

Análisis del funcionamiento del motor y de la eficiencia de conducción mediante el uso de sistemas GPS y OBD

Engine Operation Analysis and Driving Efficiency through GPS and OBD systems

Carlos Guardiola, Vicente Dolz, Benjamín Pla, Alberto Reig

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

carguaga@mot.upv.es, vidolrui@mot.upv.es, benplamo@mot.upv.es, alreiber@mot.upv.es

Abstract

El uso generalizado de los teléfonos inteligentes y la disponibilidad de sensores de diagnóstico de abordo (OBD) permite su uso como herramientas para mejorar la forma en que los estudiantes de ingeniería aprenden como los Motores de Combustión Interna Alternativos operan en condiciones de conducción reales. En particular, la metodología de aprendizaje presentada en este artículo se basa en proporcionar a los estudiantes un sensor OBD de bajo coste que en combinación con sus propios teléfonos inteligentes les permite registrar las variables del motor y del vehículo durante sus viajes diarios. Posteriormente, los estudiantes analizan el comportamiento de sus motores, con especial énfasis en el consumo de combustible y la huella de CO₂ de sus patrones de conducción, para finalmente evaluar el potencial de diferentes arquitecturas de sistema de propulsión. La experiencia muestra que el trabajo experimental y el hecho de que los alumnos analicen sus propios hábitos y estilos de conducción despierta su interés en la materia.

The widespread use of smartphones and the availability of On Board Diagnosis (OBD) tools is profited to improve the way automotive engines operate in real conditions are learnt by engineering students. Particularly, the learning methodology presented in this paper is based on providing the students with a low cost OBD registering platform that in combination with their own smartphones allows them to register engine and vehicle variables during their daily commutes. Then, students analyse the behaviour of their engines, with special focus on the fuel consumption and the CO₂ footprint of their driving patterns, and evaluating the potential of different powertrain architectures. The experience shows that the practical work and the fact of analysing their own driving data arouses students' interest in the subject.

Keywords: Internal Combustion Engines, Mechanical Engineering, Automotive Engineering

Palabras clave: Motores de Combustión Interna Alternativos, Ingeniería Mecánica, Automoción

1 Introducción

La elevada densidad de potencia y el rendimiento aceptable del motor de combustión interna alternativo (MCIA), junto con la disponibilidad de los combustibles fósiles, han permitido que el MCIA haya monopolizado el sector del transporte por carretera en el pasado reciente, relegando al resto de tecnologías a usos marginales. Puesto que virtualmente toda la energía empleada en el transporte proviene de los combustibles fósiles, las emisiones de dióxido de carbono asociadas al transporte crecen casi linealmente con el consumo de combustible; de hecho, el transporte por carretera fue responsable en 2006 del 17,7% de todas las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) en la UE-27, aparte de causar el 40% de las emisiones de NO_x, el 36% de las emisiones de CO y de 18% de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, exceptuando al metano (Panorama of Transport (2009)). En este sentido, cualquier esfuerzo para reducir las emisiones globales de GEI debe abordar el rendimiento de la planta propulsiva. De acuerdo con ello, durante las últimas décadas, una vasta cantidad de esfuerzos y recursos se han invertido en la mejora de los MCIA con el fin de aumentar su eficiencia y reducir sus emisiones contaminantes. La sobrealimentación, la inyección directa, o el downsizing se están aplicando con éxito en vehículos de producción en los últimos años (Payri et al. (2009)). Estas técnicas permiten reducir el consumo de combustible sin modificaciones sustanciales del sistema de propulsión. Otras estrategias muy extendidas y que persiguen el mismo objetivo de reducción de consumo y emisiones se basan en la mejora de la gestión del motor (Start&Stop o gestión térmica) o incluso en cambios en parámetros del vehículo (reducción de peso o reducción de la fricción). No obstante, aparte de los esfuerzos realizados en la mejora del rendimiento de los MCIA y los elementos principales de los vehículos convencionales, la fuerte presión por la reducción del consumo ha dado lugar a que otras plantas propulsivas alternativas al MCIA estén siendo evaluadas. De entre ellas, la pila de combustible no es una tecnología suficientemente madura para ser aplicada en vehículos de serie, mientras que los vehículos eléctricos puros (VE) todavía no han tenido éxito debido a su alto coste, reducida capacidad de carga, alcance limitado y a la falta de infraestructura para la recarga. Los vehículos híbridos (VH) combinan una fuente de potencia alimentada con combustible con un sistema de tracción eléctrico, permitiendo la parada del motor en condiciones de ralentí y baja carga, en que el rendimiento es bajo. Esto, junto con la posibilidad de emplear el frenado regenerativo, ha atraído el interés de los fabricantes, que consideran al VH al menos como una solución temporal en el camino hacia los vehículos de cero emisiones.

Paralelamente a la evolución tecnológica del sector de la automoción, la bibliografía científica pone de manifiesto que el estilo de conducción, tiene un impacto decisivo en el consumo de combustible y por tanto en las emisiones contaminantes de un vehículo (Guardiola et al. (2013)). De hecho, es bien sabido que los procesos actuales de certificación de vehículos basados en ciclos de conducción sintéticos y preestablecidos no reflejan la amplia casuística de condiciones de operación a las que se enfrenta un MCIA en condiciones de conducción real (Galindo et al. (2009), Rubino et al. (2008)) y en este sentido, puede suceder que la reducción en las emisiones contaminantes obtenida en el ciclo de homologación no se traduzca necesariamente en una mejora durante la operación en la vida real (Mock et al. (2012)). Varias iniciativas se están creando con el fin de mitigar este problema, por ejemplo, la evaluación de las emisiones en una serie de ciclos aleatoriamente escogidos de una amplia base de datos o la utilización de sistemas de medida embarcados para la evaluación de las emisiones contaminantes en condiciones reales de operación (ECE (2009)).

En cualquier caso, ambas líneas de investigación, esto es, el desarrollo de plantas motrices más eficientes o su evaluación en condiciones de funcionamiento real son ámbitos de trabajo de los futuros Ingenieros Mecánicos. Por este motivo, se plantea la siguiente actividad de aprendizaje, dirigida a los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño (ETSID) de la Universitat de Politècnica València (UPV), y de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial (ETSII de la UPV). La formación de los estudiantes de ambas escuelas es la Ingeniería Mecánica, con especialización en Máquinas y Motores Térmicos.

De acuerdo con estudios de la UPV (Torres et al. (2010)), alrededor del 60% de los estudiantes utilizan un coche para los desplazamientos a la universidad, mientras que la media nacional es de 480 automóviles por cada 1.000 habitantes (Energy, transport and environment indicators (2011)). Por lo tanto, la mayoría de los estudiantes tienen acceso a un vehículo en el que poder registrar sus ciclos de conducción. En este sentido, aunque en el pasado se requerían costosos equipos para la adquisición de los parámetros necesarios para evaluar los perfiles de conducción, actualmente con el uso extensivo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), fácilmente disponible en los teléfonos inteligentes, y herramientas OBD (On Board Diagnostics) de bajo coste permiten un fácil acceso a las condiciones de funcionamiento del motor y el vehículo durante la conducción en la vida real. El OBD ofrece acceso directo a algunos parámetros de la Unidad de Control Electrónico del motor (ECU), mientras que el GPS permite un registro directo de la posición del vehículo. Otros usos con propósitos educativos de los sistemas de GPS se pueden encontrar en (Aydin et al. (2008), Jiménez et al. (2010), Sumali (2006)). Los alumnos participantes en la actividad, organizados en grupos reciben un sensor OBD que en combinación con sus propios teléfonos inteligentes les permite registrar las variables del motor y del vehículo durante sus viajes diarios. Tras la recogida de datos, los alumnos realizan su análisis que se centra en dos aspectos principales. En primer lugar el análisis de las características de su motor y vehículo, calculando parámetros del mismo y comparándolos con datos oficiales. El segundo conjunto de actividades está relacionado con el análisis de los ciclos de conducción, reconstruyendo el consumo de combustible y haciendo el análisis del impacto de diferentes tipologías de sistema de propulsión.

2 Objetivo de la actividad

Los objetivos didácticos de la actividad propuesta son:

1. Contribuir a que el alumno comprenda el funcionamiento de un MCIA instalado en un vehículo y su modo de operación en una aplicación convencional.
2. Contribuir a que el alumno comprenda el efecto de diferentes decisiones de diseño sobre la operación y consumo del motor.
3. Dar al alumno herramientas para la evaluación de parámetros y especificaciones de un vehículo a partir de datos procedentes del propio vehículo.
4. Adquirir competencias en lo relativo a la adquisición y análisis de datos.
5. Adquirir competencias en la redacción de informes y representación de datos.

3 Materiales

Dado que muchos estudiantes poseen un teléfono inteligente con conexión Bluetooth y GPS, se les suministra un sniffer OBD de bajo coste (aproximadamente 20\$) con el que conectarse al sistema OBD del vehículo mediante el teléfono móvil. Existen en el mercado varias aplicaciones gratuitas (Torque, DashCommand,...) que permiten la adquisición de los datos del OBD y su combinación con los datos procedentes de los sensores del propio teléfono (GPS, acelerómetros,...) para los sistemas operativos móviles más extendidos. A aquellos estudiantes que no disponen de Smartphone se les suministra un sistema de adquisición de datos basado en un computador (netbook). Para ello, se emplea un connector OBD-USB (disponible en el mercado desde aproximadamente 15\$) y una antena GPS-USB (disponible a partir de unos 20\$) para adquirir los datos de posición del vehículo. Ambos sistemas están conectados al netbook mediante las conexiones USB y se emplea un software comercial para la adquisición de datos.

Una de las principales ventajas de la actividad propuesta es su bajo coste, que no supera los 20€ en el caso del sistema basado en el Smartphone, y alrededor de 240\$ si el netbook se incluye en el coste. Otras alternativas es el desarrollo de un sistema OBD basado en Arduino (aproximadamente 50\$) (Sarik et al. (2010)) o la plataforma de Raspberry Pi (alrededor de 35 USD) (Mitchel et al. (2012), <http://www.raspberrypi.org>).

Respecto al análisis de la información recogida durante los ensayos, pese a que los alumnos son animados a realizar sus propios programas informáticos de análisis, se les suministra una serie de scripts de MATLAB[®] con las funciones básicas para el análisis.

4 Metodología y estudios propuestos

Después de una breve introducción al comienzo del curso, los diferentes equipos de adquisición se distribuyen entre los estudiantes. Dado que el número de equipos de adquisición es limitado y no todos los alumnos tienen acceso ilimitado a un vehículo, se elige un conjunto de coordinadores cuyo objetivo es asegurar un acceso equitativo al equipo de adquisición a todos los estudiantes y a su vez perseguir que se recoja la cantidad máxima de datos.

El trabajo se articula en dos fases: una primera (fase 1) en la que se realizarán mediciones en vehículos mediante una interfaz OBD, una segunda (fase 2) en la que se analizarán dichos datos con distintos enfoques y herramientas.

Fase 1: toma de datos

El principal objetivo de esta fase es la obtención de mediciones reales en vehículos particulares. Para ello se empleará la interfaz OBD facilitada así como un Smartphone, notebook con antena USB o cualquier otro dispositivo capaz de registrar la posición GPS de forma simultánea.

El registro de los datos se inicia antes de arrancar la marcha y se detendrá una vez el vehículo esté estacionado, por lo que la toma de medidas no afectará al desarrollo del trayecto, ni a la seguridad de las personas en el vehículo o fuera de él. En cualquier caso, las siguientes indicaciones se suministran a los alumnos:

- Deben respetarse en todo momento las normativas, señales, agentes y aspectos legales en lo relativo a velocidades, manejo de elementos electrónicos durante la conducción, etc.

- La adquisición de datos debe realizarse durante el uso del vehículo en ciclos de conducción ordinarios; es deseable que no se trate de una conducción forzada con el único fin de obtener datos.
- El estilo de conducción no debe verse influido por el hecho de realizarse mediciones. Una conducción natural (con el estilo propio de cada conductor) ofrece los mejores resultados. La modificación de la forma de conducir afectará en la calidad de los resultados y la representatividad de las conclusiones obtenidas.
- Debido a que tanto el estilo de conducción como el tráfico o el tipo de vía afectan al modo de uso del vehículo, se requiere el registro de al menos un ciclo urbano y otro extraurbano/mixto. No obstante, se recomienda disponer también de ciclos semejantes con distintos conductores/vehículos/tráfico.
- Dependiendo de las características de los datos obtenidos y/o del interés que suponga un estudio en particular, podrán realizarse ensayos específicos, debiéndose marcar e identificar correctamente para diferenciarlos explícitamente del resto de ensayos.

Todos los datos registrados son accesibles para todos los alumnos mediante la página web de la asignatura. Para facilitar su uso, junto con los datos registrados, el alumno debe subir un archivo de metadatos con el modelo del vehículo (incluido el motor), número de pasajeros, punto inicial y final del trayecto y posibles descriptores del viaje (tráfico, lluvia, ...).

Fase 2: análisis de datos

En esta fase se espera del alumno que sea capaz de realizar un análisis en profundidad de los datos registrados para obtener, no solo conclusiones relacionadas con su estilo de conducción sino también identificar la influencia de parámetros de diseño en el uso del automóvil, el funcionamiento particular de su vehículo, etc.

El trabajo se realizará en grupos de tamaño máximo de 3 personas y sigue un esquema abierto por lo que, aunque se propone una línea de actividades a seguir, será posible la adaptación de ésta (prescindiendo, fortaleciendo o proponiendo otros puntos) atendiendo a las particularidades de cada vehículo, de los ciclos de conducción obtenidos así como del interés propio de los alumnos del grupo.

Se recomienda realizar las actividades con distintos conductores/vehículos/ciclos a efectos comparativos, siempre y cuando estos datos estén disponibles, puesto que estos factores pueden cambiar radicalmente el funcionamiento y el uso del vehículo.

En cuanto a las actividades propuestas se pueden distinguir dos tipos: las destinadas a analizar el comportamiento del motor y el vehículo, y las que tienen por objetivo evaluar el potencial de distintas arquitecturas de sistema de propulsión y estilos de conducción en el consumo de combustible y las emisiones de CO₂. Las actividades propuestas dentro de cada grupo se detallan a continuación.

Análisis del funcionamiento del motor y el vehículo

Para este grupo de actividades es necesario el acceso al OBD del motor, ya que se utilizan las variables internas de la ECU para el cálculo de diversos parámetros. Debe tenerse en cuenta que, dependiendo del vehículo y el tipo de motor, el número de señales accesibles pueden variar de forma importante. Por lo tanto, el profesor debe ser consciente de los datos que los estudiantes son capaces de adquirir, y evaluar las actividades que pueden realizar con ellos.

- a) Estudio de la relación de transmisión del vehículo: La relación de transmisión instantánea

del vehículo puede calcularse a partir de los datos de velocidad y régimen de giro. Puesto que pueden aparecer deslizamiento en diversas partes del sistema de tracción (principalmente en el embrague) el alumno deberá realizar un histograma como el presentado en la Figura 1 para identificar las diferentes relaciones de transmisión de su vehículo. El ralentí (a 0) y las diferentes relaciones de transmisión (marcada con líneas de trazos) se pueden obtener por la acumulación significativa de puntos de funcionamiento. Puntos registrados fuera de esas regiones están relacionados principalmente con el cambio de marchas y con otros deslizamientos en el embrague. Tras obtener las relaciones de transmisión del vehículo el alumno debe comparar sus resultados con los datos que ofrece el fabricante o la prensa especializada.

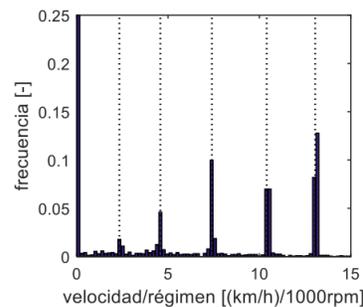


Figura 1 – Relaciones de transmisión del vehículo.

- b) Inercia térmica del motor: Los estudiantes calculan el tiempo que necesita su vehículo para alcanzar la temperatura nominal del refrigerante en diferentes escenarios de conducción. Por ejemplo, la Figura 2 muestra dos ejemplos, uno en operación más agresiva al principio del ciclo (rojo) y el otro con conducción más suave al principio del ciclo (azul). Debido a que la potencia solicitada en el primer caso es mayor al inicio del ciclo, el motor obtiene su temperatura de referencia más rápido (80°C). Cabe notar que una vez la temperatura de trabajo se alcanza el termostato del motor es capaz de regularla de forma que aunque el ciclo azul tiene mayores requerimientos de velocidad y por tanto de potencia, la temperatura permanece constante.

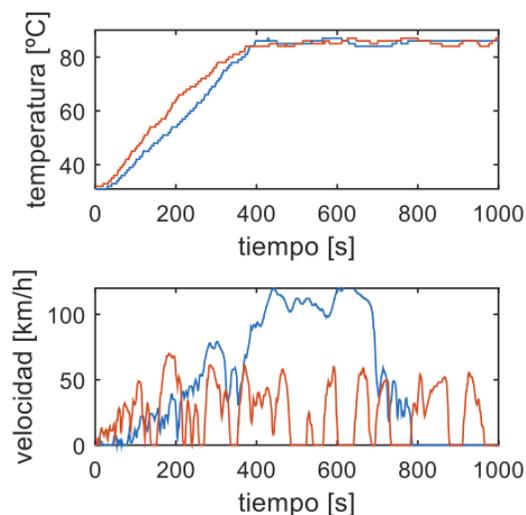


Figura 2 – Evolución de la temperatura del refrigerante en dos ciclos de conducción diferentes.

c) Evaluación de la dependencia de los parámetros de control del motor con el régimen de giro y la demanda de potencia: A partir de los datos del OBD es posible evaluar los valores habituales de la presión del raíl (para motores de inyección directa) y el avance del encendido (para los motores de encendido provocado), así como la presión de admisión en el caso de motores sobrealimentados. En algunos casos, la información relativa al dosado también está presente. Pese a que la baja frecuencia y la naturaleza no determinista del sistema no permite un análisis preciso durante los transitorios, los estados estacionarios como el ralentí y condiciones de operación estables (120km/h por autovía) pueden ser estudiados con facilidad para identificar las tendencias de la estrategia de control del motor (por ejemplo, el avance del encendido aumenta con la velocidad del motor, la presión de inyección se incrementa con la demanda de combustible, esto es con el régimen y la posición del acelerador, mientras que la presión de admisión aumenta con la carga). A modo de ejemplo, la Figura 3 muestra los mapas de presión de admisión y presión de inyección de un motor de encendido provocado, sobrealimentado y con inyección directa. Además de las tendencias generales, el alumno puede identificar que: (i) en motores de inyección directa con encendido provocado, la presión máxima de inyección está entorno a 100bar, mientras que en motores de encendido por compresión la presión máxima de inyección está del orden de 1600-1800bar, (ii) en el caso de la presión de admisión algunos puntos parecen estar fuera de su posición natural por los efectos dinámicos.

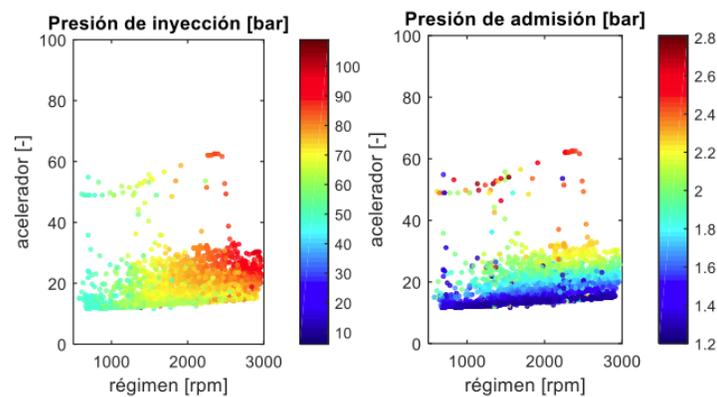


Figura 3 – Mapa de presión de inyección y presión de admisión estimado a partir de las medidas del sistema OBD en un motor de inyección directa sobrealimentado de encendido provocado de 1.4l de cilindrada.

Análisis del impacto de los hábitos de conducción y el potencial de diferentes tipologías de planta motriz en el consumo de combustible

Para evaluar el impacto de los hábitos de movilidad y de las diferentes tipologías de plantas motrices en el consumo de combustible, se parte de los perfiles de velocidad grabados durante la operación del vehículo. Como se expuso con anterioridad, dichos datos se obtienen a partir de los datos OBD cuando esté disponible, o de los datos de GPS cuando no hay acceso OBD¹ (por ejemplo, en los autobuses públicos o motocicletas). Por otra parte, el consumo de combustible del vehículo puede reconstruirse de diversas formas en función de los datos disponibles:

- Si el gasto de aire y lambda están disponibles en el OBD el cálculo es directo.
- Si el motor es de encendido provocado y se mide el gasto de aire, puede suponerse que

¹Se recomienda el uso del OBD, pues es habitual que el GPS pierda conexión o que de problemas cuando la velocidad del vehículo es baja.

el motor opera siempre con dosado estequiométrico para obtener así el consumo de combustible.

- Si se conoce la potencia entregada por el motor y se dispone del mapa de eficiencia del motor se puede calcular la potencia del combustible consumido como el coeficiente entre ambos, para posteriormente, con el poder calorífico calcular el combustible consumido.

De las tres opciones anteriores, se recomienda la última, pues permitirá escalar el motor para evaluar posteriormente el efecto del Downsizing. Para que el alumno pueda aplicar dicha aproximación, el punto de partida es reconstruir la potencia demandada por el vehículo durante el ciclo. Puesto que el régimen de giro del motor se obtiene directamente del OBD, será necesario calcular la evolución del par motor a lo largo del ciclo. Para reconstruir el par ha de considerarse que la fuerza resistente incluye los siguientes términos: uno de fricción de rodadura, uno de resistencia aerodinámica y uno función de la pendiente (α) de la carretera de acuerdo con la siguiente expresión:

$$F_r = ma + fm \cos(\alpha) + c_d \rho_{atm} A_{frontal} \frac{v^2}{2} + mg \sin(\alpha), \quad (1)$$

donde F_r es la fuerza resistente del vehículo, dependiente de la masa (m), el coeficiente de rodadura (f), la densidad del aire (ρ_{atm}), el producto del coeficiente aerodinámico y el área frontal ($c_d A_{frontal}$), la velocidad (v) y la aceleración del vehículo (a). Algunos valores típicos de los parámetros de la expresión anterior son: $f = 0.015$, $c_d = 0.32$, y $A_{frontal} = 2.2m^2$; no obstante es recomendable emplear valores específicos para cada vehículo si se dispone de ellos (la masa puede obtenerse de las especificaciones del vehículo). Por su parte, dado que la pendiente es difícil de evaluar, puede razonarse si es asumible considerar una pendiente nula u obtenerse de una base de datos (por ejemplo GOOGLE MAPS API[©]).

El par motor T_e en el instante i , si se considera que la transmisión tiene un rendimiento del 100%, resulta:

$$T_e(i) = \frac{F_r(i)v(i)}{\omega_e(i)}, \quad (2)$$

siendo v la velocidad en m/s y ω_e el régimen del motor en rad/s .

Si una vez conocidas las evoluciones del régimen de giro y el par motor, el alumno considera que el motor se comporta de forma cuasiestática, podrá calcular el consumo de combustible del mismo evaluando el rendimiento en cada instante a partir de un mapa motor como el de la figura siguiente:

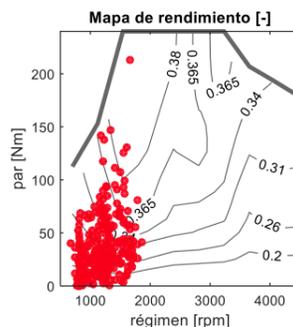


Figura 4 – Mapa de un motor Diesel de inyección directa sobrealimentado de 2.2l de cilindrada escalado a 80kW (par máximo de 240Nm) con los puntos de operación de un vehículo de 1336kg en un ciclo urbano en Figura 2.

Puesto que el mapa de rendimiento de un motor no se obtiene de forma sencilla a partir de la bibliografía, se suministran a los alumnos dos mapas característicos (uno de un motor Diesel de inyección directa sobrealimentado de 2.2l de cilindrada y otro de un motor de encendido provocado sobrealimentado de 2l de cilindrada) que los alumnos deben escalar de acuerdo con el par y régimen máximo de su motor para realizar sus simulaciones. Una vez que los puntos operativos se representan en el mapa, el consumo de combustible para la ruta se puede estimar como:

$$m_f = \sum_{i=1}^n \frac{T_e(i)\omega_e(i)}{\eta_e(i)PCI}, \quad (3)$$

donde $\eta_e(i)$ es el rendimiento interpolado un mapa equivalente al de la Figura 4 y PCI es el poder calorífico inferior del combustible. La conversión de la masa de combustible a gramos de CO_2 puede obtenerse multiplicando el consumo de combustible por 3.2 que representa el factor de conversión de la masa de combustible a CO_2 tanto para diesel como para gasolina.

El alumno calculará el consumo de combustible en el conjunto de rutas que haya recogido y los resultados le servirán de base para los siguientes estudios:

- Efecto del downsizing: El alumno escalará el motor térmico (mapa cuasiestático) a diferentes niveles para evaluar los beneficios que tiene emplear un motor térmico más adecuado para sus requerimientos de potencia. Un ejemplo de los resultados esperados aparece en la Figura 5.
- Efecto de la masa del vehículo: El alumno variará la masa del vehículo (Ecuación 1) con lo que variará la potencia demandada por el vehículo y por tanto su consumo de combustible en un ciclo dado. El alumno analizará así el efecto de la masa del vehículo en el consumo de combustible y las emisiones de CO_2 (ver ejemplo en Figura 5).

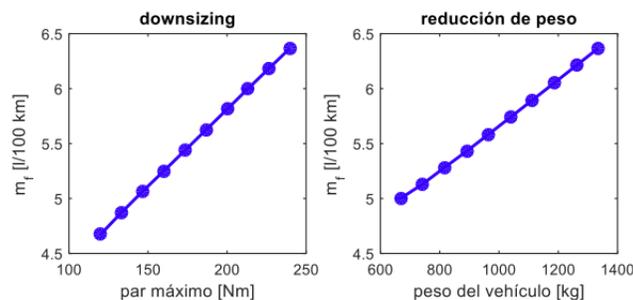


Figura 5 – Efecto del downsizing y la reducción del peso del vehículo en el consumo de combustible en el ciclo urbano de la Figura 2.

- Efecto del sistema Start&Stop: El alumno eliminará del cómputo del consumo de combustible aquellas fases en las que el vehículo está parado, eliminando así el consumo de combustible a ralentí y simulando las prestaciones de un vehículo con sistema Start&Stop. A modo de ejemplo, para el ciclo urbano considerado con en la Figura 2 con el motor de par máximo 240Nm y el vehículo de peso 1336kg el consumo de combustible se reduce de 6.37l/100km a 4.5l/100km. El alumno analizará en que tipo de ciclos el sistema Start&Stop tiene potencial.
- Evaluación de la eficiencia energética de la conducción: Tras el análisis del consumo obtenido durante la primera tanda de toma de datos, los alumnos tienen la oportunidad de repetir las medidas variando su estilo de conducción con el objetivo de ser más eficientes

(conducción suave, evitando aceleraciones y deceleraciones bruscas). Otra medida para reducir el consumo de combustible, especialmente durante trayectos extraurbanos, es reducir la velocidad máxima con el limitador de velocidad. Así pues se sugiere que los alumnos que dispongan de limitador de velocidad en su vehículo, realicen un mismo trayecto con diferentes límites.

5 Respuesta de los estudiantes y conclusiones

La actividad se ha llevado a cabo en dos asignaturas de MCIA impartidas en dos titulaciones (Ingeniero Industrial e Ingeniero Mecánico) en dos escuelas diferentes (ETSII y ETSID de la UPV) durante 4 años. En ambos casos los estudiantes estaban en el último año de sus estudios de grado. Las actividades presentadas fueron utilizados como herramientas de motivación y sirvieron para transferir los conocimientos teóricos al funcionamiento de los MCIA en condiciones reales de conducción. Para muchos estudiantes, esta actividad supuso su primera experiencia con sistemas de adquisición de datos de forma autónoma y el análisis de datos reales con la problemática que ello conlleva (errores de medida, retrasos entre diferentes señales, etc?). En general, los alumnos han mostrado en todas las ediciones un notable interés en la actividad, y algunos de ellos dedicado un esfuerzo importante con grabación desde diferentes vehículos más allá de su propio coche o el diseño de aplicaciones informáticas elaboradas para el análisis de los datos recogidos.

Las dificultades más importantes encontradas están relacionadas con la gestión de los equipos de adquisición (4 equipos para 30 alumnos) pero hasta el momento han sido resueltas satisfactoriamente con ayuda de los alumnos coordinadores.

Referencias

-  **ECE (2009).**
Proposal to develop a new global technical regulation on worldwide harmonized light vehicle test procedures.
United Nations. Economic commission for Europe. Inland Transport Committee. World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations. Executive Committee (AC3) of the 1998 Global Agreement, ece/trans/wp29/ac3/26 edition.
-  **Eurostat, European Union (2011).**
Energy, transport and environment indicators.
-  **Eurostat Statistical Books (2009).**
Panorama of Transport.
-  **Raspberry Pi Foundation website.**
<http://www.raspberrypi.org>.
-  **Aydin, S., Kaptan, H. (2008).**
Computer-aided mobile gps education set.
International Journal of Engineering Education 24(1), 40–45.
-  **Galindo, J., Climen,t H., Guardiola, C., Tiseira,A., Portalier, J. (2009).**
Assessment of a sequentially turbocharged Diesel engine on real-life driving cycles.
International Journal of Vehicle Design 49(1-3), 214–234.
-  **Guardiola, C., Pla, B., Blanco-Rodríguez, D., Reig, A. (2013).**
Modelling driving behaviour and its impact on the energy management problem in hybrid electric vehicles.
International Journal of Computer Mathematics, DOI: 10.1080/00207160.2013.829567.
-  **Jiménez, F., Naranjo, J. (2010).**
Multidisciplinary practicals in satellite navigation systems in road vehicles for subjects taught in different engineering schools.
International Journal of Engineering Education 26(1), 126–135.
-  **Mitchell, G. (2012).**
The Raspberry Pi single-board computer will revolutionise computer science teaching.
Engineering & Technology IEEE.
-  **Mock, P., German, J., Bandivadekar, A., Riemersma, I. (2012).**
Discrepancies between type-approval and realworld fuel consumption and CO₂ values in 2001-2011 European passenger cars.
Technical report, The International Council on Clean Transportation.
-  **Payri, F., Luján, J., Guardiola, C., Pla, B. (2015).**
A challenging future for the ic engine: new technologies and the control role.
OGST Journal 70(1), 3–211.



Rubino, L., Bonnel, P., Hummel, R., Krasenbrink, A., Manfredi, U., De Santi, G. (2008).
*On-road emissions and fuel economy of light duty vehicles using pems
Chase-testing experiment.*
SAE Paper 2008-01-1824.



Sarik, J., Kymissis, I. (2010).
Lab kits using the Arduino prototyping platform,.
Frontiers in Education Conference (FIE), 2010 IEEE.



Sumali, H. (2006).
*Developing a laboratory course in sensors and data acquisition for
agricultural engineering.*
International Journal of Engineering Education 22(6), 1231–1241.



Torres Martínez, A. J. et al. (2010).
Plan de transporte para la Universidad Politécnica de Valencia: Campus de Vera.
Universitat Politècnica de València.