209	13.343.302	-1,7%
JAGUAR / LAND ROVER	95.225	91.863	3,7%
Land Rover	72.634	65.468	10,9%
Jaguar	22.591	26.395	-14,4%
VOLVO CAR CORP.	234.613	213.324	10,0%

U.E. MATRICULACIONES DE TURISMOS POR FABRICANTES			
GRUPOS/MARCAS	2011	2010	%2011/2010
TODOS	13.111.209	13.343.302	-1,7%
GRUPO TOYOTA	523.418	559.251	-6,4%
Toyota	497.928	542.677	-8,2%
Lexus	25.490	16.574	53,8%
NISSAN	443.300	390.403	13,5%
HYUNDAI	382.255	346.310	10,4%
KIA	286.792	257.923	11,2%
SUZUKI	166.535	184.597	-9,8%
HONDA	141.705	177.453	-20,1%
MAZDA	128.238	172.042	-25,5%
MITSUBISHI	101.138	98.065	3,1%

Tabla 6. Principales características del combustible HVO usado en el trabajo experimental.

Característica	Combustible
	HVO
Densidad a 15°C y 1 bar (kg/L)	0.78
Viscosidad a 40 °C (mm ² /s)	2.869
Lubricidad (µm)	316
Relación H/C	2.06
Relación O/C	0
Poder calorífico inferior (kJ/kg)	43950
Poder calorífico inferior (kJ/L)	34281
Número de cetano	> 70