

# **Estudio de la influencia de los sistemas Stop/Start sobre el consumo de combustible y la emisión de CO<sub>2</sub> de un vehículo diesel en tráfico urbano**

**Natalia Fonseca González**

Investigadora, Universidad Politécnica de Madrid, España

**Jesús Casanova Kindelán**

Catedrático, Universidad Politécnica de Madrid, España

**Felipe Espinosa Zapata**

Profesor titular, Universidad de Alcalá de Henares, España

## **RESUMEN**

Se presentan los resultados experimentales de un estudio realizado en el Laboratorio de Motores Térmicos de la ETSII de la UPM para evaluar el impacto en eficiencia energética y medioambiental de la tecnología Stop/Start en vehículos todoterreno con motor diesel, en condiciones de tráfico real urbano. Se realizaron ensayos urbanos con vehículos Land Rover Freelander2 en la zona central de la ciudad de Madrid midiendo la emisión instantánea de CO<sub>2</sub> y de CO con equipos de medida de emisiones embarcados, y el consumo de combustible se calculó a partir del “balance de carbonos” midiendo el caudal de gases de escape mediante un caudalímetro de desarrollo propio. Se utilizaron dos vehículos todoterreno con motor diesel semejante, ambos cumpliendo los mismos límites Euro 4 para vehículos ligeros, uno convencional y otro adaptado con sistema Stop/Start.

Se obtuvieron curvas de tendencia de consumo de combustible y de emisión de CO<sub>2</sub> con la velocidad media, que demuestran el significativo efecto de mejora en la eficiencia energética de la versión de motor adaptado con sistema Stop/Start.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La mejora de la eficiencia energética de los vehículos de transporte es uno de los aspectos prioritarios de la política europea, debido por una parte a la necesidad de reducir los consumos de materias primas y por otra a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> por su contribución a los problemas de calentamiento global de la atmósfera. En Europa se ha llegado a un acuerdo para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en vehículos ligeros (Parlamento Europeo, 2009) fijando un límite de de 130 gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro a partir del 2012 con implantación progresiva hasta el 2015.

En el caso de los vehículos todoterreno, cuya utilización en tráfico urbano es una realidad, algunos fabricantes como Land Rover han dirigido su desarrollo tecnológico a reducir el

consumo en este tipo de tráfico, sobre todo en sus modelos más pequeños, como es el caso del Freelander2.

En respuesta a esta tendencia a reducir el consumo y las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos ligeros, los fabricantes de vehículos han ido incorporando mejoras tecnológicas como el aligeramiento del peso, la reducción del tamaño del motor, la mejora del rendimiento del motor en las condiciones de uso urbano, neumáticos de baja resistencia a la rodadura, mejora de la aerodinámica, y de forma un poco más radical la hibridación y electrificación de los vehículos. En este último grupo de tendencias está la tecnología "Stop/Start", con la cual se para automáticamente el motor cuando el vehículo se detiene, y lo vuelve a arrancar automáticamente al iniciar el movimiento, de esta manera se elimina el consumo de combustible a ralentí durante las detenciones, en semáforos o atascos, que llega a ser hasta del 10% (Rueger, 2009).

El sistema de arranque es la parte fundamental del sistema Stop/Start, el cual debe ser más rápido que el convencional, a la vez que silencioso y sin vibraciones (Canosa, et. al., 2007). La técnica utilizada por los vehículos Land Rover, objeto de este estudio, utiliza un motor de arranque convencional optimizado con importantes cambios en el software de regulación. Otras técnicas consisten en utilizar un alternador reversible como el sistema desarrollado por Valeo (Nedungadi, et. al., 2007), usar un motor de arranque incorporado en el propio volante de inercia, o que el motor de arranque sólo sea una ayuda y se consiga arrancar el motor por combustión, como en los motores de gasolina con el sistema de arranque por inyección directa de Mitsubishi (Ueda et. al., 2001) o el sistema Smart Idling Stop System (SSIS) desarrollado por Mazda.

El sistema Stop/Start utilizado por Land Rover se basa en un refinamiento del motor diésel (reducción de la alimentación de combustible de manera progresiva y desactivación del alternador para reducir la carga impuesta al motor durante el proceso de parada, cambios en el software, nueva calibración del motor, mejor disposición de los soportes, nueva corona del volante motor y un nuevo disco de fricción para el volante motor bimasa), en la optimización del motor de arranque convencional (mayor resistencia al desgaste) y en el uso de una batería especial de malla de fibra de vidrio absorbente –AGM (Land Rover web, 2010).

## **2. METODOLOGÍA**

Para el desarrollo de los ensayos se han utilizado dos coches todoterreno instrumentados con un sistema embarcable de medida de emisiones y actividad del vehículo, desarrollado y validado en el Laboratorio de Motores Térmicos de la ETSII-UPM, y una metodología de ensayos y caracterización del tráfico urbano, que se describen a continuación.

### **2.1 Metodología de ensayos y caracterización del tráfico urbano**

Se seleccionaron dos circuitos representativos del tráfico congestionado de la ciudad de Madrid, que incluyen calles de Intensidad Media Diaria razonablemente alta. Cada circuito dispone de una diferente tipología de calles, secuencia semafórica y pendientes. En las figuras 1 y 2 se muestra el plano de cada circuito indicando la posición de los semáforos con su respectivo perfil orográfico. Adicionalmente, en la tabla 1 se relaciona la caracterización de los circuitos, incluyendo la velocidad en condición “sin tráfico” medida en día festivo.

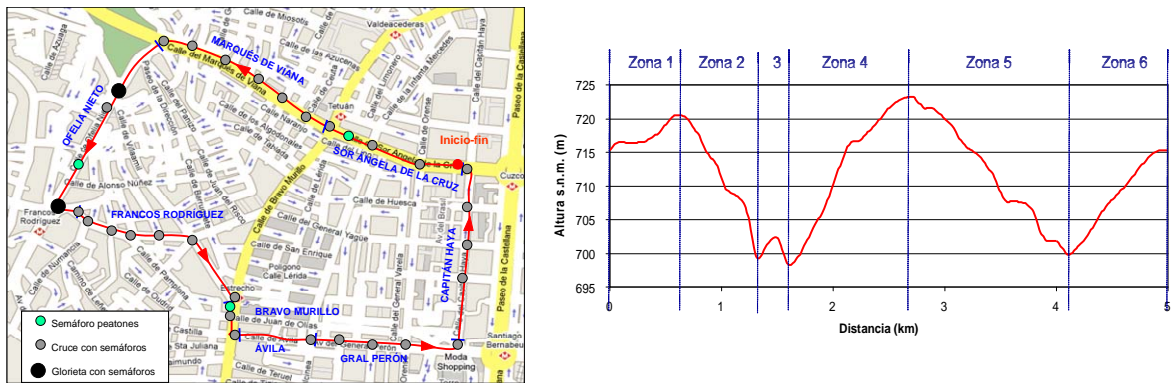


Fig. 1 – Mapa de recorrido y perfil orográfico Circuito Tetuán (LR1)

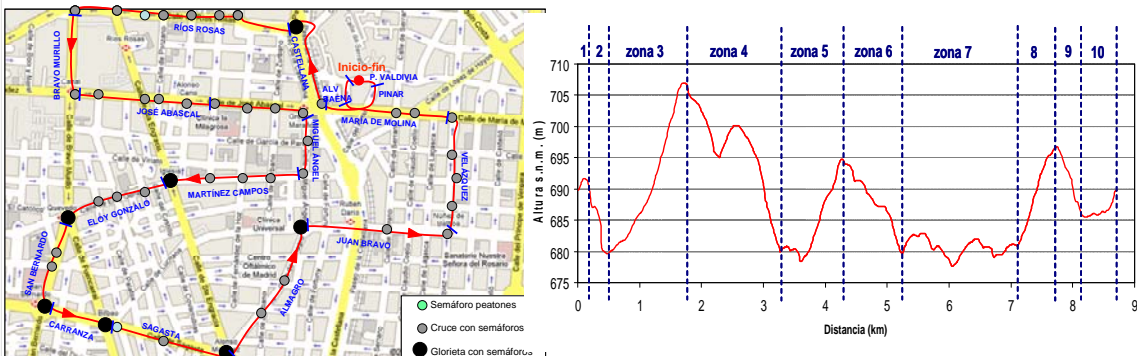


Fig. 2 – Mapa de recorrido y perfil orográfico - Circuito Chamberí (LR2)

Nombre del circuito	Distancia km	Número de cruces	Cruces por km	Velocidad sin tráfico, km/h	Coches día(promedio ponderado)	% calles locales	% calles secundarias	5 calles principales	% calles arteriales	
Tetuán	LR1	5,106	33	6,5	25,6	12402	0 %	69 %	31 %	0 %
Chamberí	LR2	8,669	47	5,4	27,6	25632	1 1%	38 %	29 %	23 %

Tabla 1 – Resumen de la caracterización de los circuitos

## 2.2 Coches ensayados

Se realizaron ensayos con dos vehículos: un Land Rover Freelander2 09MY y un Land Rover Freelander2 10MY (eco-on) equipado con el sistema Stop/Start. Este último vehículo se ensayó también inhibiendo el funcionamiento del sistema Stop/Start (10MY-eco off). Las características técnicas comunes se observan en la tabla 2 y las particulares en la tabla 3.

<b>Clase de vehículo</b>	Todo terreno pequeño	<b>Marca motor</b>	LAND ROVER
<b>Marca</b>	LAND ROVER	<b>Tipo motor</b>	Diesel TA, PE.
<b>Tara (kgf)</b>	1.835	<b>Normativa</b>	LDV Euro 4
<b>PTMA/PMA (kgf)</b>	2.505	<b>Nº de cilindros</b>	4
<b>Nº de asientos</b>	5	<b>Cilindrada (cm<sup>3</sup>)</b>	2.179
<b>Caja /Nº marchas</b>	Manual / 5	<b>Potencia (kW)</b>	118

**Tabla 2 – Características técnicas comunes de los coches ensayados**

<b>Vehículo</b>	9MY	10MY
<b>Denominación comercial</b>	FREELANDER2 TD4 2,2 S	FREELANDER2 TD4-e 2.2 S
<b>Año de matriculación</b>	2009	2009
<b>km al comienzo de ensayos</b>	Aprox. 5.000 km	Aprox. 8.000 km

**Tabla 3 – Características particulares de los coches ensayados**



**Fig. 3 – Fotografías de los Land Rover FREELANDER2 9MY y 10MY durante los ensayos en la ciudad de Madrid.**

### **1.3 Equipamiento utilizado**

El equipo embarcable de medida de emisiones, consumo y actividad del conductor, consta de los siguientes conjuntos (Fonseca y Casanova, 2009):

- Sistema de captación de caudal total de gases de escape y condiciones termodinámicas, instalado en el exterior del vehículo, con caudalímetro tipo pitot de diseño propio.
- Sistema de medida de concentraciones de gases, formado por un analizador NDIR para CO y CO<sub>2</sub>, un sensor cerámico de zirconio para NO<sub>x</sub> y O<sub>2</sub> y una sonda lambda de banda ancha, de bajo tiempo de respuesta.
- Sistema de registro de velocidad por GPS y condiciones ambientales.
- Sistema de alimentación eléctrica autónoma.

Estos equipos han sido validados en ensayos previos en banco de medida de emisiones y contrastados con equipos comerciales de la misma utilidad. La figura 4 muestra los equipos instalados en el vehículo.





Fig. 4 – Equipos de medida instalados en los vehículos

### 3. RESULTADOS

Se realizaron 45 ensayos y más de 270 km de recorridos urbanos con los vehículos Land Rover 09MY, 10MY”on” (con el sistema Stop/Start activado) y 10MY”off” (con el sistema desactivado). Los ensayos se realizaron en días laborables y en condiciones diversas de congestión, por lo que los tiempos de recorrido, velocidades medias, tiempos de parada y arranque, etc., fueron diferentes para cada ensayo, presentándose los resultados en forma de gráficas de tendencias con la velocidad media, que se ha considerado la variable más representativa de las condiciones de congestión del tráfico.

Los resultados más relevantes se presentan en la figura 5, en la que se muestran valores medios de consumo en litros/100km con cada vehículo, promediados entre los ensayos de ambos circuitos. En esta gráfica se presenta la desviación media de los valores puntuales, suponiendo una distribución gaussiana y aceptando una probabilidad del 68 %. También se muestra de forma comparativa, el porcentaje de reducción de consumo promedio para los tres casos estudiados, que corresponden a ensayos donde la velocidad media en promedio fue de 15,5 km/h.

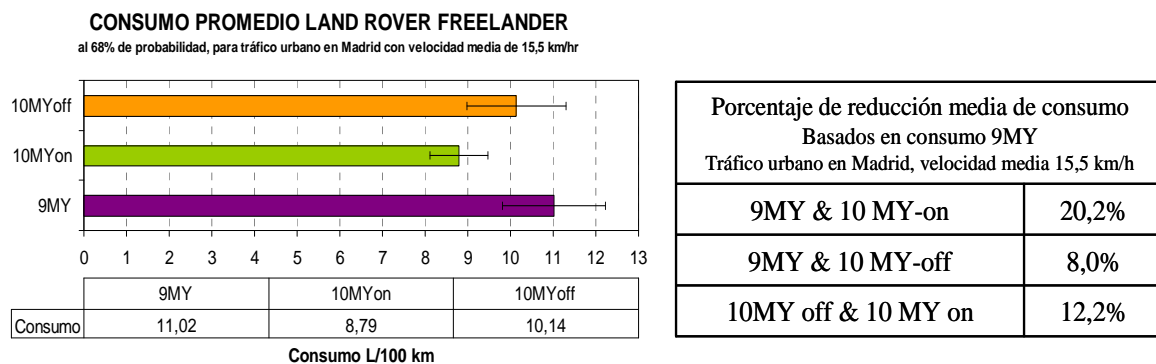


Fig. 5 – Resultados medios sobre consumo.

Es de destacar que la reducción de consumo promedio del vehículo 10MY con el sistema

Stop/Start en los ensayos realizados respecto a la anterior versión 09MY sin este sistema, es del 20 %. De estos resultados se puede estimar que un 12,2 % corresponde al consumo en ralentí y un 8% a otras mejoras en el ajuste y regulación del motor, que el fabricante ha debido implementar para facilitar el arranque y reducir el consumo urbano.

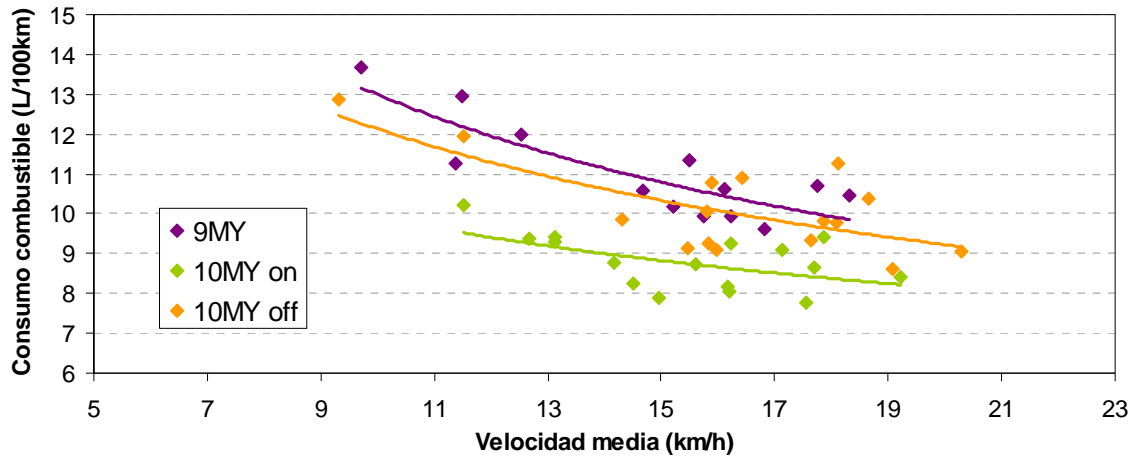


Figura 6. Influencia del sistema Stop/Start sobre el consumo, resultados totales de los 45 ensayos realizados.

En la figura 6 se muestran el consumo global en litros por 100 km para uno de los ensayos realizados, así como la tendencia general observada. En esta gráfica se observa que la incorporación del sistema Stop/Start en el todoterreno convencional es útil, pues se muestra una reducción significativa de consumo y emisión de CO<sub>2</sub> para las velocidades típicas de tráfico urbano.

Adicionalmente, se realizó un estudio modal, dividiendo cada uno de los recorridos en zonas con pendiente más o menos constante (ver figura 1 y figura 2) con el fin de discriminar el efecto que sobre el consumo de combustible tiene la orografía (pendiente en %) y de la congestión del tráfico (velocidad media – km/h). Para cada uno de los coches ensayados, en la figura 7, se muestran las tendencias cuando la pendiente es del 0%. Las relaciones empíricas encontradas son las siguientes:

$$\text{Consumo\_LR-9MY[L/100km]} = 7,62 + 51,3 \cdot 1/V_{\text{media}}[\text{km/h}] + 1,26 \cdot P_{\text{Media}}[\%]$$

(R-squared = 79,1 percent; P-Value = 0,0000)

$$\text{Consumo\_LR-10MY-on[L/100km]} = 6,51 + 40,5 \cdot 1/V_{\text{media}}[\text{km/h}] + 1,21 \cdot P_{\text{Media}}[\%]$$

(R-squared = 81,0 percent; P-Value = 0,0000)

$$\text{Consumo\_LR-10MY-off[L/100km]} = 6,49 + 69,9 \cdot 1/V_{\text{media}}[\text{km/h}] + 1,28 \cdot P_{\text{Media}}[\%]$$

(R-squared = 82,1169 percent; P-Value = 0,0000)

En la figura 7, se observa sin embargo, que a muy baja velocidad media el modelo 10MY con el sistema Stop/Start desconectado (“off”) consume ligeramente más que el modelo 9MY. Al mismo tiempo que se observa que a medida que se reduce la velocidad media la ventaja entre usar el sistema conectado (“on”) sobre el funcionamiento con el sistema desconectado (“off”),

es cada vez mayor, como era de esperarse, por el aumento del tiempo a ralentí.

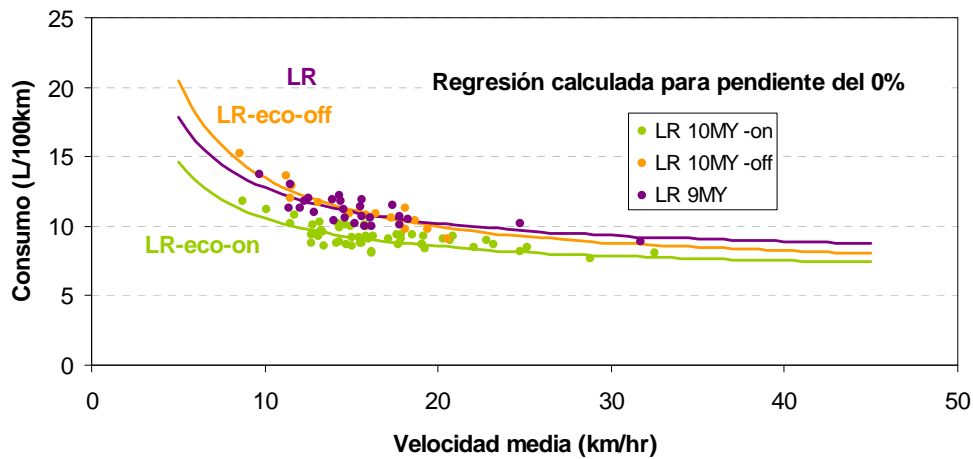


Figura 7. Tendencia de la influencia del sistema Stop/Start en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

La gráfica de la figura 8 muestra la comparación global para la velocidad media de 15,5 km/h del factor de emisión de CO<sub>2</sub>.

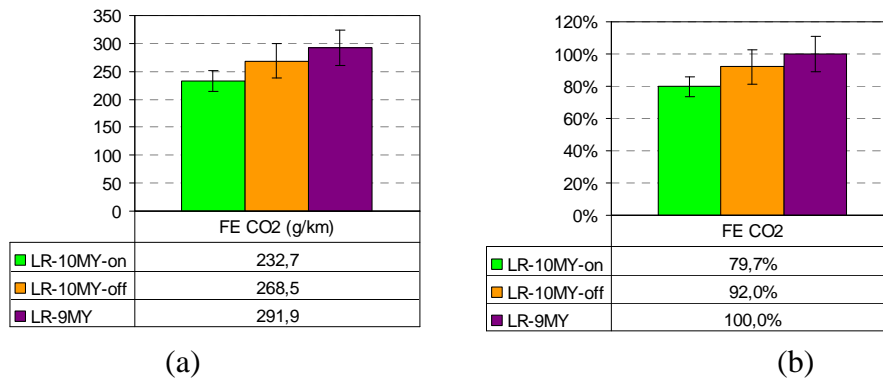


Fig. 8 – Influencia del Sistema Stop/Start sobre el factor de emisión de CO<sub>2</sub> a 15,5 km/h (a) en valor absoluto y (b) en % de reducción con respecto el modelo convencional.

## 2. CONCLUSIONES

El sistema de medida de consumo de combustible y emisiones usado en este estudio ha demostrado su eficacia para analizar las diferencias en eficiencia energética y medio ambiental, en tráfico urbano real, de la implantación de nuevas tecnologías de motores, como el sistema Stop/Start.

Se ha demostrado que la inclusión del sistema Stop/Start en un vehículo todoterreno con motor diesel convencional aporta ventajas para su uso en tráfico urbano, debido a la notable reducción en el consumo y emisiones de CO<sub>2</sub> ligado al incremento del número de paradas y al tiempo de duración de las mismas.

La reducción del consumo de combustible con el motor equipado con el sistema Stop/Start en

tráfico urbano congestionado (velocidad media promedio de 15 km/h) está en el entorno del 20% con respecto a la versión anterior que no incluía este sistema, pudiéndose achacar un 12% al sistema Stop/Start en sí mismo y el resto a mejoras en la calibración del motor, necesarios para asegurar un arranque del motor efectivo y eficaz.

### **AGRADECIMIENTOS**

A la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente por la subvención para el desarrollo de los equipos. A Land Rover España S.L. por la cesión de los vehículos y a los estudiantes de ingeniería Alfredo Fernandez, David Nieto, Emilio Cano, Victor Criado y Victor Pozo, becarios de la UAH y la UPM, por la colaboración en la realización de los ensayos.

### **REFERENCIAS**

CANOSA, M., SEVEL, K., GUEZENEC, Y. y YURKOVICH, S. (2007). Control of the Start/Stop of a Diesel Engine in a Parallel HEV With a Belted Starter/Alternator. *SAE Paper 2007-24-0076*. 2007.

FONSECA, N. y CASANOVA J. (2009). Problemas asociados a la medida de emisiones máxicas instantáneas en motores de vehículos. *VI Jornadas Nacionales de Ingeniería Termodinámica JNIT2009, 3-5 junio 2009, Córdoba, España*.

LAND ROVER Web (2010). <http://www.landrover.es/>

NEDUNGALI, A., BISHOP, J., OSTROWSKI, G., SURAMPUDI, B., ARMIROLI, P. y TASPINAR, E. (2007). An Engine Start/Stop System for Improved Fuel Economy. *SAE Paper 2007-01-1777*. 2007.

PARLAMENTO EUROPEO (2009). Regulation (EC) No. 443/2009 of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009. Setting emission performance standards for new passenger cars as part of the Community's integrated approach to reduce CO<sub>2</sub> emissions from light-duty vehicles. *Official Journal of the European Union 5.6.2009 L140*.

RUEGER, J.J (2008). Clean Diesel – Real Life Fuel Economy and Environmental Performance. Presentation *SAE Gover. / Ind. Meeting, May 13, 2008, Washington D.C., USA*.

UEDA, K., KAIHARA, K., KROSE, K. y ANDO, H. (2001). Idling Stop System Coupled With Quick Start Features of Gasoline Direct Injection. *SAE Paper 2001-01-0545*. 2001.