

Pasado y presente en el diagnóstico de los motores en los talleres de servicio automotor. Del vacuómetro a los sistemas basados en la nube

Past and present in the diagnosis of engines in automotive service workshops. From vacuum tester to cloud-based systems

Luz Adriana Mejía-Calderón¹
Carlos Alberto Romero-Piedrahita²
Mauricio Monroy-Jaramillo³

¹ Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia). Correo electrónico: adriamec@utp.edu.co
orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3008-2476>

² Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia). Correo electrónico: romero@utp.edu.co
orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5647-1918>

³ Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia). Correo electrónico: mauriciomonroy@utp.edu.co
orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5279-0505>

Recibido: 15-01-2020 Aceptado: 01-12-2020

Cómo citar: Mejía-Calderón, Romero-Piedrahita, Monroy-Jaramillo (2020). Pasado y presente en el diagnóstico de los motores en los talleres de servicio automotor. Del vacuómetro a los sistemas basados en la nube. *Informador Técnico*, 85(1), 107-125.
<https://doi.org/10.23850/22565035.2623>

Resumen

En el artículo se realizó una comparación entre el pasado y el presente en el diagnóstico de los motores, iniciando con una breve reseña histórica del diagnóstico clásico de motores, fallos comunes en algunos de sus sistemas y detalle de los procedimientos diagnósticos del conjunto móvil del motor. Todo ello, como antecedente y contraposición con las técnicas actuales modernas que se basan en el análisis de la información provista por las herramientas de diagnóstico de bordo y por las señales de los sensores del tren de potencia. El trabajo realizado busca actualizar y extender la mirada sobre la práctica del diagnóstico automotor, con el propósito de ilustrar la utilización de los procedimientos modernos, en especial para los técnicos de servicio, algunos parámetros de operación del motor de un vehículo son registrados para un recorrido de conducción en ciudad, para posteriormente graficar y analizar algunos mapas de operación y comportamientos de la dinámica de tracción del vehículo que pueden obtenerse a través de la información obtenida por el sistema *On Board Diagnostics II* (OBD II).

Palabras clave: diagnóstico automotor; motores de combustión; OBD II; servicio técnico; automóvil.

Abstract

In this paper, a comparison between the past and the present in the diagnosis of the engines is made, starting with a brief historical review of the classic diagnosis of engines, common failures in some of its systems, and details of the diagnoses of the alternative engines, as background and contrast with the current modern techniques that are based on the analysis of the information provided by the on-board diagnostic tools and the signals of the sensor of the power train. This work seeks to update and extend the view on the practice of automotive diagnosis. To illustrate the use of those modern procedures, especially for service technicians, some operating parameters of a vehicle's engine are recorded for a test city driving tour, for later graphs and analysis

of some operation maps and vehicle dynamics behaviors that can be obtained through the information obtained by the On-Board Diagnostics II system (OBD II).

Keywords: automotive diagnosis; combustion engines; OBD II; technical service; automobile.

1. Introducción

Actualmente, los automóviles ya hacen parte del Internet de las cosas, son dotados con sensores digitales integrados en partes mecánicas y, en general, pueden incluir un sensor de ubicación geográfica (Breitschwerdt; Cornet; Kempf; Michor; Schmidt, 2017). La adquisición de la información de operación de los vehículos, mediante los dispositivos de comunicación celular, facilita el procesamiento externo de esta información y la hacen disponible para los diferentes vendedores de servicios, conductores, proveedores de servicios posventa independientes, operadores del mercado de datos y analistas (Günther; Wenzel; Wegner; Rettig, 2017). La información provista por el sistema de instrumentación y control del automóvil puede utilizarse para varios tipos de servicios, incluidos navegación, información y entretenimiento, mantenimiento y diagnóstico y, por supuesto, las aseguradoras (Breitschwerdt *et al.*, 2017; Scott; Frey; Roupail, 2017). Algunos fabricantes de equipo original (*Original Equipment Manufacturers* - OEM) ahora permiten a los conductores transmitir datos del automóvil a través de su propio plan de datos de teléfonos inteligentes, como es el caso de la aplicación Audi MMI en iTunes (Ipad, 2020). De especial importancia para los mecánicos de servicio automotor, resulta la calidad y cantidad de información aportada por los sistemas de gestión y control de los motores de combustión de los vehículos (Martens; Mueller-Langer, 2018; European Automobile Manufacturers Association [ACEA], 2016; Hossain; Zahid; Hoque, 2017).

Dada la característica compleja del motor como máquina, en la que participan procesos químicos, térmicos, eléctricos y mecánicos, su funcionamiento se hace también complejo. La imperfección de un proceso genera la imperfección del trabajo del motor en su totalidad, considerado esto no solo en la etapa de diseño y fabricación, sino también a lo largo de su vida de explotación (Presoto de Oliveira; Wehrmeister; de Oliveira, 2017). Desde su invención, los motores de combustión han sido objeto de perfeccionamiento en diseño y mantenimiento, y el diagnóstico de funcionamiento ha sido una actividad recurrente de su ciclo de vida. Actualmente, cuando las exigencias ambientales son más rigurosas, la diagnosticabilidad es una característica que, de manera obligatoria, debe introducirse en los vehículos de las casas fabricantes (Rizzoni; Onori; Rubagotti, 2009).

En los motores modernos se incluyen sistemas de autodiagnóstico, asociados principalmente a la gestión electrónica de los sistemas de tratamiento de gases de escape, alimentación, encendido, eventos valvulares y tratamiento de gases (Denton, 2016). El desarrollo de sistemas electrónicos y telemáticos en los automóviles, junto con las tecnologías de comunicación inalámbrica, ha hecho posible conectar e intercambiar información con un vehículo, por ejemplo, a través del uso de GPS, tabletas y teléfonos celulares (Amarasinghe *et al.*, 2015; Scott *et al.*, 2017). Esta oportunidad de comunicarse fácilmente con un vehículo y sus sistemas electrónicos ha generado posibilidades interesantes para el desarrollo de los diagnósticos relacionados con el vehículo (desempeño, consumo de combustible, emisiones), la gestión de flotas de transporte (Tsiakmakisa *et al.*, 2017), el mantenimiento y los servicios de reparación a desarrollar. Estos servicios pueden recopilar información sobre la dinámica del motor y del vehículo, el consumo de combustible, y luego usarla para diferentes propósitos, incluyendo el estudio del comportamiento del conductor, los regímenes y ciclos de conducción de cada modalidad de transporte, así como la evaluación de la agresividad de manejo de los conductores, entre otros (Bishop; Stettler; Molden; Boies, 2016; Lanigan; Kavulya; Narasimhan; Fuhrman; Salman, 2011).

Aparte de evocar y actualizar la mirada sobre las técnicas de diagnóstico de los motores de automóviles, un objetivo importante del presente trabajo consiste en ponderar la disponibilidad y utilización en el mercado de los dispositivos y sistemas de bajo costo para adquisición de señales e información en motores de automóviles, por parte de los mecánicos del servicio automotor, así como también poner en valor la importancia de la información adquirida con los equipos adaptables al conector de bordo OBD (*On Board Diagnostics II system*, OBD II) de los vehículos modernos, para realizar estudios de diagnóstico de amplio contenido conceptual y científico.

Si bien, las reflexiones presentadas en este artículo se orientan al diagnóstico de servicio, es pertinente destacar que actualmente la resolución temporal de la información adquirida de la instrumentación embarcada de los vehículos es suficiente para abordar estudios de caracterización y diagnóstico de desempeño dinámico de sistemas, como el de admisión y el escape de los motores, entre otras posibilidades (Romero; Mejía; Acosta, 2017). Los sistemas de transporte inteligente (ITS) están experimentando una gran revolución, se acuñan continuamente nuevos paradigmas de comunicación como el sistema denominado "*Internet of vehicles (IoV)*", descrito por varios autores (Sadiku; Tembely; Musa, 2018; Shen, Fantacci; Chen, 2020; Wu; Yang; Li, 2016; Kirthika; Vecraraghavatr, 2018). IoV se refiere a la interacción de datos en tiempo real entre los vehículos y las carreteras, los vehículos y los vehículos, así como los vehículos y las ciudades, utilizando la tecnología de las comunicaciones móviles, los sistemas de navegación de vehículos, los dispositivos terminales inteligentes y las plataformas de información para permitir el intercambio/interacción de información y un sistema de red de control de instrucciones de conducción.

Actualmente, se adoptan protocolos de transporte inalámbrico de datos propios de "*Internet de las cosas (IoT)*", como el de redes de área amplia y de baja potencia, conocido como *Low Power-Wide Area Network* (LPWAN). En el trabajo de Santa, Sanchez-Iborra, Rodriguez-Rey, Bernal-Escobedo y Skarmeta (2019) describen detalladamente el diseño de su plataforma de monitorización integral de vehículos, basada en LPWAN, siguiendo una arquitectura de recogida de datos, que permite la provisión de una serie de servicios de sistema de transporte inteligente (ITS). El sistema desarrollado por los autores permite obtener periódicamente la posición vía Bluetooth desde un *Global Position System* (GPS), y un conjunto de parámetros de un vehículo Honda Civic 1.6 i-VTEC de 2003 con motor de gasolina - conectando un computador portátil al puerto OBD-II, mediante un conector basado en el ELM327-, y enviar paquetes a nivel de aplicación de estos datos a un servidor, utilizando la interfaz LPWAN UNIX.

Tras resumir la metodología seguida para contextualizar y formalizar las reflexiones y análisis que dieron lugar al presente artículo, a continuación, se presenta una mirada rápida al diagnóstico clásico de los motores, a partir de trabajos anteriores realizados (Romero *et al.*, 2002), se describen algunas de las fallas comunes en sus sistemas y se detallan algunos procedimientos de diagnóstico del conjunto móvil de los motores de encendido provocado actuales. Seguidamente, se comenta la utilización de herramientas de diagnóstico de bajo costo compatibles con los sistemas de diagnóstico de bordo OBD II, como una alternativa importante para monitorear los automóviles por parte de los técnicos de servicio en los talleres independientes, pero también como herramienta útil y barata para realizar estudios de dinámica del automóvil y de movilidad en el transporte.

2. Metodología

La metodología realizada en este trabajo fue de tipo documental, complementada con visiones de campo de los talleres de concesionarios de automotores y talleres independientes de servicio y reparación de automóviles, aparte de la asistencia y participación de los autores a eventos académicos y exhibiciones relacionadas con equipos de pruebas y diagnóstico de automotores. Se redactó este trabajo a partir del conocimiento y la experiencia propia de los autores en el tema, de la práctica adquirida en diagnóstico de vehículos por más de 30 años, del seguimiento a la evolución tecnológica de los equipos y sistemas para el diagnóstico y servicio, y

de la revisión de publicaciones representativas relacionadas con la temática. Las preguntas que dirigieron el trabajo fueron: ¿Qué importancia ha tenido el diagnóstico en la explotación de los automóviles? ¿Cómo han evolucionado las técnicas de diagnóstico de servicio de los motores de combustión interna alternativos? ¿De qué medios han dispuesto los mecánicos de servicio en los talleres independientes para realizar el diagnóstico de los motores de combustión? ¿Cuál es el nivel tecnológico actual de los dispositivos y sistemas de diagnóstico de los motores de combustión? ¿Ante el elevado costo de las herramientas de diagnóstico comerciales, qué capacitación y qué opciones económicas se presentan para los mecánicos de servicio independientes? De esta manera, la intención que guía la presente exploración de las herramientas de diagnóstico de servicio consiste en ofrecer una mirada sobre la vigencia de las técnicas de diagnóstico tradicionales, su complementariedad con los sistemas de escaneo de información embarcada y su segura extensión a los sistemas de la Gran Información (“*Big Data*”) del contemporáneo *Internet de las Cosas* e *Internet de los Vehículos*.

El proceso de búsqueda fue manual, priorizando memorias formales de eventos específicos y artículos científicos en revistas desde 2015, principalmente, seleccionados por sus títulos y relevancia, aunque se estudiaron también trabajos divulgativos y de análisis de oportunidades en la práctica y en los talleres (Baby; Uribe, 2015; Barreto, 2020; Preston, 2018). Se consultaron mayormente revistas y conferencias disponibles en los repositorios de Internet Google Scholar, IEEE, Science Direct, SAE y Springer. También se han consultado páginas-web comerciales de fabricantes de equipos de diagnóstico (Delco-Remy y Snap-on, por ejemplo), de profesionales del servicio automotor, de asociaciones de técnicos de servicio, así como literatura informal, sin proceso de búsqueda definido, pero buscando confirmar y ajustar las conclusiones extraídas de la literatura científica. En general, se analizó literatura clásica relacionada con el diagnóstico automotor, equipos de diagnóstico de taller e instrumentación de motores. Se hizo énfasis en la recolección y utilización de información adquirida con dispositivos y conectores OBD.

3. Evolución del diagnóstico de los motores a gasolina

En la medida en que el motor se perfecciona, se hacen necesarios nuevos métodos para tomar las decisiones de servicio y reparación. Inicialmente, en ausencia de los medios electrónicos, los mismos fabricantes de los motores preveían las rutinas de inspección y ajustes a realizarse en los motores y su periodicidad, de manera que se pudiera garantizar la fiabilidad de operación y su longevidad. Aún hoy son válidas esas prácticas. Periódicamente se deben realizar operaciones de diagnóstico de los niveles de operación de los mecanismos y los sistemas, pero también deben contemplarse rutinas de diagnóstico ante la aparición de problemas inesperados. Históricamente, para los motores se ha previsto un conjunto de pruebas, entre las cuales pueden citarse algunas, a manera de ilustración:

- **Prueba de compresión en cada cilindro, en seco y húmeda.** Esta prueba se realiza a la velocidad de arranque para determinar si la presión se pierde a través de los anillos del pistón o de las válvulas.
- **Prueba de fugas.** Las fallas de hermeticidad se pueden diagnosticar con un probador de fugas, llevando por turnos el aire comprimido a los cilindros a través de los asientos de las bujías, asegurándose que las válvulas están cerradas (proceso de compresión) y midiendo la caída de presión en el manómetro, debidas a las posibles fugas. Las fugas pueden deberse, entre otras causas, al desgaste de los anillos, la formación de alquitrán en ellos o su rotura, al desgaste del cilindro o de las paredes de las ranuras del pistón o la pérdida de asentamiento de las válvulas y del empaque de la culata.
- **Prueba de ruido.** Utilizando un estetoscopio y aprovechando la experticia o el conocimiento de los sonidos normales en los diferentes puntos de aplicación del estetoscopio (tapa de válvulas, culata, cilindros y apoyos de bancada, entre otros). Las fallas en el mecanismo manivela-deslizador generan ruidos y golpes, aumento en el consumo de aceite y reducción de la compresión. Los golpes fuertes durante el trabajo del

motor surgen por el desgaste de los pasadores y los pistones; el desgaste, la fusión o el blanqueado de los casquetes de biela o de bancada; la excentricidad y ovalicidad de los muñones de bancada; el aflojamiento de los pernos de sujeción del volante al cigüeñal; la holgura excesiva entre los cojinetes para la retención axial y los muñones del cigüeñal; y el trabajo con un aceite inadecuado. Desconectando los cables de las bujías uno a uno, con el motor caliente funcionando, se aísla el ruido por presión de trabajo de los cojinetes de biela y se escucha mejor el sonido de los cojines de bancada.

- **Pruebas de vacío en el múltiple de admisión con ayuda de un vacuómetro.** Si la lectura es estable entre 15 y 22 pulgadas de mercurio indica que el motor está en buenas condiciones. Si la lectura es estable entre 10 y 15 pulgadas de mercurio el vacío es bajo y puede ser síntoma de que el encendido es retrasado o que se presentan fugas en la admisión. Si la lectura es muy baja, puede ser debido a válvulas pegadas. Vibración de lectura elevada y estabilización de estas con el aumento de las revoluciones del motor pueden indicar desgaste excesivo de las válvulas. Una resistencia excesiva en el múltiple de escape produce caída de presión de vacío a medida que aumentan las revoluciones. Una intensa fluctuación del vacío al aumentar las revoluciones del motor puede indicar un defectuoso empaque de culata, fugas en las válvulas, resortes de válvulas cedidos o fallas en el sistema de encendido. Aumentando las revoluciones del motor y cerrando bruscamente la mariposa de aceleración, el vacío debe incrementarse significativamente, de lo contrario podría estarse frente a un desgaste de anillos de pistón.
- **Observación del consumo de aceite.** Transcurrido un período de operación del motor, apreciaciones sobre el consumo de aceite pueden, por ejemplo, conducir al operario a cuestionarse desde el estado de la válvula de ventilación positiva del cárter (PCV) hasta el estado de las guías de las válvulas y sus sellos. Las causas de un excesivo consumo de aceite pueden ser el desgaste axial o la rotura de los anillos del pistón, su pérdida de elasticidad; la obstrucción de los anillos rascadores de aceite; el desgaste de las superficies de los cilindros, la presencia de ralladuras en ellos.
- **Observación del desgaste del motor.** Aprovechando servicios prestados por los proveedores de lubricantes, se diagnostica el motor a partir de la concentración de los productos de desgaste (plomo, cromo, hierro y aluminio, entre otros) en el aceite del motor, dada la relación con la intensidad del desgaste de las piezas correspondientes (cojinetes, anillos, cilindros).

Actualmente, los métodos tradicionales de monitoreo de condición utilizando la inspección manual, confiando en la experiencia de los técnicos para monitorear y verificar el rendimiento del motor, han dado paso al monitoreo continuo de la condición del motor mientras está funcionando, gracias a la aplicación de los sistemas electrónicos y de comunicaciones (Duarte; Gonçalves; Farias, 2016).

Para combatir el problema del esmog en Los Ángeles, el estado de California en Estados Unidos comenzó a exigir sistemas de control de emisiones en los vehículos de pasajeros desde 1966. El gobierno federal extendió estos controles en todo el país en 1968. En 1970 se estableció la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2015). Con esto se inició la introducción progresiva de una serie de estándares y requisitos de emisiones para el mantenimiento de vehículos. Para cumplir con estos estándares, los fabricantes se proyectaron en el perfeccionamiento de los sistemas de encendido y alimentación de combustible controlados electrónicamente. El campo de la ingeniería automotriz ha visto una creciente presencia de componentes electrónicos y sistemas a bordo de vehículos desde la década de 1970. Una consecuencia secundaria, pero importante de estos desarrollos fue la adopción de regulaciones de diagnóstico a bordo, destinadas a garantizar que los sistemas de control de emisiones permanezcan funcionales durante un período determinado (o kilometraje del vehículo) (California Air Resources Board, 2005). Además, la presencia de microcontroladores a bordo del vehículo condujo a una proliferación de funciones implementadas a través de sistemas electrónicos y software relacionado con la seguridad y la conveniencia del cliente, creando la necesidad de diagnósticos a bordo más sofisticados. Actualmente, un porcentaje significativo del código de software en un automóvil está dedicado a funciones de diagnóstico.

La idea detrás de las normas originales de diagnóstico de bordo, OBD (CSS Electronics, 2020), era garantizar que el sistema de control de emisiones de escape funcionara durante un período de tiempo asociado con la garantía o con los requisitos regulados. Las regulaciones de OBD obligan a que cualquier falla en el sistema de control de emisiones que afecte a los algoritmos de software, sensores, actuadores u otro hardware que pueda conducir a un aumento de las emisiones de escape, de modo que el vehículo ya no cumpla con las regulaciones de emisiones, se detecte en tiempo real. Estas regulaciones entraron en vigor por primera vez en 1988 y se ampliaron aún más en 1994 a través de las regulaciones OBD-II, afectando a los componentes o subsistemas que podrían aumentar las emisiones de escape del motor por encima de un umbral predeterminado (Doebler; Carl; Romeo, 2016).

En 1988, la Sociedad de Ingenieros Automovilistas (SAE) estableció un conector estándar y un conjunto de señales de prueba de diagnóstico. La EPA (2015) adaptó las normas de los programas de diagnóstico a bordo SAE, adoptando el conector y protocolo para el sistema de diagnóstico OBD-II (Barreto, 2017, McCarthy, 2015). La interfaz estándar OBD-II no solamente es utilizada por el fabricante para sus funciones avanzadas de diagnóstico, guardar el registro de las fallas al momento de ocurrencia, sino también por quienes pretendan realizar monitoreo y diagnóstico. El equipo de diagnóstico dejó de ser solo un monitor y registrador de la operación del motor, para pasar a controlar la operación de varios subsistemas y la notificación de las señales conocidas al sistema.

Las crecientes exigencias en las regulaciones de emisiones y los nuevos desarrollos de la electrónica condujeron a la conversión de los sistemas de control a sistemas digitales. Para diagnosticar estas computadoras de bordo los propios fabricantes de los motores y automóviles desarrollan e implementan sus propias herramientas de diagnóstico conocidas como “*scanners*” (Carley, 2003). Por otra parte, las tradicionales empresas de equipos de diagnóstico también han abordado el desarrollo de *scanners* y osciloscopios de propósito general y dedicado para realizar diagnóstico de operación de los automóviles. Las últimas versiones de estas herramientas tienen conexiones estandarizadas (Türker; Kutlu, 2016).

Resumir una historia de la evolución de las técnicas de diagnóstico para los motores de combustión es una tarea difícil, pero para dar una idea del desarrollo de ellas, en la Tabla 1 se presentan algunos hitos importantes.

Tabla 1.

Algunos momentos importantes en la evolución de las técnicas de diagnóstico de los motores de automóviles

Año	Evento
1886	Tacómetro
1910	Auto Fonendoscopio
1931	Analizador de vehículos
1940	Calibración del tiempo de encendido. Probadores de distribución de chispa, desgaste de partes
1950	Osciloscopios analógicos (ángulo <i>dwell</i> , voltajes de encendido y chispa, duración de la chispa, estado de la bobina, el condensador y otros componentes de los sistemas de encendido, carga y arranque)
1960	Primeros controles de emisiones (monóxido de carbono)
1970	Analizador de gases tipo infrarrojo para monóxidos e hidrocarburos
1975	Sistema de control de inyección de General Motors
1980	Primeros medidores digitales para 4 gases: monóxidos, hidrocarburos, dióxido de carbono y oxígeno
1984	Primer analizador de motor completamente digital (Interrogador de Sun)
1985	Primer sistema de diagnóstico de bordo OBD
1996	Sistema de diagnóstico de bordo OBDII

2006	Patente US 2005 143 882A1. Maintenance service supporting terminal, maintenance service supporting method, maintenance service supporting program, and OBD history data
2016	Todos los vehículos en Estados Unidos deben cumplir con la Norma ISO 15765-4 (CAN) como fundamento del OBD2
2020	Adquisición telemática y procesamiento de información del vehículo
En proyecto	Sistema de diagnóstico de bordo OBDIII (los automóviles se comunicarán con las autoridades de control de emisiones)

Fuente: elaboración propia, a partir de Denton (2016) y Bosch (2018).

Actualmente, en la era de la Internet de las cosas, se establece particularmente la Internet de los vehículos, basada en la telemática: la combinación de la informática, las telecomunicaciones y los vehículos, con el objetivo de controlar el vehículo o adquirir información de él en carretera, segundo a segundo (la obtenida con los sensores, la de las condiciones de los actuadores, el modo actual de operación, entre otros), aprovechando la conexión OBD-2, la red aérea controlada CAN 'Normal' y los medidores personalizados. La telemática llega también como herramienta administrativa y de gestión: los cálculos de depreciación, mantenimiento y costos de operación. La recolección de datos en la carretera por telemática permite que los datos se recojan, segundo a segundo, por una mezcla de mensajes OBD-2 y CAN 'Normal', y medidores personalizados (Francfort, 2016).

4. El diagnóstico de bordo OBD y sus aplicaciones derivadas

En los vehículos modernos, los sistemas de diagnóstico de bordo reciben información de control de la unidad electrónica de control (UEC), a través de un conector de diagnóstico instalado en el vehículo y luego graban esta información. Los sistemas de diagnóstico más populares comprenden una unidad electrónica de control, con funciones de comunicación y un sistema de diagnóstico inteligente, ambos interconectados vía comunicación serial para leer la información. El diagnóstico de bordo opera para detectar anomalías durante la operación del sistema y también durante las pruebas de diagnóstico (Türker; Kutlu, 2016). Además del control del motor, en los automóviles se instalan módulos de control adicionales acoplados en red, red de área controlada, CAN (*Controller Area Network*) para operar el tren de potencia, los sistemas de frenado, dirección, suspensión, control de clima, iluminación, entretenimiento, comunicaciones y navegación (Sik; Balogh; Ekler; Lengyel, 2016). La red proporciona funciones y capacidades, como conectividad Bluetooth, comunicación manos libres y correo electrónico, frenado automático de emergencia, detección de punto ciego, control de cruce adaptativo, control de estabilidad, dirección electrónica y sistemas para evitar choques, entre otros (Bosch, 2018).

Con el OBD II actual, el diagnóstico y la eficiencia de reparación incluyen: diagnóstico de sensores, monitoreo del sistema de combustible, monitoreo de fallas de encendido, monitoreo de catalizadores, monitoreo del sistema de recirculación de gases de escape (EGR), monitoreo de emisiones evaporativas, monitoreo del sistema de aire secundario, luz indicadora de mal funcionamiento. Desde el 2008, todos los vehículos vendidos en los Estados Unidos incorporan sistema de diagnóstico a bordo con el protocolo CAN o de red de área de controlador, el cual es un bus de comunicaciones concebido por Bosch (CAN in automation) para facilitar la comunicación entre las diferentes unidades de control que un vehículo puede tener y que sirve, empleando un escáner especializado, para diagnosticar el estado y desempeño del automóvil en sus sistemas controlados, en particular de los sistemas de control de los motores (Scott *et al.*, 2017). El protocolo CAN que forma parte del OBDII, permite que la información de los diferentes sistemas de los vehículos se comparta a través del bus de datos y el enlace de comunicación común. La mayoría de los vehículos tienen dos o tres de estos buses de datos que operan a diferentes velocidades (velocidades de transmisión). Algunos comparten datos a alta velocidad y otros comparten información menos importante a velocidades más bajas. Los datos están codificados para que cada módulo sepa qué leer y qué ignorar.

Durante la última media década, ha habido una proliferación de dispositivos de posventa que habilitan la conexión OBD-II para monitorear los parámetros de rendimiento del vehículo, como la economía de combustible instantánea, la velocidad del motor, la temperatura y la velocidad del vehículo, entre otros. Un trabajo que sirve para ilustrar la versatilidad de utilización de la información disponible mediante el conector OBD II es el desarrollado por Szalay *et al.* (2015). La combinación de esta valiosa información con los acelerómetros y la capacidad de localización GPS de los teléfonos inteligentes comunes permite al usuario obtener una buena visión del rendimiento, la eficiencia y hasta el comportamiento de su vehículo. Algunas interfaces de bajo costo, disponibles en el mercado son *alOBD ScanGenPro*, *Torque*, *ELM327*, entre otros (Kim; Jang; Jang, 2015; Türker; Kutlu, 2016).

La interfaz *alOBD ScanGenPro* está preprogramada con descripciones de códigos de error; muestra, en formato digital y gráfico, el estado en tiempo real de algunos sensores; permite almacenar y exportar códigos de fallas, así como parámetros específicos del vehículo que son propios de algunos fabricantes de automóviles. *Torque* es una aplicación para Android, con interfaz gráfica de Google Earth, útil para hacer seguimiento al comportamiento de los parámetros de operación del automóvil en tiempo real y para registrar el comportamiento dinámico del vehículo bajo aceleraciones de 0 a 60 millas por hora.

La interfaz *ELM327* sirve para inspeccionar los datos del motor en teléfonos celulares y tabletas de Android; combinado con el software *Torque*, el usuario puede personalizar las pantallas y los diales del tablero de instrumentos. Estos dispositivos permiten leer códigos de fallas, *diagnostic trouble code* (DTC), y son herramientas muy asequibles en el mercado. Las herramientas de escaneo que incluyen un microcontrolador *ELM327* y un chip Bluetooth tienen la capacidad de comunicarse con teléfonos inteligentes, tabletas y computadoras portátiles, a través de Bluetooth, USB y Wi-Fi, son compatibles con todos los protocolos OBD-II (ISO 15765-2 CAN), ISO 14230-4 KWP2000, ISO 9141-2, J1850 VPW, J1850 PWM) para leer y eliminar los códigos de fallas, permiten visualizar, guardar y exportar las señales de los sensores en forma numérica y gráfica (ELM Electronics, 2015; Romero *et al.*, 2017).

5. Ilustración de empleo de una herramienta de bajo costo para monitoreo y diagnóstico de vehículo

Actualmente, los parámetros de operación del motor y otros parámetros del vehículo asequibles mediante la red de área local (CAN) pueden inspeccionarse con el uso de dispositivos del Sistema de Posicionamiento Global, provisto en los teléfonos celulares y de herramientas OBD de bajo costo: el OBD brinda acceso directo a algunos parámetros de la Unidad Electrónica de Control del Motor, mientras que el GPS permite el conocimiento de la posición del vehículo (Martens; Mueller-Langer, 2018; Zheng *et al.*, 2020). La riqueza de información disponible debe aclararse, depende del vehículo y el tipo de motor que se esté analizando (McKinsey, 2015; Martens; Mueller-Langer, 2018). Un ejemplo práctico y pertinente de extracción de información del sistema embarcado en vehículo es el relatado en el trabajo de Rimpas, Papadakis y Samarakou (2020), quienes extrajeron las señales del microcontrolador de un vehículo durante su funcionamiento, utilizando el protocolo OBD-II. Los autores seleccionaron un conjunto de parámetros clave para hacerles seguimiento en tiempo real y para estimar el consumo instantáneo de combustible y compararlo con el reportado por el fabricante del vehículo específico, identificaron la relación entre el estilo de conducción (conservador-agresivo) y el consumo de combustible. En la misma dirección, de Abukhalil, AlMahafzah, Alksasbeh y Alqaralleh (2020) y Shaw *et al.* (2019) también desarrollaron investigaciones para estimar el consumo instantáneo de combustible a partir de las señales de revoluciones y posición del acelerador del motor, adquiridas a través del conector OBD.

Tras el seguimiento a trabajos de investigación, como los mencionados en los párrafos anteriores, se ha visto pertinente en el presente artículo mostrar la utilidad práctica de la interfaz *ELM327*, para monitorear y analizar el desempeño de un vehículo y su motor. Para esto, se ha registrado en ruta, por un breve recorrido,

la información adquirida a través del conector OBDII de un automóvil comercial. La información registrada con la interfaz Torque comprende, entre otras variables: el tiempo corriente de la prueba con resolución de segundos, la velocidad del vehículo registrada por el GPS, la altura sobre el nivel del mar, las componentes de aceleración del vehículo, el porcentaje de carga del motor, el porcentaje de ajuste de combustible (*fuel trim*), la eficiencia volumétrica, el flujo de combustible del motor, el porcentaje de apertura del acelerador (sensor de posición del acelerador, TPS), las revoluciones del motor, el consumo instantáneo de combustible por kilómetro del vehículo, la relación aire-combustible (AF), la temperatura del refrigerante, el flujo másico de aire admitido por el motor y el tiempo de avance de la chispa. Algunos de los parámetros adquiridos han sido registrados y presentados en la Figura 1, a manera de ilustración.

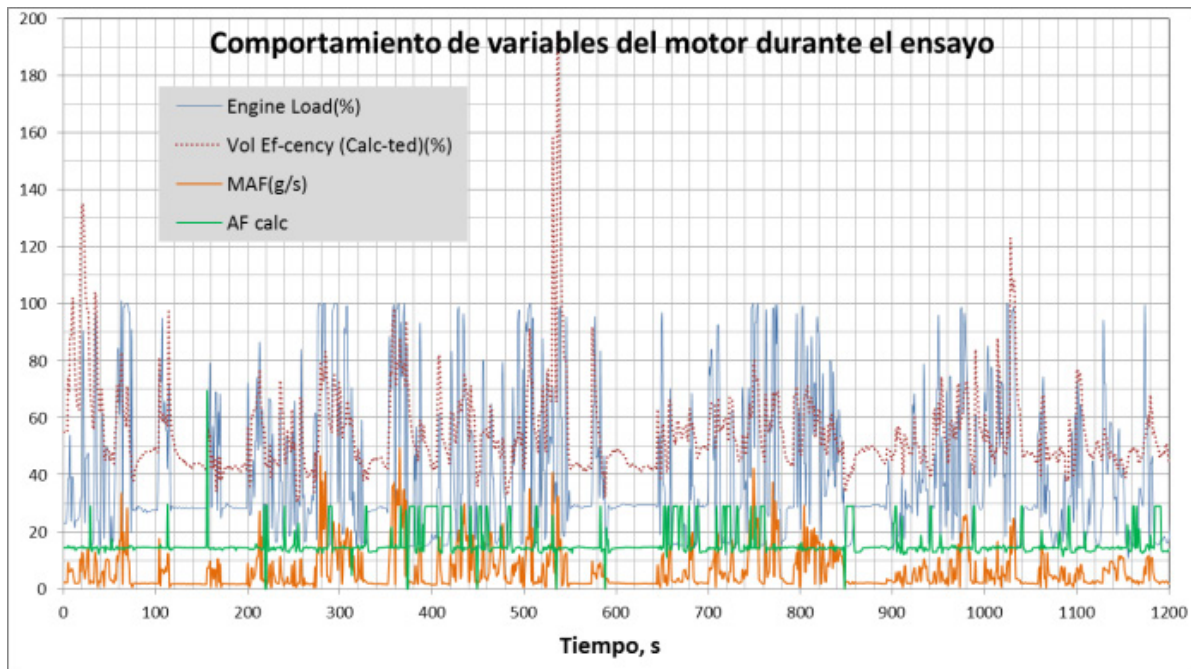


Figura 1. Parámetros de operación de motor adquiridas con sistema de bajo costo durante ensayo de ruta
 Fuente: elaboración propia.

La información adquirida con el sistema ensamblado puede utilizarse para fines que van desde estudios de evaluación de ciclos de conducción (como los realizados por Amarasinghe *et al.*, 2015; Della Ragione; Meccariello, 2016; Romero *et al.*, 2017; Achour; Olabi, 2016), análisis de modos de conducción (Chen; Pan; Lu, 2015), estudios de dinámica de tracción y frenado del automóvil (Ahmed; Morris; Kapadia; Kok, 2019), estudios de estabilidad de desempeño (Preda; Covaciu; Ciolan; Dima, 2008), estudio de caracterización de sistemas y componentes, y estudios de diagnóstico de operación (Alessandrini; Filippi; Orecchini; Ortenzi, 2006; Shaw *et al.*, 2019). La validez, exactitud y alcance de los estudios realizados estará limitada por la relativa exactitud y resolución de la información aportada por el sistema de adquisición (OBD-interfaz ELM327-aplicación).

El perfil de velocidad puede utilizarse para analizar el temperamento de los conductores, la influencia del tráfico vehicular y los hábitos de conducción sobre el consumo de combustible, por ejemplo, como lo realizaron Rimpas *et al.* (2020). La exigencia al motor en una ruta puede valorarse por el parámetro de carga y las revoluciones del cigüeñal, la carga es estimada por el sistema de control del motor a partir del flujo de aire másico medido por sensor de flujo másico de aire (MAF), se mide la cantidad de aire (y combustible) que está aspirando el motor y luego se compara este valor con el máximo teórico admitido por el motor para las condiciones atmosféricas registradas. En la Figura 2, se ilustra el mapa de operación carga-revoluciones del vehículo ensayado, el cual da una idea de la potencia específica utilizada, un parámetro energético importante

para caracterización de rutas y ciclos de conducción de vehículos, en función de los parámetros importantes de tráfico vehicular: velocidad, aceleración y resistencia de las calzadas.

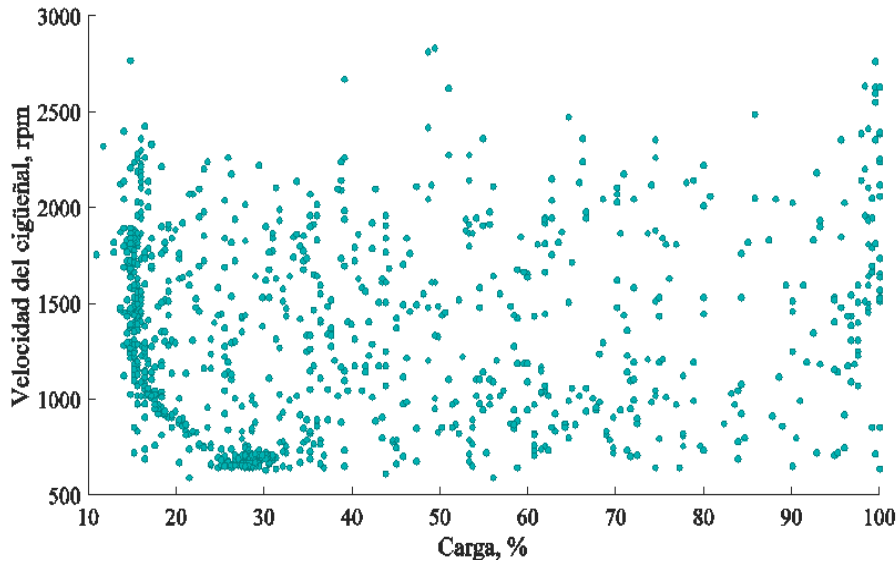


Figura 2. Mapa de operación carga-revoluciones del vehículo en el recorrido de ensayo
Fuente: elaboración propia.

D'Agostino, Naddeo y Rizzo (2014) aplicaron un modelo matemático para procesar la información capturada mediante el conector OBD, en la búsqueda para determinar el cambio activo (la velocidad de la caja de velocidades) en un vehículo convencional convertido a vehículo eléctrico. Efectivamente, conociendo los parámetros del tren de potencia del vehículo, las relaciones de transmisión total (i_{tr}) y de la caja de velocidades y la transmisión principal, el radio de las ruedas (r), estimando su área frontal y el factor aerodinámico ($c_d \approx 0,3$), puede aproximarse el estudio de la dinámica del vehículo y asociarla al desempeño del motor (Bishop *et al.*, 2016; Bifulco; Galante; Pariota; Spena, 2015). Un modelo para estudiar la dinámica vehicular de un vehículo (de masa M_a , con característica de par motor M_e con transmisión de rendimiento η_{tr} y relación i_{tr} y con ruedas de radio dinámico r), desplazándose por un camino caracterizado por un coeficiente de resistencia a la rodadura f y un ángulo de ascenso de calzada α , puede presentarse en la forma dada por la Ecuación 1, adaptada de Gillespie (1992):

$$F_t - \left(1 + \frac{\eta_{tr} \cdot I_v \cdot i_{tr}^2 + I_r}{M_a \cdot r}\right) M_a \cdot j - F_d - F_a = 0 \quad (1)$$

En esta ecuación, la fuerza de tracción F_t , requerida para desplazar el vehículo de masa M_a , bajo una aceleración j , es resultado del par del motor llevado a las ruedas, $M_e \cdot i_{tr} / r$, requerido para superar: las inercias, traslacional (masa total del automóvil, M_a) y rotativas (I_v , I_r , momentos de inercia de la volante del motor y de los elementos rotativos del automóvil), la resistencia a la rodadura, F_r , y al ascenso del camino, F_{as} (integradas en la resistencia mecánica, F_d ($F_d = F_r + F_{as}$), y la resistencia aerodinámica, F_a .

Las resistencias del camino pueden tipificarse asumiendo el coeficiente de resistencia de rodadura de la calzada f y los valores de resistencia al ascenso, según el ángulo de inclinación de la calzada, α ($F_d = f \cdot Ma \cdot g \cdot \cos\alpha + Ma \cdot g \cdot \sin\alpha$); la pendiente del camino no es explícita, pero puede estimarse aprovechando una base de datos de *GoogleMaps*). La fuerza de tracción, F_t , se puede relacionar con el par del motor, M_e , y la relación de transmisión, $F_t = M_e \cdot i_{tr} / r$, asumiendo un valor razonable para el rendimiento mecánico de la transmisión, η_{tr} , como se muestra en la Ecuación 2:

$$F_t = \frac{M_T}{r} = \frac{M_e \cdot i_{tr} - M_{tr}}{r} = \eta_{tr} \cdot \frac{M_e \cdot i_{tr}}{r} \quad (2)$$

Asegurando las condiciones de operación y caracterizado el estado del vehículo (especificaciones dimensionales, masa, estado y presión de ruedas, entre otros), habiendo determinado ρ (o γ y la velocidad del vehículo, v , para varios valores de ρ , se puede encontrar la relación de la fuerza de tracción en función de la velocidad del automóvil en todo el rango de variación de la velocidad angular y del momento y construir la característica de tracción, como lo han realizado Bishop *et al.* (2016), Giannelli. *et al.* (2005), Guardiola, Dol, Pla y Reig (2016), Steckelberg y Pacifico (2015), entre otros trabajos representativos.

De otro lado, accediendo a la información del motor puede valorarse la dependencia de los parámetros de control del motor con las revoluciones del cigüeñal y la carga (demanda de potencia) en estado estacionario y durante el recorrido real del vehículo. A manera de ejemplo, en la Figura 3 puede observarse el desempeño de la temperatura del refrigerante del motor durante el desplazamiento del vehículo en su recorrido de conducción.

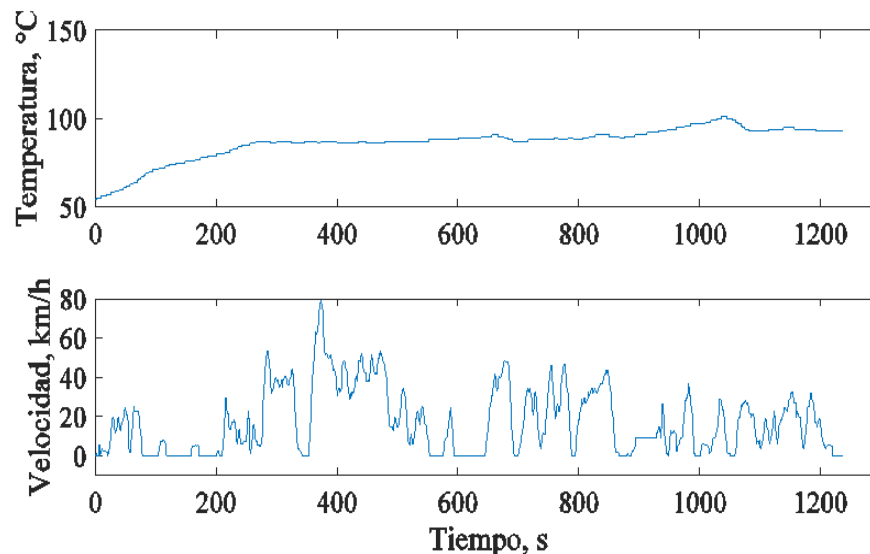


Figura 3. Señal de temperatura del refrigerante del motor durante un recorrido del vehículo

Fuente: elaboración propia.

Puede diagnosticarse el desempeño térmico del motor, pero también a nivel de servicio permite diagnosticar tanto la temperatura del motor como la respuesta del sensor (suponiendo que se tengan dudas sobre la confiabilidad de este). Recorridos en diferentes alturas, bajo diferentes cargas o perfiles de camino, en diferentes condiciones ambientales podrían servir, entre otras, para estudiar los tiempos de calentamiento del motor y también, conociendo la característica de la bomba de refrigeración para estimar el calor disipado por el sistema de refrigeración.

La información del consumo de combustible, la relación aire combustible (AF) y el consumo de aire en función de otros parámetros del motor, como las revoluciones y la carga o las revoluciones y la posición del acelerador, sirven para visualizar las características de regulación del motor del vehículo ensayado (Meseguer; Calafate; Cano; Manzon, 2015; Bishop et al., 2016), como puede verse en las Figuras 4, 5 y 6. Esta información puede transmitirse, provista la conexión a Internet, desde una ubicación geográfica remota, por ejemplo, un taller de servicio o un lugar en la carretera a otro sitio de operación, control o diagnóstico (Martens; Mueller-Langer, 2018). Las figuras se muestran con propósitos ilustrativos en este trabajo, antes que, con la intención de un diagnóstico o trabajo de investigación particular, dado que las mediciones se registraron bajo una práctica demostrativa, sin alistamiento y sin caracterización del vehículo y el tren de potencia.

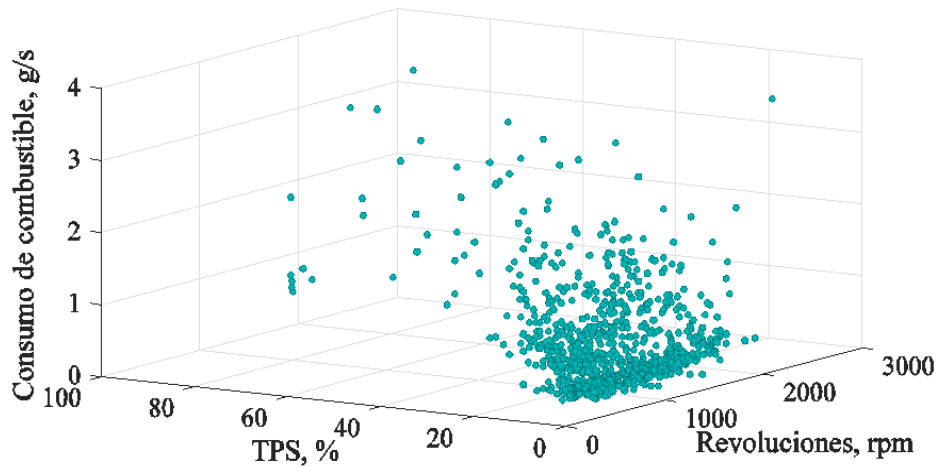


Figura 4. Consumo de combustible en función de la apertura de la mariposa de aceleración y las revoluciones del motor en las condiciones de tráfico de la prueba
Fuente: elaboración propia.

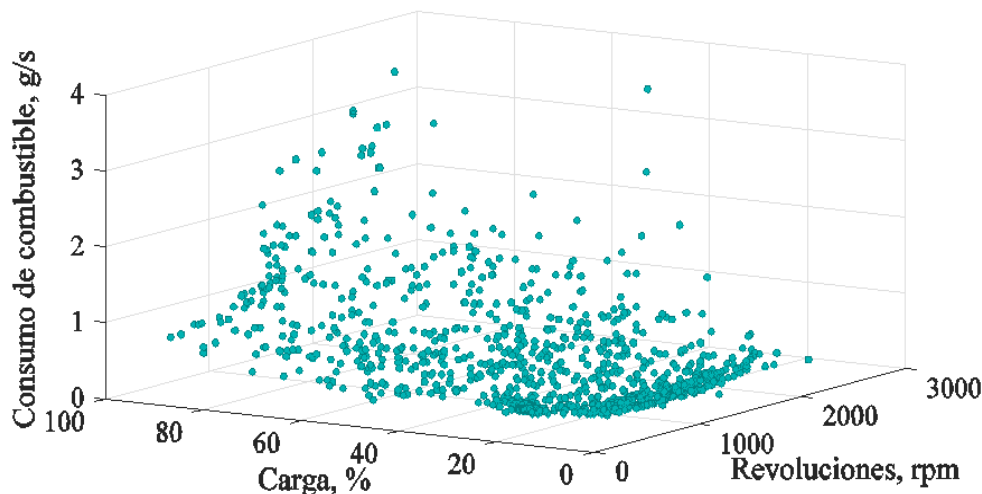


Figura 5. Consumo de combustible en función de la carga y las revoluciones del motor en las condiciones de tráfico de la prueba
Fuente: elaboración propia.

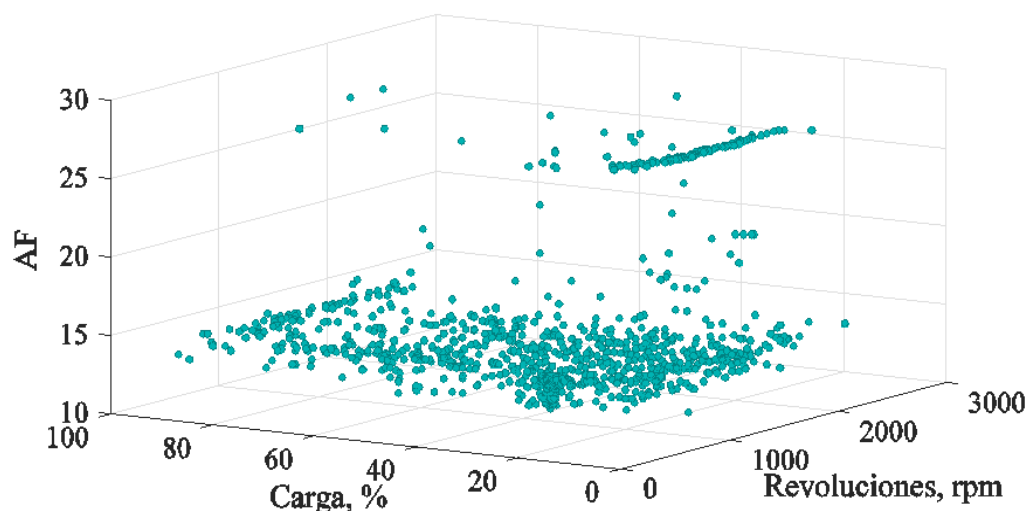


Figura 6. Relación aire-combustible en función de la carga y las revoluciones del motor en las condiciones de tráfico de la prueba
Fuente: elaboración propia.

Así, con equipos de bajo costo, puede observarse la relación de los parámetros de control del motor con el régimen de giro y la demanda de potencia. A partir de la información del OBD se pueden evaluar los valores corrientes de parámetros tan relevantes y otrora objeto de regulación, como el dosado de combustible, la calidad de la mezcla aire-combustible y el avance del encendido. Pueden observarse también, con relativa limitación, la respuesta de los parámetros del motor a cambios bruscos en variables como una aceleración repentina e incluso simular fallas como obstrucciones o resistencias en los sistemas de admisión o escape y observar las respuestas (McCarthy *et al.*, 2017; Doeblér *et al.*, 2016).

Durante el monitoreo de condición de los motores actuales, aún de los motores estacionarios, se genera la posibilidad de recopilar la información del motor mientras está en funcionamiento, para ser comparada con el conocimiento previo de un motor en buen estado y, posteriormente, interpretar de manera significativa la condición real del motor, pudiéndose identificar alguna irregularidad causante de bajo rendimiento o mal funcionamiento del equipo. En la etapa de diagnóstico de fallas, los datos recopilados pueden ser utilizados para respaldar una decisión sobre la fuente de la falla y su nivel. Con este tipo de conocimiento, el motor puede brindar al propietario una mayor eficiencia y disponibilidad continua.

6. Conclusiones y comentarios

En este artículo se ha comentado la actualidad e importancia del diagnóstico de los motores de automóviles y se han recordado algunas técnicas clásicas de diagnóstico de los motores. Se ha destacado que, aunque en el pasado se requerían costosos equipos para la adquisición de los parámetros necesarios para diagnosticar los motores, actualmente, con el uso extensivo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), fácilmente disponible en los teléfonos inteligentes y herramientas OBD de bajo costo, se accede de manera fácil y sistematizada a las condiciones de funcionamiento del motor y del vehículo durante su operación en estacionario y en conducción en ruta. La realización de mediciones en un vehículo durante un recorrido de ciudad ha permitido ilustrar de manera gráfica la relevancia de la utilización de herramientas de diagnóstico conectables al puerto OBD del vehículo para adquirir operación real en ruta de operación de su motor.

Usando dispositivos de bajo costo como la interfaz ELM327 y la aplicación *Torque* para Android, es posible caracterizar la dinámica del vehículo (velocidad y aceleración) segundo a segundo y también observar el comportamiento de los parámetros de operación relevantes del motor (rpm, carga del motor, flujo másico de aire, flujo de combustible y concentración de oxígeno en los gases de escape, entre otros). Esta información puede utilizarse para otras investigaciones, aparte de las de diagnóstico de servicio, como pueden ser: la evaluación de variables del vehículo en ciclos de conducción, el análisis de características dinámicas de los vehículos, la caracterización dinámica de componentes del motor, como los sistemas de admisión y escape, entre otras.

La capacidad de conexión inalámbrica de un vehículo facilita a los expertos el acceso a información de operación en tiempo real, que puede usarse para realizar seguimiento a su estado técnico-mecánico bajo condiciones de interés para el diagnóstico, como por ejemplo el recorrido bajo particulares características topográficas, de carga y velocidad (Malekian; Moloisane; Nair; Maharaj; Chude-Okonkwo, 2017). Algunas operaciones de mantenimiento se pueden realizar de forma remota, sorteando la necesidad de programar una cita en el taller de servicio. Si el problema no se puede manejar de forma remota, el técnico de servicio puede agendar una cita de servicio para el dueño del vehículo o, según la ocasión, ordenar la asistencia en carretera al vehículo.

La aparición de sistemas electrónicos complejos perfecciona la forma en que el técnico de servicio puede prestar su asistencia al cliente (Martens; Mueller-Langer, 2018). Más allá de esto, debe considerarse que la *Gran Información (Big Data)* genera nuevas oportunidades y llega para transformar los servicios posventa, incluidas las actividades de servicio técnico, mantenimiento y reparación (Breitschwerdt *et al.*, 2017). En el pasado, el técnico de servicio solo tenía que considerar las partes mecánicas al diagnosticar el vehículo. Actualmente, no solo tiene que dominar las piezas mecánicas, sino que también debe emplear los sistemas electrónicos para realizar un diagnóstico correcto e integral (Baby; Uribe, 2015). Los sistemas de diagnóstico, escáneres y lectores de OBD le sirven para identificar las posibles causas de los problemas y para tener información importante sobre su solución.

A pesar de las bondades de los sistemas de diagnóstico electrónicos actuales, incluso el programa de software más avanzado no ayuda a detectar una leva desgastada, una válvula quemada o una cadena de distribución suelta. También se tiene el riesgo de confundir síntomas de bajo rendimiento y resultar condicionados y dependientes de los análisis de los trenes de pulsos sin atinar pensar en la mecánica del tren valvular. Es decir, sigue siendo imprescindible el conocimiento experto del comportamiento y las anomalías mecánicas de los mecanismos del motor.

Finalmente, queda la expectativa del futuro del automóvil desde el contexto digital, para lo cual es pertinente citar las palabras de Determann y Perens (2017): “El automóvil del futuro será autónomo, conectado y lleno de características innovadoras de tecnología de la información. Podemos conducirlo o dejar que nos conduzca. Sabemos que será un sistema informático sobre ruedas” (p. 917). Implica esto que todo el personal involucrado con las actividades posventa de los automóviles, incluidos los mecánicos de servicio independientes, deberán prepararse para este futuro.

Referencias

- Abukhalil, Tamer; AlMahafzah, Harbi; Alksasbeh, Malek; Alqaralleh, Bassam (2020). Fuel Consumption Using OBD-II and Support Vector Machine Model. *Hindawi Journal of Robotics*, 2020.
<https://doi.org/10.1155/2020/9450178>.
- Achour, H.; Olabi, A. (2016). Driving cycle developments and their impacts on energy consumption of transportation. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1778–1788.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.007>

- Agencia de Protección Animal (2015). *Onboard Diagnostics (OBD)*. Washington, DC, USA: USEPA
- Ahmed, N.; Morris, Phillip; Kapadia, Jimmy; Kok, Daniel (2019). *Wheel Power in Urban and Extra-Urban Driving for xEV Design*. SAE international, <https://doi.org/10.4271/2019-01-1080>
- Alessandrini, A.; Filippi, F.; Orecchini, F.; Ortenzi, F. (2006). A new method for collecting vehicle behaviour in daily use for energy and environmental analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 220(11), 1527-1537. <https://doi.org/10.1243/09544070JAUTO165>
- Amarasinghe, Malintha; Kottegoda, Sasikala; Arachchi, Asiri; Muramudalige, Shashika; Bandara, Dilum, Azeez, Afkham (2015). Cloud-based driver monitoring and vehicle diagnostic with OBD2 telematics. In *IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT)*, (pp. 505-510). Illinois, USA. <https://doi.org/10.1109/EIT.2015.7293433>
- Baby, Jaime; Uribe, Juan (2015). Análisis competitivo por parte de los talleres de servicio automotriz, mediante el uso del valor percibido por el cliente. *AD-minister*, (26), 73–99. <https://doi.org/10.17230/ad-minister.26.4>
- Barreto, Henry (2020). *Pasado y presente del sector automotor en Colombia: balance de ANDI y Fenalco*, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://www.fl1atam.com/autos/noticias/sector-automotor-colombia-balance-andi-fenalco-2020-4830>
- Barreto, Victor (2017). *What is OBD II? History of on-board diagnostics*. Recuperado de: <https://www.geotab.com/blog/obd-ii/>
- Bifulco, Gennaro; Galante, Francesco; Pariota, Luigi; Spena, María (2015). A Linear Model for the Estimation of Fuel Consumption and the Impact Evaluation of Advanced Driving Assistance Systems. *Sustainability*, 7(10), 14326-14343. <https://doi.org/10.3390/su71014326>
- Bishop, Justin; Stettler, Marc; Molden, N.; Boies, Adam (2016). Engine maps of fuel use and emissions from transient driving cycles. *Applied Energy*, 183, 202-217. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.175>
- Bosch, Robert (2018). *Bosch Automotive Handbook*, 10th edition. SAE international.
- Breitschwerdt, Dirk; Cornet, Andreas; Kempf, Sebastian; Michor, Lukas; Schmidt, Martin (2017). *The changing aftermarket game-and how automotive suppliers can benefit from arising opportunities*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-changing-aftermarket-game-and-how-automotive-suppliers-can-benefit-from-arising-opportunities#>
- California Air Resources Board (2005). *California code regulations. Title 13, Section 1968.2*. Recuperado de: <https://ww3.arb.ca.gov/regact/obdii06/19682clean.pdf>
- Carley, Larry (2003). *Scan Tool Diagnostics: Choosing a scan tool that's right for you*. Recuperado de: <https://www.aa1car.com/library/2003/ic10318.htm>
- Chen, Shi-Huang; Pan, Jeng-Shyang; Lu, Kaixuan (2015). Driving behavior analysis based on vehicle OBD information and AdaBoost algorithms. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, Hong Kong, China.
- CSS Electronics (2020). *OBD2 Explained*. Recuperado de: <https://www.csselectronics.com/screen/page/simple-intro-obd2-explained>

- D'Agostino, M.; Naddeo, M.; Rizzo, G. (2014). Development and validation of a model to detect active gear via OBD data for a Through-The-Road Hybrid Electric Vehicle. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3), 6618-6623. <https://doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.01166>
- Della Ragione, L.; Meccariello, G. (2016). Statistical approach to identify Naples city's real driving cycle referring to the Worldwide harmonized Light duty Test Cycle (WLTC) framework. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 210, 12. <https://doi.org/10.2495/SDP160461>
- Denton, Tom (2016). *Advanced Automotive Fault Diagnosis*. 4ta Edition. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Determann, Lothar; Perens, Bruce (2017) Open cars. *Forthcoming, Berkeley Technology Law Journal*, 32(2). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2837598>
- Doebler, Rebecca; Carl, James; Romeo, Joe (2016). *On Board Diagnostics OBD*. Recuperado de: <http://www.eecs.umich.edu/courses/eecs498-brehab/.../OBDPresentax>
- Duarte, G.; Gonçalves, G.; Farias, T. (2016). Analysis of fuel consumption and pollutant emissions of regulated and alternative driving cycles based on real-world measurements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 44, 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.02.009>
- ELM Electronics (2015). *On Board Diagnostics (OBD) ICs*. Recuperado de: <http://elmelectronics.com/DSheets/ELM327DS.pdf>
- European Automobile Manufacturers Association (2016). *Access to vehicle data for third-party services*. Recuperado de: https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Position_Paper_Access_to_vehicle_data_for_third-party_services.pdf
- Francfort, Jérémie (2016). *Introduction to Vehicle Telematics, Data Handling and Reporting for Different Purposes and Data-Intense Projects*. Recuperado de: https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/dod/Session8_02-06-16Telematics.pdf
- Giannelli, R.; Nam, E.; Helmer, K.; Younglove, T.; Scora, G.; Barth, M. (2005). Heavy-Duty Diesel Vehicle Fuel Consumption Modeling Based on Road Load and Power Train Parameters. *SAE international*, 16. <https://doi.org/10.4271/2005-01-3549>
- Gillespie, Thomas (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. SAE International. <https://www.sae.org/publications/books/content/r-114/>
- Guardiola, Carlos; Dolz, Vicente; Pla, Benjamín; Reig, Alberto (2016). Análisis del funcionamiento del motor y de la eficiencia de conducción mediante el uso de sistemas GPS y OBD. *Modelling in Science Education and Learning*, 9(2). <https://doi.org/10.4995/msel.2016.4594>
- Günther, R.; Wenzel, T.; Wegner, M.; Rettig, R. (2017). Big data driven dynamic driving cycle development for busses in urban public transportation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 51, 276-289. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.01.009>
- Hossain, Mohammed; Zahid, Arnob; Hoque, Rubaya (2017). Improvement of Service Quality at Automobile Workshop in Bangladesh. *ICBM 2017 - 1st International Conference on Business & Management*. Dhaka, Bangladesh.
- Ipad. (2020). myAudi (version 3.22.0) [Aplicación móvil]. Recuperado de: <https://apps.apple.com/us/app/myaudi/id440464115>

- Kim, Hwa-seon; Jang, Seong-jin; Jang, Jong-wook (2015). A Study on Development of Engine Fault Diagnostic System. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
<http://dx.doi.org/10.1155/2015/271374>
- Kirthika, V.; Vecraraghavatr, A. (2018). Design and Development of Flexible On-Board Diagnostics and Mobile Communication for Internet of Vehicles. *2018 International Conference on Computer, Communication, and Signal Processing (ICCCSP)*, (pp.57-62). Chennai, India.
<https://doi.org/10.1109/icccsp.2018.8452826>
- Lanigan, Patrick; Kavulya, Soila; Narasimhan, Priya; Fuhrman, Thomas; Salman, Mutasim (2011). *Diagnosis in Automotive Systems: A Survey*. Pittsburgh: Parallel Data Laboratory, Carnegie Mellon University.
- Malekian, Reza; Moloisane, Ntefeng; Nair, Lakshmi; Maharaj, B.; Chude-Okonkwo. Uche (2017). Design and implementation of a wireless OBD II fleet management system. *IEEE Sensors Journal*, 17(4), 1154–1164.
<https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2631542>
- Martens, Bertin; Mueller-Langer, Frank (2018). *Access to digital car data and competition in aftersales services*. Seville, Spain: European Commission.
- McCarthy, M. (2015). *On-Board Diagnostics (OBD) Requirements*. Recuperado de: <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/msprog/onroad/cert/ldctp/altfuelwkshop2012obdii.pdf>
- McCarthy, M.; Seidl, M.; Mohan, S.; Hopkin, J.; Stevens, A.; Ognissanto, F. (2017). *Access to In-vehicle Data and Resources*. Brussels: European Commission.
- McKinsey (2015). *Competing for the connected customer: Perspectives on the opportunities created by car connectivity and automation*, McKinsey & Company, Advanced Industries.
- Meseguer, Javier; Calafate, Carlos; Cano, Juan; Manzoni, Pietro (2015). Assessing the Impact of Driving Behavior on Instantaneous Fuel Consumption. *12th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, (pp. 443-448). Las Vegas, NV, USA.
<https://doi.org/10.1109/CCNC.2015.7158016>
- Organización Internacional de Normalización (1994). *Road vehicles — Diagnostic systems — Part 2: CARB requirements for interchange of digital information (ISO 9141-2)*.
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9141:-2:ed-1:v1:en>
- Organización Internacional de Normalización (2016). *Road vehicles — Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN) — Part 4: Requirements for emissions-related systems (ISO 15765-4)*.
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15765:-4:ed-3:v1:en>
- Organización Internacional de Normalización (2016). *Road vehicles — Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN) — Part 2: Transport protocol and network layer services (ISO 15765-2)*.
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15765:-2:ed-3:v1:en>
- Organización Internacional de Normalización (2016). *Road vehicles — Diagnostic systems — Keyword Protocol 2000 — Part 4: Requirements for emission-related systems (ISO 14230-4)*.
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14230:-4:ed-1:v1:en>
- Preda, Ion; Covaciu, Dinu; Ciolan, Gheorghe; Dima, Dragoș-Sorin (2008). *Vehicle Dynamic Behaviour Analysis Based on GPS Data*. Recuperado de:
http://aspekt.unitbv.ro/jspui/bitstream/123456789/105/1/SMAT-2008xx1_Ion_Preda.pdf
- Presoto de Oliveira, Leonardo; Wehrmeister, Marco; de Oliveira, André (2017). Systematic Literature Review on Automotive Diagnostics. *VII Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering* (pp. 1-8), Curitiba, Brazil.
<https://doi.org/10.1109/SBESC43116.2017>

- Preston, Benjamin (2018). *Automotive Service Departments Are Scrambling for Technicians*. *Car and Driver*. Recuperado de:
<https://www.caranddriver.com/features/a19556986>.
- Rimpas, Dimitrios; Papadakis, Andreas; Samarakou, Maria (2020). OBD-II sensor diagnostics for monitoring vehicle operation and consumption. *Energy Reports*, 6(3), 55-63.
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.10.018>
- Rizzoni, Giorgio; Onori, Simona; Rubagotti, Matteo (2009). Diagnosis and Prognosis of Automotive Systems: motivations, history and some results. *IFAC Proceedings Volumes*, 42(8), 191-202.
<https://doi.org/10.3182/20090630-4-ES-2003.00032>
- Romero, Carlos; Díaz, Alexander; Lagos, Eduardo (2002). Diagnóstico de servicio de los motores a gasolina. *Scientia et Technica*, 18.
- Romero, Carlos; Mejía, Luz; Acosta, Ricardo (2017). Engine data collection and development of a pilot driving cycle for Pereira city by using low cost diagnostic tools. *Ingeniería y Competitividad*, 19(2), 11-24.
<http://dx.doi.org/10.25100/iyv.19i2.5287>
- Sadiku, Matthew; Tembely, Mahamadou; Musa, Sarhan (2018). Internet of Vehicles: An Introduction. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 8(1), 11-13.
- Santa, José; Sánchez-Iborra, Ramon; Rodriguez-Rey, Pablo; Bernal-Escobedo, Luis; Skarmeta, Antonio (2019). LPWAN-Based Vehicular Monitoring Platform with a Generic IP Network Interface. *Sensors*, 19(2), 264.
<https://doi.org/10.3390/s19020264>
- Scott, Washburn; Frey, Christopher; Roupail, Nagui (2017). *On-Board-Diagnostics (OBD) Data Integration into Traffic Microsimulation for Vehicle Specific Fuel Use & Emissions Modeling & InVehicle App Testing*. Florida, EE.UU.: Southeastern Transportation Research, Innovation, Development and Education (STRIDE).
- Shaw, Samuel; Hou, Yunfei; Zhong, Weida; Sun, Qingquan; Guan, Tong; Su, Lu (2019). Instantaneous Fuel Consumption Estimation Using Smartphones. *IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)*, (pp. 1-6). Honolulu, HI, USA.
<https://doi.org/10.1109/vtcfall.2019.8891261>
- Shen, Xuemin; Fantacci, Romano; Chen, Shanzhi (2020). Internet of Vehicles [Scanning the Issue]. *Proceedings of the IEEE*, 108(2), 242-245.
<https://doi.org/10.1109/JPROC.2020.2964107>
- Sik, David; Balogh, Tamas; Ekler, Peter; Lengyel, Laszlo (2016). Comparing OBD and CAN Sampling on the go with the SensorHUB Framework. *Procedia Engineering*, 168, 39-42.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.133>
- Steckelberg, Danilo; Pacifico, Antonio (2015). A methodology for measuring an internal combustion engine performance map using on-board acquisition. *23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering*, Rio de Janeiro, Brazil.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1932.8086>
- Szalay, Zsolt; Kanya, Zoltán; Lengyel, László; Ekler, Péter; Ujj, Tamás; Balogh, Tamás; Charaf, Hassan (2015). ICT in road vehicles — Reliable vehicle sensor information from OBD versus CAN. *International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)*, (pp. 469 – 476). Budapest, Hungary.
<https://doi.org/10.1109/mtits.2015.7223296>
- Tsiakmakisa, Stefanos; Fontarasa, Georgios; Anagnostopoulou, Konstantinos; Ciuffoa, Biagio; Pavlovic, Jelica; Marotta, Alessandro (2017). A simulation based approach for quantifying CO2 emissions of light duty vehicle fleets. A case study on WLTP introduction. *Transportation Research Procedia*, 25, 3898-3908.

<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.308>

Türker, Gül; Kutlu, A. (2016). Survey of Smartphone applications based on OBD-II for Intelligent Transportation Systems. *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 6(1), 69-73.

Wu, W.; Yang, Z.; Li, K. (2016). Internet of Vehicles and applications. In: Buyya, Rajkumar; Dastjerdi, Amir (Eds.) *Internet of Things* (pp. 299–317). Morgan Kaufmann.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805395-9.00016-2>

Zheng, Xuan; Lu, Sheng; Yang, Liuhanzi; Yan, Min; Xu, Guangyi; Wu, Xiaomeng; Fu, Lixin; Wu, Ye (2020). Real-world fuel consumption of light-duty passenger vehicles using on-board diagnostic (OBD) systems. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 14(2), 33.

<https://doi.org/10.1007/s11783-019-1212-6>