



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

E.T.S.I. TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Aplicación para la obtención de parámetros de
conducción con el sistema OBD

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

Autor: Aitor Velaz Acera

Tutor: David González Ortega

Valladolid, 10 de Septiembre de 2019

TÍTULO: **Aplicación para la obtención de
parámetros de conducción con el
sistema OBD**

AUTOR: **Aitor Velaz Acera**

TUTOR: **D. David González Ortega**

DEPARTAMENTO: **Departamento de Teoría de la Señal y
Comunicaciones e Ingeniería
Telemática**

TRIBUNAL

PRESIDENTE: **Dña. Miriam Antón Rodríguez**

VOCAL: **D. Mario Martínez Zarzuela**

SECRETARIO: **D. David González Ortega**

SUPLENTE: **D. Francisco Javier Díaz Pernas**

SUPLENTE: **D. José Fernando Díez Higuera**

FECHA: **10 de Septiembre de 2019**

CALIFICACIÓN:

Resumen

En este trabajo, se ha partido de una aplicación diseñada para Raspberry Pi que recoge los datos de un vehículo a través del sistema OBD. Sobre esta, se han añadido ciertos cambios para que realice un análisis en tiempo real de la eficiencia y seguridad de la conducción y almacene en ficheros los datos necesarios para su estudio posterior. Se han llevado cabo unas pruebas con la aplicación en una ruta variada con tramos urbanos e interurbanos para comprobar su correcto funcionamiento. Se ha estudiado la relación entre las características de los conductores, los datos del vehículo en las pruebas y el nivel de eficiencia y seguridad en la conducción en las pruebas de conducción.

Palabras clave

OBD, eficiencia y seguridad en la conducción, Raspberry Pi.

Abstract

In this work, a Raspberry Pi application, which obtains the vehicle data through the OBD system, has been used. Modifications have been included in the application to carry out a real-time analysis of the driving efficiency and safety and to store the necessary data in files for further processing. Tests with the application have been made in a varied route with urban and interurban sections to check its performance. The relation among drivers, vehicle data, and level of driving efficiency and safety has been studied in the driving test.

Keywords

OBD, driving efficiency and safety, Raspberry Pi.

Agradecimientos:

A mis padres y hermano, por apoyarme y creer en mí durante toda la vida.

A mis amigos, por confiar en mí durante todos estos años.

A mi tutor, David, por darme la oportunidad de realizar este proyecto.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Motivación y objetivos.	13
1.2 Fases del proyecto.....	13
1.3 Medios utilizados.....	13
1.4 Estructura de la memoria.	13
2. EFICIENCIA Y SEGURIDAD.....	15
2.1 Conducción eficiente.	15
2.1.1 Reglas básicas de la conducción eficiente.....	15
2.1.2 Ventajas de la conducción eficiente.	16
2.1.3 Elementos del vehículo que dificultan la conducción eficiente	17
2.2 Conducción segura.....	17
2.2.1 Principios básicos.....	17
2.2.2 Seguridad en vehículos autónomos.	18
2.4 Relación entre conducción eficiente y conducción segura.	18
2.4 Estudios sobre seguridad y eficiencia en la conducción.....	18
2.5 Simuladores de conducción para la formación y estudio.	19
2.5.1 Estudios realizados con simuladores de conducción.....	19
3. OBD	23
3.1 ¿Qué es OBD?	23
3.2 Historia.....	23
3.2 Elementos que forman OBD.....	24
3.2.1 ECU.....	25
3.3 Códigos de problemas de diagnóstico (DTC).....	25
3.4 Identificadores de parámetro (PID)	26
3.5 Escáner OBD.	28
4. APLICACIONES EXISTENTES PARA EL SISTEMA OBD	30
4.1 Torque.....	30
4.2 CanZE.....	31
4.3 OBD Link app.....	32
4.4 Investigaciones realizadas a partir de aplicaciones y datos que usan el sistema OBD.....	32
5. APLICACIÓN DE RASPBERRY PI PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS DEL SISTEMA OBD.....	35
5.1 Ejecución de la aplicación RPIDDA.	35
5.2 Funcionamiento de la aplicación.	36

5.3	Ficheros de configuración.....	37
5.3.1	rpidda_config_user_list.cfg.....	37
5.3.2	rpidda_config_vehicle_list.cfg.....	38
5.3.3	rpidda_config_pid_list.cfg	38
5.3.4	rpidda_config_bt_remote_device.cfg.....	38
5.4	Instalación de las herramientas de compilación cruzada.	39
5.4.1	Configuración del entorno Eclipse para el uso de las herramientas de compilación cruzada.....	39
5.5	Cambios introducidos en la aplicación.	40
6.	RESULTADOS EXPERIMENTALES	43
6.1	Cálculos previos.....	43
6.2	Test de Shapiro-Wilk.	44
6.3	Coefficientes de correlación empleados.....	44
6.3.2	Coefficientes de correlación de Spearman	45
6.4	P-value	46
6.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TASA DE ABANDONO EN UNA PRUEBA DE CONDUCCIÓN CON EL SIMULADOR.....	46
6.4.1	SPSS.....	46
6.4.2	Resultados.	47
6.5	Resultados de los análisis obtenidos con nuestra aplicación.	48
6.5.1	Aplicación de los coeficientes de correlación a los datos obtenidos con nuestra aplicación.....	51
6.5.1.1	Datos personales frente a los kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y la nota en el test de eficiencia..	51
6.5.1.2	Datos personales frente a la velocidad media en todos los tramos de la prueba.	51
6.5.1.3	Datos personales frente a la desviación típica de la velocidad en todos los tramos de la prueba.	52
6.5.1.4	Datos personales frente a las revoluciones por minuto en todos los tramos de la prueba.	53
6.5.1.5	Datos personales frente a la desviación típica y las revoluciones por minuto en todos los tramos de la prueba.....	53
6.5.1.6	Datos personales frente a la posición media del pedal del acelerador en todos los tramos de la prueba.....	54
6.5.1.7	Datos personales frente a la desviación típica de la posición del pedal del acelerador en todos los tramos de la prueba.	54
6.5.1.8	Datos personales frente a las infracciones recogidas por la aplicación en todo el recorrido.....	55

6.5.1.8 Datos personales frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo interurbano.....	55
6.5.1.9 Datos personales frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de autovía.....	56
6.5.1.10 Datos personales frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo urbano.	57
6.5.1.11 Datos personales frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de vía urbana con más de un carril para cada sentido.....	57
6.5.1.12 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a la velocidad media en todos los tramos.....	58
6.5.1.13 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a la desviación típica de la velocidad en todos los tramos.	59
6.5.1.14 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a las revoluciones por minuto medias en todos los tramos.....	60
6.5.1.15 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a la desviación típica de las revoluciones por minuto medias en todos los tramos.....	61
6.5.1.16 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a la posición media del pedal del acelerador en todos los tramos.....	62
6.5.1.17 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a la desviación típica de la posición del pedal del acelerador en todos los tramos.	63
6.5.1.18 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a las infracciones recogidas por la aplicación en todo el recorrido.	65
6.5.1.19 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo interurbano.	66
6.5.1.20 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de autovía.....	67
6.5.1.21 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo urbano.	68
6.5.1.22 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de vía urbana con varios carriles para cada sentido de circulación.	69

6.5.1.23 Velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el recorrido completo.....	70
6.5.1.24 Velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo interurbano.....	71
6.5.1.25 Velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo de autovía.	72
6.5.1.26 Velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo urbano.	74
6.5.1.27 Velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo de vía urbana con varios carriles para cada sentido de circulación.	75
6.5.2 Recapitulación de los resultados.....	76
7. PRESUPUESTO	78
7.1 Presupuesto hardware.	78
7.2 Presupuesto software.	78
7.3 Horas empleadas.	79
8. CONCLUSIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	82

Listado de tablas

Tabla 1: Modos de los PID.....	27
Tabla 2: PID utilizados en las pruebas.....	27
Tabla 3:: Puntos de referencia.....	44
Tabla 4: Resultado test de Saphiro-Wilk.....	44
Tabla 5: resultado del análisis SPSS.....	48
Tabla 6: Resultados de la encuesta pasada a los usuarios de las pruebas.....	50
Tabla 7: Coeficientes de correlación y p-value entre las variables de datos personales y kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y la nota en el test de eficiencia.....	51
Tabla 8 Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente velocidad media en todos los tramos de la prueba.....	52
Tabla 9: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente desviación típica de la velocidad en todos los tramos de la prueba.....	52
Tabla 10: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente revoluciones por en todos los tramos de la prueba.....	53
Tabla 11: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente desviación típica de las revoluciones por minuto en todos los tramos de la prueba.....	53
Tabla 12: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente posición media del pedal del acelerador en todos los tramos de la prueba.....	54
Tabla 13: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente desviación típica de la posición del pedal del acelerador en todos los tramos de la prueba.....	55
Tabla 14: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente infracciones recogidas por la aplicación en todo el recorrido.....	55
Tabla 15: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente infracciones recogidas por la aplicación en el tramo interurbano.....	56
Tabla 16: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de autovía.....	56
Tabla 17: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente infracciones recogidas por la aplicación en el tramo urbano.....	57
Tabla 18: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de vía urbana con más de un carril para cada sentido.....	58
Tabla 19: Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente la velocidad media en todos los tramos.....	59
Tabla 20: Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente la desviación típica de la velocidad en todos los tramos.....	60
Tabla 21: Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente las revoluciones por minuto medias en todos los tramos.....	61
Tabla 22: Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente la desviación típica de las revoluciones por minuto medias en todos los tramos.....	62

Tabla 23	Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente la posición media del pedal del acelerador en todos los tramos.....	63
Tabla 24:	Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente desviación típica de la posición del pedal del acelerador en todos los tramos	64
Tabla 25:	Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente las infracciones recogidas por la aplicación en todo el recorrido.....	65
Tabla 26:	Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo interurbano..	66
Tabla 27:	Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de autovía....	68
Tabla 28:	Coeficientes de correlación y p-value Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo urbano.	69
Tabla 29:	Coeficientes de correlación kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de vía urbana con varios carriles para cada sentido de circulación.....	70
Tabla 30:	Coeficientes de correlación y p-value Velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el recorrido completo.....	71
Tabla 31:	Coeficientes de correlación y p-value velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo interurbano.....	72
Tabla 32:	Coeficientes de correlación velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo de autovía.	73
Tabla 33:	Coeficientes de correlación y p-value velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo urbano.	75
Tabla 34:	Coeficientes de correlación y p-value velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo de vía urbana con varios carriles para cada sentido de circulación.....	76
Tabla 35:	Tabla del presupuesto hardware.....	78
Tabla 36:	Tabla del presupuesto software.....	79

Listado de figuras

Figura 1: Lámpara MIL.	24
Figura 2: Forma y conexiones del DLC	25
Figura 3: Imagen de una ECU de la marca BOSCH	25
Figura 4: Escáner OBDLink LX.....	28
Figura 5: Escáner OBD ELM327	29
Figura 6: Interfaz de la aplicación torque.....	30
Figura 7: Interfaz de la aplicación CanZE.....	31
Figura 8: Interfaz aplicación OBD Link.....	32
Figura 9: Hardware de la aplicación.....	36
Figura 10: Ventana de Configuración de linker eclipse.	40
Figura 11: recorrido de las pruebas	50

1. INTRODUCCIÓN

Desde mediados del siglo XX, se popularizó el uso de los motores de combustión interna en los automóviles, tanto para transporte de mercancías como en vehículos personales. Al principio, el funcionamiento de los vehículos era puramente mecánico y no había un sistema que fuese capaz de monitorizar y controlar las emisiones de los vehículos y se vio necesario el crear un estándar que regulase la contaminación de los mismos. Por ello, la SAE (*Society of Automotive Engineers*), crea el estándar OBD (*On Board Diagnostics*), para intentar disminuir el impacto de los vehículos en el medio ambiente y las personas, ya que los gases que este tipo de vehículos expulsan por el tubo de escape son altamente perjudiciales para el ser humano y el medio ambiente. Los gases de los vehículos diésel son especialmente contaminantes por lo que actualmente en algunas ciudades como París o Madrid existen restricciones de distinto tipo para su circulación dentro de su centro. Con el paso de los años la contaminación producida por los vehículos ha ido disminuyendo con la inclusión de sistemas como catalizadores, válvulas de recirculación de los gases de escape, cuya función es reintroducir los gases de escape en la cámara de combustión para que se vuelvan a quemar, o los filtros antipartículas.

Además hace ya unos años marcas como Toyota empezaron a comercializar vehículos híbridos, que poseen dos motores, uno convencional de gasolina y otro eléctrico. Este tipo de vehículos se popularizó mucho en el sector de los taxistas. El motor eléctrico es fundamentalmente usado en ciudad, mientras que en carretera se utiliza el motor de gasolina y se van recargando las baterías.

También, ciertas marcas como Seat han empezado a comercializar vehículos con combustibles alternativos como el GNC (Gas Natural Comprimido), que producen menos contaminación. Además, el precio de este tipo de combustible es mucho más barato.

Otro tipo de combustible alternativo es el GLP (Gas licuado del petróleo). Este tipo de combustible lo comercializan marcas como Ford, aunque hay ciertas fábricas de equipos universales que lo pueden montar en coches de gasolina cuyo año de fabricación sea posterior al año 2001.

El problema de estos combustibles alternativos es que solo pueden ir montados en vehículos de gasolina, en los que, además del depósito de gasolina, existe otro para el combustible alternativo. Esto es debido a que los puntos de repostaje para este tipo de combustibles es muy reducido en España. Por ello, el uso de este tipo de combustibles, aunque ha aumentado en los últimos años sobre todo en el sector del taxista, su uso es muy reducido fuera de este sector.

En la actualidad, el futuro del automóvil pasa por dejar atrás los vehículos con motor combustión interna y empezar a utilizar vehículos eléctricos cuya contaminación es casi nula.

El problema de este tipo de vehículos, al igual que el de los vehículos con combustible alternativo, es que las infraestructuras para que fueran viables son muy pobres y, además, su precio es bastante elevado.

1.1 Motivación y objetivos.

La principal motivación de este proyecto es juntar los estudios realizados por el autor con uno de sus mayores pasiones que es la automoción y sobre todo el autoaprendizaje que se ha llevado a cabo durante la realización de este proyecto.

El principal objetivo de este proyecto es, como ya se ha dicho antes, que en la actualidad la gran mayoría de vehículos siguen siendo de combustión interna. Teniendo en cuenta esto, en este trabajo se pretende crear una aplicación que nos permita en tiempo real saber si la conducción que estamos llevando a cabo es eficiente o no, debido a que este tipo de conducción reduce la contaminación, aumenta la seguridad y hace que el vehículo consuma menos.

1.2 Fases del proyecto.

En la primera fase, se trabajó en la realización de los cambios de la aplicación. En esta fase uno se da cuenta de lo complicado que puede llegar a ser entender un código que no se ha realizado por uno mismo aunque este aparezca muy bien comentado por su autor, algo necesario para introducir los cambios necesarios en él. Por último, se llevaron a cabo pruebas para encontrar posibles errores en el código y solucionarlos y corroborar el buen funcionamiento de la aplicación realizando pruebas de conducción con varias personas.

1.3 Medios utilizados.

Para el desarrollo del análisis de los datos se ha utilizado un ordenador con Windows 10, en el que se han utilizado herramientas como Excel, SPSS, etc. El desarrollo del código de la aplicación se ha llevado a cabo en un ordenador de sobremesa por comodidad, aunque la aplicación se ejecuta en una Raspberry Pi 2 y, por lo tanto, se han tenido que utilizar herramientas de compilación cruzada.

1.4 Estructura de la memoria.

Para concluir este capítulo se va a comentar brevemente la estructura de la memoria de este trabajo. En el capítulo 1, se comentan las motivaciones y objetivos de este proyecto, así como los medios y fases para lograrlo.

En el capítulo 2 se hace una introducción sobre la eficiencia y la seguridad en la conducción y las reglas en las que se basan.

En el capítulo 3 se hace una breve presentación del protocolo OBD (*On Board Diagnostics*).

En el capítulo 4 se habla sobre otras aplicaciones que hay en el mercado que utilizan OBD para obtener datos del vehículo.

En el capítulo 5 se realizará una descripción del desarrollo y funcionamiento de la aplicación de partida de este proyecto y los cambios introducidos en ella para que realice un estudio de eficiencia en tiempo real.

En el capítulo 6 se presentarán los resultados del análisis estadístico realizado sobre los datos recogidos por nuestra aplicación.

Y, por último, en el capítulo 7 se realizará un cálculo económico de lo que podría haber costado la realización de este proyecto y, en el capítulo 8, se comentarán las conclusiones y las líneas futuras de este trabajo.

2. EFICIENCIA Y SEGURIDAD

El estilo de conducción influye en gran medida en el consumo de cualquier automóvil, determinadas costumbres aumentan el gasto en el combustible e incluso provocan el deterioro prematuro de los vehículos.

El exceso de agentes contaminantes en la atmósfera es uno de los mayores problemas a los que nos enfrentamos en la actualidad. La mayoría de estos agentes contaminantes provienen de los humos que los vehículos expulsan por el tubo de escape, causando el elevado nivel de contaminación en la actualidad. Los vehículos de combustión interna utilizan mayoritariamente combustibles fósiles, los cuales producen elevadas emisiones de dióxido de carbono (CO₂), este gas es el causante del llamado efecto invernadero. Debido a esto la población se está sensibilizando más con el medio ambiente y se está empezando a dar mayor importancia a la conducción eficiente (IDAE, 2002).

2.1 Conducción eficiente.

La conducción eficiente es un estilo de conducción cuyo objetivo es reducir el consumo de combustible y las emisiones de CO₂, además de aumentar la seguridad y confort en la carretera (IDAE, 2002) (DGT, 2014).

La práctica de este tipo de conducción puede reportar un ahorro de cientos de euros en combustible en un año y reducir las emisiones en un 25%. (NRCAN, 2018).

Esta conducción se rige por una serie de reglas sencillas y eficaces, que tratan de aprovechar las posibilidades que ofrecen los motores de los coches actuales.

2.1.1 Reglas básicas de la conducción eficiente.

Estas reglas básicas son: (IDAE, 2002) (DGT, 2014) (CEA, 2019) (Energy Saving Trust, 2018) (NRCAN, 2018):

1. La primera marcha solo se utiliza para iniciar la marcha.
2. Acelerar de forma progresiva y realizar los cambios de marcha entre 2000 y 2500 rpm. También podemos saltarnos alguna marcha cuando sea posible, es decir pasar de cuarta a sexta por ejemplo (Energy Saving Trust, 2018).
3. Utilizar la marcha más larga más larga posible siempre que no se ponga en peligro la seguridad.
4. Llevar una velocidad constante. En vehículos actuales es muy sencillo debido al control de crucero, que realiza esto electrónicamente.
5. Moderar la velocidad no solo por el consumo sino también por seguridad.
6. Anticipación y previsión, para evitar frenazos bruscos y aumentar la seguridad, por ejemplo, mantener una mayor distancia de seguridad con los vehículos de enfrente, esto nos permitirá moderar la velocidad sin el uso de los frenos (Energy Saving Trust, 2018).
7. Eliminar elementos como la baca o las sujeciones de las bicicletas cuando no se utilicen ya que, estas aportan peso y aumentan el consumo.
8. Utilizar el freno motor en las deceleraciones.

9. En pendientes, en subida retrasar lo máximo posible la reducción de marcha y en bajada usar el freno motor.
10. En las pendientes descendentes levantar el pie del acelerador y dejar que el coche se mueva con la inercia, ya que los coches de inyección por encima de ciertas revoluciones su consumo es nulo.
11. En pendientes ascendentes debemos intentar circular en la marcha más larga posible aunque esto nos lleve a pisar el acelerador más a fondo.
12. En paradas superiores a un minuto es aconsejable parar el motor. Sobre todo en las ciudades.

En este trabajo nos centraremos en tres parámetros que, como hemos visto, intervienen en estas reglas. Estos parámetros son:

- Las revoluciones por minuto del motor.
- La velocidad del vehículo.
- Nivel de pisado del acelerador.

Con estos tres parámetros podemos llevar a cabo un pequeño análisis de eficiencia y seguridad basándonos en las reglas 3, 7 y 8 y calificando las posibles infracciones en:

- Revoluciones de motor elevadas, por encima de 2500 rpm.
- Aceleración no progresiva, pasando de 0km/h a 50 km/h en menos de 4 segundos.
- Frenada brusca, pasando de 50 km/h a 0 km/h en menos de 4 segundos.
- Aceleración brusca, basada en el nivel de pisado del acelerador.

2.1.2 Ventajas de la conducción eficiente.

Las ventajas de este tipo de conducción son las siguientes: (IDAE, 2002) (DGT, 2014) (Energy Saving Trust, 2018):

- **Mejora el confort de conducción y disminuye la tensión:** Para conducir de manera eficiente hay que evitar frenazos bruscos y acelerones, realizar el cambio de marchas de manera adecuada sin revolucionar el motor en exceso. De esta manera, los ruidos que produce el motor se disminuyen y el conductor sufre menos estrés debido al tráfico, lo que disminuye el riesgo de accidentes.
- **Ahorro de combustible y menos emisiones contaminantes:** en este aspecto influyen muchos factores como el año de fabricación del vehículo el servicio que este va a realizar, pero el factor más influyente es el tipo de conducción. El combustible consumido está directamente relacionado con las emisiones producidas, por lo tanto con un menor consumo se logra menor número de emisiones.
- **Incremento de la seguridad vial:** debido al aumento de la anticipación y la disminución de la velocidad.

2.1.3 Elementos del vehículo que dificultan la conducción eficiente

Hay ciertos elementos del vehículo que dificultan la realización de una conducción eficiente ya que aumentan el consumo de combustible. Algunos de estos elementos son: (IDAE, 2002) (DGT, 2014) (Energy Saving Trust, 2018):

- **El uso del aire acondicionado:** Se recomienda utilizarlo de forma racional, seleccionándolo a una temperatura de unos 22 grados, suficiente para lograr el bienestar en el vehículo. Este sistema utiliza un compresor que es el encargado de enviar el líquido a través del sistema. Este compresor es movido directamente por el motor esto provoca un aumento del combustible.
- **Las ventanillas:** si las mantenemos bajadas para refrigerar el habitáculo puede llegar a suponer un aumento de consumo de combustible de un 5% a unos 100 km/h, se recomienda el uso del sistema de aire acondicionado del vehículo, excepto a bajas velocidades donde es más eficiente bajar estas que usar el aire acondicionado.
- **Niveles y filtros:** ya que si estos están deteriorados aumentará el consumo de combustible.
- **La presión de los neumáticos:** un aspecto relevante en el consumo y la seguridad. Si la presión es muy baja, la resistencia a la rodadura de los neumáticos se incrementa y, por tanto, el consumo es mayor. La conducción con la presión de los neumáticos baja, también es un riesgo para la seguridad, por la posibilidad de que este reviente debido a elevadas temperaturas.

Además hoy día existen modelos de vehículos que ya incorporan sistemas electrónicos que controlan la presión de los neumáticos. Tales sistemas pueden también ser instalados voluntariamente con posterioridad mediante sensores en las válvulas de las ruedas

2.2 Conducción segura.

Una conducción segura es aquella que nos permite anticiparnos a lo que ocurre en la carretera y así evitar accidentes.

2.2.1 Principios básicos.

Los principios básicos de una conducción segura son los siguientes (Tutorica, 2019) (Nationwide, 2019) (DGT, 2015) (Howstuffworks, 2019):

1. Realizar una conducción defensiva, es decir, adelantarse a lo que puedan hacer otros usuarios de la vía, especialmente motoristas y ciclistas.
2. Mantener el vehículo en buen estado, especialmente frenos y neumáticos.
3. Dejar el móvil apagado para evitar distracciones.
4. Mantener la distancia de seguridad con el vehículo se enfrente.
5. Realizar paradas cada dos horas o doscientos kilómetros, evitando la fatiga producida en la conducción.
6. Planificar la ruta antes del viaje.
7. No tomar alcohol u otras sustancias que puedan afectar a nuestras capacidades.

8. Mantener una velocidad adecuada al tráfico y a la vía.
9. Comunicación con el resto de usuarios de la vía, es decir, señalar en todo momento la maniobra que vamos a realizar.
10. No coger el coche si nos encontramos cansados.
11. Responsabilidad, es decir, conocer las normas de tráfico y respetarlas. Para evitar ser un obstáculo a otros usuarios de la vía.

2.2.2 Seguridad en vehículos autónomos.

Los vehículos autónomos pueden subsanar ciertos comportamientos del ser humano que incurren en los accidentes (Kalra, y Paddock, 2016).

Estos vehículos no se distraen, no pueden beber alcohol y no se cansan. Este tipo de comportamiento del ser humano provocan el 41%, 10% y el 2,5% respectivamente (Kalra, y Paddock, 2016).

Esto no hace pensar que la conducción autónoma sería más segura, pero en ciertos casos cuando la climatología es adversa esto no es así.

Además, un estudio realizado en 2016 por intentaba calcular cual sería el número de kilómetros que deberá circular un vehículo autónomo actual para lograr el mismo ratio de accidentes que el ser humano en cien millones de kilómetros, este estudio revelo que el vehículo debería circular unos 275 millones de kilómetros para conseguir el mismo ratio de accidentes, esto quiere decir que los vehículos autónomos actuales todavía son menos seguros (Kalra, y Paddock, 2016).

2.4 Relación entre conducción eficiente y conducción segura.

Ambos tipos de conducción están íntimamente relacionados, ya que, si llevamos a cabo una conducción eficiente, llevaremos una velocidad inferior ya que esta repercute directamente en el consumo. Con una velocidad inferior realizamos una conducción más preventiva. Esto supone mayor seguridad en la conducción.

Una conducción eficiente también nos lleva a mantener una distancia de seguridad adecuada con el vehículo de enfrente, evitando que realicemos frenazos bruscos. En general, para llevar a cabo una conducción eficiente es necesario anticiparse a todas las circunstancias que pueden encontrarse en la carretera y, con ello, el aumento en el nivel de seguridad en la conducción es evidente.

Además hay ciertos parámetros del vehículo que se encuentran relacionados con ambos tipos de conducción, como puede ser la presión de los neumáticos.

2.4 Estudios sobre seguridad y eficiencia en la conducción.

En Holanda se han realizado distintos análisis con datos recogidos de empresas de transporte a lo largo del periodo 1995-2003. En estas empresas se llevó a cabo una formación sobre conducción eficiente a los conductores de sus vehículos. Los resultados registrados fueron una reducción de costes de aproximadamente 1 euro cada 100 kilómetros (IDAE, 2002).

Este ahorro se debía en parte a tres variables diferentes, la primera de ellas el consumo de carburante, que suponía un ahorro de 40 céntimos cada 100km.

Otra de las variables es el mantenimiento del vehículo que, como ya se ha comentado, es una de las ventajas de la conducción eficiente, ya que disminuye el desgaste de piezas como los frenos. El ahorro en mantenimiento en este estudio fue de 19 céntimos cada 100km.

La última variable es la siniestralidad de los vehículos, ya que la conducción eficiente está relacionada con la realización de una conducción segura.

El ahorro por siniestralidad fue de 39 céntimos cada 100 km (IDAE, 2002).

Otro estudio realizado en Hamburger Wasserwerke, Alemania demostró que el consumo de combustible de su flota de furgonetas bajo un 5,8 % y el número de accidentes se redujo en un 40 %, tras instruir a sus conductores con un curso de conducción segura y eficiente (IDEA, 2012).

2.5 Simuladores de conducción para la formación y estudio.

En los últimos años, el uso de simuladores de conducción ha aumentado, debido a que experimentos que usan estos dispositivos resultan mucho más baratos y seguros que si se realizaran en pruebas de conducción real. Por ello, los simuladores son buenos para realizar pruebas en diferentes circunstancias de interés, como conducir bajo los efectos del alcohol.

Por ejemplo, gracias al uso de estos simuladores, se ha determinado que el uso del teléfono móvil es uno de las causas que provoca más accidentes, por salida de la vía, sobre todo en la población más joven (Rumschlag, Palumbo, Martin, Head, George, Commissaris, 2014).

2.5.1 Estudios realizados con simuladores de conducción.

En el estudio *Development of a driving simulator based eco-driving support system*, (Zhao, Wu y Zhang, 2015) p, se muestran los resultados del uso de un simulador de conducción para enseñar a los conductores a realizar una conducción segura y eficiente.

El simulador empleado en el estudio estaba formado por componentes y sensores de vehículos reales, también poseía equipamiento de audio y video. Los recorridos eran proyectados en tres pantallas. Estas proporcionan un campo de visión de unos 130 grados e incluían los tres espejos de los vehículos convencionales.

Este simulador tenía la posibilidad de dar consejos de conducción eficiente tanto de forma estática, mostrando en todo momento las emisiones y el consumo, como de forma dinámica, mediante la reproducción de audios pregrabados. Estos aparecen cuando se incumplen ciertas reglas de conducción eficiente.

Los consejos estáticos proporcionados por el simulador son:

- Anticípate al tráfico y realiza aceleraciones y deceleraciones progresivas.

- Trata de mantener una velocidad constante.
- Detén el motor en paradas superiores a un minuto.
- Optimiza el uso del aire acondicionado.
- Revisa la presión de los neumáticos.

Los consejos dinámicos proporcionados por el simulador son:

- No realice aceleraciones bruscas.
- Realice cambios de marcha sin revolucionar el motor en exceso.
- Mantén una velocidad constante.
- Detén el motor en paradas superiores a un minuto.

Las pruebas fueron realizadas por 10 personas profesionales de la conducción, como pueden ser camioneros o taxistas y 12 personas no profesionales.

Estas pruebas se llevaron a cabo tres veces, en el mismo escenario.

En la primera prueba se pedía a los usuarios que realizaran el recorrido de forma normal. Para ello se desactivaron tanto los consejos estáticos como los dinámicos.

En la segunda prueba se activaron los consejos estáticos y en la tercera se activaron los consejos dinámicos.

Los resultados obtenidos fueron que, en el caso en que solo se activaron los consejos estáticos, la eficiencia aumentó un 3.39% de media. Cuando se activaron los consejos dinámicos, este resultado aumentó hasta el 5.45%.

Por ello, el uso de este simulador sí sirvió como método de aprendizaje para los usuarios.

En el estudio *Driving simulator validation of driver behavior with limited safe vantage points for data collection in work zones* (Bham, Leu, Vallati y Mathur, 2014) se intenta demostrar la sensación de realidad en el uso del simulador o comprobar si se puede usar como método de enseñanza.

El simulado empleado estaba formado por tres pantallas. Estas proporcionaban un campo de visión de unos 120 grados y la frecuencia de refresco de la imagen oscilaba entre los 30 y 60 Hz dependiendo de la complejidad de las imágenes. Además, el simulador poseía sensores de aceleración y frenada.

El primer paso realizado en el estudio fue obtener los datos de longitud y latitud de la ruta real que se quería realizar en el simulador a través del uso de un vehículo por la misma. Además, se aprovechó para obtener los datos referentes a la velocidad del

vehículo en la ruta real para calcular su media y desviación típica y realizar un estudio estadístico con la velocidad media y desviación típica del simulador.

También se realizaron grabaciones del recorrido para introducirlas en el simulador y obtener mayor inmersión en el mismo. Con ello, se comprobaría si el simulador es realista o no.

Los usuarios elegidos para realizar la prueba tuvieron que superar un pequeño cuestionario, en el que se les preguntaba si poseían carnet de conducir, no tenían discapacidades físicas y no habían consumido alcohol u otras sustancias 24 horas antes.

Si esta prueba era superada, antes de la realización de las pruebas, con el simulador se advertía a los usuarios que respetasen las señales de tráfico y que, si en algún momento querían abandonar, eran libres de hacerlo.

También, después de la prueba con el simulador, se les realizó una encuesta sobre si la experiencia en el simulador se asemeja a una situación de conducción real y así realizar un análisis subjetivo sobre lo realista que era el simulador.

Las pruebas se realizaron a 46 usuarios de entre 19 y 53 años.

Tanto en el análisis estadístico de la velocidad media y la desviación de la velocidad entre los parámetros reales y los simulados, como en el análisis subjetivo de los usuarios que realizaron las pruebas, los resultados fueron positivos. Las velocidades de ambas pruebas estaban relacionadas entre sí, es decir, que la conducción en el simulador se acercaba a la conducción en la ruta real. En cuanto al análisis subjetivo de los usuarios, la mayoría de ellos usuarios valoraron de forma positiva el simulador en la encuesta tras la prueba, y comentaron que la conducción en él se asemejaba bastante a la conducción real.

Por lo tanto, se puede considerar que el uso de simuladores para la enseñanza en la conducción es una buena práctica.

En el estudio *Driver's behavioural changes with new intelligent transport system interventions at railway level crossings—A driving simulator study* (Larue et al., 2015), se intentaba demostrar cómo el comportamiento de los conductores antes de un paso a nivel sin barreras influía en un accidente en estas zonas de la vía.

El simulador utilizado, estaba compuesto por el habitáculo completo de un vehículo convencional. Las imágenes eran mostradas en 8 pantallas que proporcionaban un campo de visión de 180 grados y visión de la parte trasera del vehículo a través de los retrovisores.

En el estudio participaron 76 participantes de edades comprendidas entre los 19 y 59 años.

Todos los participantes realizaron 2 pruebas, en una de ellas se acercaría al paso a nivel sin que se oyese llegar al tren y, en la segunda de las pruebas, el sonido del tren estaba activo.

Los operarios del simulador se encargaron de registrar el número de veces que los usuarios realizaban un giro de cabeza antes del paso a nivel para comprobar si se acercaba el tren.

El resultado de este estudio reveló que en la primera de las pruebas se producían mayor cantidad de accidentes. Esto es debido a que al oír el ruido del tren alertaba más a los usuarios que realizaron las pruebas, concluyendo que los usuarios no realizaban en la mayoría de casos una inspección visual del paso a nivel antes de cruzarlo.

En este estudio, un simulador fue útil para analizar una situación de tráfico potencialmente peligrosa y sus conclusiones pueden ayudar a introducir las medidas necesarias para reducir ese peligro, además de concienciar a los conductores.

3. OBD

3.1 ¿Qué es OBD?

OBD (*On Board Diagnostics*) es un sistema de diagnóstico a bordo en vehículos (coches y camiones), que apareció con la finalidad de reducir las emisiones contaminantes de los vehículos.

3.2 Historia.

La década de los ochenta, entre otros movimientos sociales interesantes, se destacó por ser el inicio de un despertar de conciencia mundial en torno a los temas ecológicos y ambientales. Fue en esta década en la que se inició la preocupación sobre múltiples temas que está tan en boga hoy en día, como la contaminación ambiental y el deterioro de la capa de ozono, así como el calentamiento global y su impacto en el clima (Wikipedia. 2019) (Wikilibros, 2019).

En 1980, General Motors (GM) implantó un sistema OBD precario en sus vehículos en los que la inyección de combustible ya estaba gestionada por la ECU (*Engine Control Unit*). Este sistema OBD se denominó ALDL (*Assembly Line Diagnostic Link*), y se empezó a utilizar con los últimos modelos de carburación y los primeros modelos EFI (*Electronic Fuel Injection*) de GM. Este sistema solo estaba vagamente estandarizado, ya que el enlace de comunicaciones variaba de un modelo a otro. Este sistema fue utilizado únicamente por el personal de GM (*General Motors*), para la reparación de sus vehículos. El conector generalmente se encuentra debajo del tablero en el lado del conductor como el conector actual del estándar OBD II (Wikilibros, 2019).

No fue hasta el año 1988 cuando el estado de California en Estados Unidos, a través de la *California Air Resources Board* (CARB), y por recomendación de la SAE (*Society of Automotive Engineers*), impuso que todo vehículo con motor de combustión interna vendido en ese estado debía estar dotado de un sistema OBD. Es así como nace el estándar OBD I. Los fabricantes de vehículos tuvieron que desarrollar el software y hardware necesarios para poder proveer de la capacidad de diagnóstico e introducir este sistema en sus vehículos (Wikipedia. 2019) (Wikilibros, 2019).

La idea del OBD era tener un vehículo que realizara su propia monitorización y control de emisiones de manera continua, lograra asignar números de código que pudiesen identificar un problema y, finalmente, guardar esos códigos de problema (DTC - *Diagnostic Trouble Codes*) en la ECU (*Engine Control Unit*). Una luz indicadora de problema en el tablero del vehículo podría indicar al conductor que hay un problema en el sistema de emisiones y, cuando el vehículo estuviese en el taller, el mecánico podría extraer los códigos y saber qué partes del sistema debería revisar y reparar (Wikipedia. 2019) (Wikilibros, 2019).

Pero aquí aparece el principal problema de este estándar y es que cada fabricante creaba sus propios códigos de error, la luz indicadora de fallos también era diferente según el fabricante e incluso la clavija de conexión de los sistemas de diagnosis difería (Wikipedia. 2019).

Por ello, en 1996 aparece el estándar OBD II. Este impuso que todos los fabricantes utilizarían un sistema uniforme de letras y números para los códigos y compartieran la misma definición de un código. Se siguió permitiendo la creación de códigos propios según las necesidades de los fabricantes y que tuvieran una luz estándar de aviso de problema en el cuadro. Esta luz se denomina luz MIL (*Malfunction Indicator Lamp* ó *Check Engine Light*). Un ejemplo de esta luz MIL se muestra en la Figura 2. El conector en el vehículo para la herramienta de diagnóstico es de un diseño uniforme entre fabricantes y suele estar ubicado en la zona de los pedales o en la consola central cerca del cenicero (Wikilibros, 2019).



Figura 1: Lámpara MIL.

3.2 Elementos que forman OBD.

El sistema OBD está formado principalmente por dos elementos:

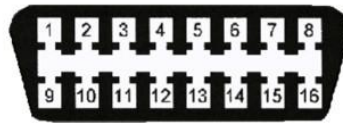
1. La ECU: es la encargada de recoger y analizar los datos. Si algún elemento falla, guardará su DTC e indicará el fallo a través de la luz MIL.
2. DLC (*Diagnostic Link Connector*): a este conector, situado en las proximidades de los pedales o en la consola central, es donde se conecta la máquina de diagnóstico. La forma y terminales del conector se muestran en la figura 2.

Los pines 1, 8, 9, 11 y 12 no tienen utilidad actualmente aunque en un futuro se podrían usar si aparece un nuevo protocolo bajo OBD.

Los pines 4 y 16 sirven para alimentar el dispositivo OBD.

El resto de pines identifican el protocolo de comunicación del vehículo. Por ejemplo, si el protocolo que utiliza el vehículo es el ISO 9141-2, el intercambio de datos se realizará a través del pin 7.

Terminales del Conector OBDII



1 – Sin uso	9 – Sin uso
2 - J1850 Bus positivo	10 - J1850 Bus negativo
3 – Sin uso	11 – Sin uso
4 - Tierra del Vehículo	12 – Sin uso
5 – Tierra de la Señal	13 – Tierra de la señal
6 - CAN High	14 - CAN Low
7 - ISO 9141-2 - Línea K	15 - ISO 9141-2 - Línea L
8 – Sin uso	16 - Batería - positivo

Figura 2: Forma y conexiones del DLC

3.2.1 ECU.

La unidad de control de motor o **ECU** es una unidad de control electrónico que administra varios aspectos de la operación de combustión interna del motor. En la figura 3 se muestra la imagen de una ECU de la marca Bosch.

La ECU, lee los datos que provienen de multitud de sensores, como la posición del acelerador, el MAP (*Manifold Absolute Pressure*), y según los datos recibidos toma decisiones, como la cantidad de combustible inyectar (BOSCH, 2019).



Figura 3: Imagen de una ECU de la marca BOSCH

3.3 Códigos de problemas de diagnóstico (DTC)

Los automóviles actuales incorporan una gran cantidad de sensores, que permiten conocer a las ECU cuáles son las condiciones externas y decidir cómo actuar sobre el motor. En caso de que alguno de los parámetros se salga de los rangos marcados, el sistema OBD II es el encargado de almacenar esta información y avisar al conductor de que alguno de estos sensores u otras piezas sufren un mal funcionamiento, señalizando con la luz MIL que es necesario acudir al taller a revisar cuál es el error que se ha producido (Wikilibros, 2019).

La lectura de los códigos de avería se realiza a través de lo que se conoce como máquina de diagnóstico que no es más que una interfaz que se comunica con las unidades de control del vehículo, además de la gestión del motor. Por ejemplo, también se pueden conectar a otras ECU como el ABS, airbag, etc. e indicar si se ha producido algún error en estos sistemas.

Estos códigos de avería son conocidos como DTC (Diagnostic Trouble Codes), que están formados por cinco dígitos, una letra seguida de cuatro números (Wikilibros, 2019).

La primera letra indica a qué familia pertenece el DTC:

- P: Tren de potencia.
- C: Chasis.
- B: Carrocería.
- U: Comunicaciones.

El primer número indica si el DTC es universal o propio del fabricante:

- 0: Universal.
- 1: Propio del fabricante.

El siguiente dígito hace referencia al sistema en el que se ha producido el fallo:

- __0__ – Mediciones de aire y combustible.
- __1__ – Mediciones de aire y combustible.
- __2__ – Circuito de inyección.
- __3__ – Sistema de encendido.
- __4__ – Sensores auxiliares de emisiones.
- __5__ – Control de velocidad.
- __6__ – Sistema de comunicación entre ECU.
- __7__ – Sistema de transmisión.
- __8__ – Sistema de transmisión.
- __9__ – Señales de entrada y salida.

Los dos últimos dígitos son los que identifican la avería.

3.4 Identificadores de parámetro (PID)

Estos y otros datos, como la velocidad y las revoluciones por minuto, se pueden extraer de la ECU (*Engine Control Unit*) a través de unos comandos denominados PID (*Parameter ID*), enviados a través de la máquina de diagnóstico (Wikilibros, 2019).

Estos PID poseen varios modos de operación mostrados en la tabla 1 y valor que los identifica mostrados en la tabla 2.

Nuestra aplicación de obtención de datos con el sistema OBD es capaz de recoger 5 PID al mismo tiempo en una sesión de captura. Los utilizados en las pruebas de este proyecto son los que aparecen reflejados en la tabla 2.

La mayoría de los PID están estandarizados bajo la norma SAE J1979, aunque las marcas pueden crear sus propios PID según sus necesidades (Wikilibros, 2019).

Modo (hex)	Descripción
01	Muestra los parámetros disponibles
02	Muestra los datos almacenados por evento
03	Muestra los códigos de fallas de diagnóstico (Diagnostic Trouble Codes, DTC)
04	Borra los datos almacenados, incluyendo los códigos de fallas (DTC)
05	Resultados de la prueba de monitoreo de sensores de oxígeno (solo se aplica a vehículos sin comunicación CAN (Controller Area Network))
06	Resultados de la prueba de monitoreo de componentes/sistema (resultados de la prueba de monitoreo de sensores de oxígeno en vehículos con comunicación CAN)
07	Muestra los códigos de error (DTC) detectados durante el último ciclo de manejo o el actual
08	Operación de control de los componentes/sistema a bordo
09	Solicitud de información del vehículo
0A	Códigos de fallas (DTC) permanentes (borrados)

Tabla 1: Modos de los PID.

PID (hex)	Bytes de respuesta	Descripción
04	1	Carga calculada del motor
05	1	Temperatura del líquido de enfriamiento del motor
0C	2	RPM del motor
11	1	Posición del acelerador
0D	1	Velocidad del vehículo

Tabla 2: PID utilizados en las pruebas.

En este proyecto se ha utilizado el modo 01, para obtener los datos necesarios y así poder llevar a cabo su posterior análisis de eficiencia y seguridad en la conducción.

Por ejemplo, si se quieren conocer las revoluciones por minuto del motor, el PID que deberíamos utilizar es el 010C.

3.5 Escáner OBD.

Este es el dispositivo que realiza la función de interfaz entre el vehículo y nuestra Raspberry Pi.

Se pueden clasificar según el tipo de conectividad entre ellos y la Raspberry Pi, ordenador estándar o teléfono inteligente que va a recibir los datos de los PID del sistema OBD, distinguiéndose tres tipos:

- Conectividad Wi-Fi.
- Conectividad Bluetooth.
- Conectividad por cable.

Por comodidad a la hora de conducir, en este proyecto se ha utilizado el escáner OBDLink LX (OBDLink, 2019), mostrado en la figura 4 y desarrollado por la empresa OBDLink. La conectividad de este dispositivo con nuestra Raspberry Pi es mediante Bluetooth.

Este soporta todos los protocolos bajo el estándar OBD II, que son:

- ISO15765-4 (CAN)
- ISO14230-4 (KWP2000)
- ISO9141-2 (Vehículos asiáticos, europeos y de la marca Chrysler)
- J1850 VPW (Vehículos de General Motors)
- J1850 PWM (Vehículos Ford)

Por ello, el escáner OBDLink LX es compatible con la gran mayoría de vehículos actuales.

Además, este escáner posee un botón en su parte frontal que nos permite activar o desactivar la conectividad Bluetooth del dispositivo impidiendo así que se conecten personas ajenas a nuestro entorno.



Figura 4: Escáner OBDLink LX.

Otro escáner OBD es el ELM327 (figura 5). Al igual que el anterior, su conectividad con la Raspberry Pi se realiza mediante conexión Bluetooth.

Este dispositivo, al igual que el anterior, soporta todos los protocolos bajo el estándar OBD II (OBD II, 2019), pero el precio de este comparado con el anterior es mucho más reducido.

El gran problema de este escáner es que existen multitud de copias de baja calidad en el mercado que pueden dañar la ECU de nuestro vehículo, teniendo que asumir un coste de reparación mucho mayor que el valor del escáner OBDLink LX. Además, este dispositivo no tiene la posibilidad de cortar la conectividad Bluetooth, por lo que cualquiera con una aplicación compatible con este dispositivo podría obtener los datos de nuestro vehículo sin consentimiento.



Figura 5: Escáner OBD ELM327

4. APLICACIONES EXISTENTES PARA EL SISTEMA OBD

En el siguiente capítulo se va a realizar un pequeño resumen de algunas de las aplicaciones para la obtención de datos de un vehículo mediante el estándar OBD II que hay en el mercado y el resultado de algunos análisis realizados con aplicaciones que utilizan OBD.

4.1 Torque.

Esta aplicación ha sido desarrollada por Ian J. Hawkins, está disponible solo para Android y posee una versión gratuita y otra de pago (Hawkins, 2012).

Con esta aplicación podemos controlar la mayoría de parámetros de nuestro vehículo, como pueden ser las revoluciones del motor, temperatura, el consumo, las emisiones de dióxido de carbono, etc. (Hawkins, 2012). Además, no permite leer y borrar los fallos detectados en el vehículo. La comunicación se realiza mediante tecnología Bluetooth, conectándonos a un escáner OBD.

Hay varias opciones en el mercado, como puede ser el ELM327, o el OBD Link LX, que es el que usaremos en nuestras pruebas.

La interfaz de esta aplicación es bastante sencilla, permitiéndonos ver en tiempo real los parámetros que deseemos en forma de reloj digital, gráfica o de forma analógica. Además, en la versión de pago, se nos permite grabar el viaje y guardar los datos para poder verlos más tarde y poder analizarlos.

Un ejemplo de esta interfaz se muestra en la figura 6, en esta se puede ver datos que nos devuelven los diferentes sensores del vehículo como la temperatura del motor o las revoluciones del motor, con los tres tipos de representación mencionados.



Figura 6: Interfaz de la aplicación torque.

4.2 CanZE.

Esta aplicación está disponible tanto para Android como para iOS y ha sido desarrollada por diferentes personas, en el caso de Android, por Bob Fisch y Jeroen Meijer y, en el caso de iOS, por Frédéric Richard. En ambos casos la aplicación es gratuita (Fisch y Meijer, 2019).

La aplicación para iOS sigue en fase de pruebas y solo utiliza tecnología Wi-Fi para la conexión con el dispositivo OBD, por lo que en esta plataforma todavía no es muy fiable (Fisch y Meijer, 2019).

La aplicación es de uso exclusivo para los vehículos eléctricos de la marca Renault y nos permite ver una gran cantidad de parámetros, como el estado de la batería, sus tiempos de carga, el consumo, temperatura, etc. Todas las visualizaciones son en tiempo real y usando, en el caso de Android, tanto tecnología Bluetooth como Wi-Fi para la conexión con el dispositivo OBD.

La aplicación nos permite registrar diferentes vehículos, por si queremos utilizar la aplicación en varios de ellos y así poder conocer a qué vehículo corresponde cada captura de datos (Fisch y Meijer, 2019).

Como en el caso de Torque, la información se nos presenta de tres formas, reloj digital, gráficas o reloj analógico.

Un ejemplo de esta interfaz se muestra en la figura 7. En ella se muestran datos como la potencia de la batería y el consumo de energía realizado por el vehículo en tiempo real.

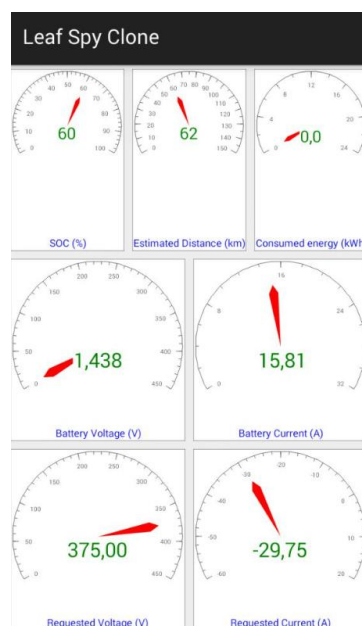


Figura 7: Interfaz de la aplicación CanZE.

4.3 OBD Link app.

La aplicación ha sido desarrollada por la empresa Scantool, está disponible tanto para iOS como para Android y en ambos casos es gratuita (OBDLink, 2019).

La peculiaridad de esta aplicación es que solo funciona con dispositivos OBD de la misma compañía y el precio de estos es algo elevado, aunque el funcionamiento es muy fiable, tanto para la conexión por Bluetooth como para la conexión Wi-Fi (OBDLink, 2019).

La aplicación nos permite conocer los valores de la mayoría de parámetros de nuestro vehículo y conocer los códigos de errores que este detecte en tiempo real. Esta información se nos presenta de los tres mismos modos que en el caso anterior, pudiendo cambiar el tamaño de estos relojes o gráficas para ajustarlos a la pantalla de nuestro dispositivo.

Un ejemplo de esta interfaz se muestra en la figura 8. En esta, se muestra con varios tipos de reloj, datos como el estado de la batería, la temperatura del motor y la velocidad.

También permite el registro de varios vehículos y grabar nuestros viajes, para poder analizarlos después. En este caso los ficheros se comparten directamente a través de la plataforma Dropbox.



Figura 8: Interfaz aplicación OBD Link.

4.4 Investigaciones realizadas a partir de aplicaciones y datos que usan el sistema OBD.

En el estudio *A novel Eco-Driving Application to Reduce Energy Consumption of Electric Vehicles* (Frank, Castignani, Schmitz y Engel ,2012), los investigadores crearon una aplicación para Android en la que puntuaban la eficiencia de los

conductores que realizaron una prueba de conducción con el fin de reducir el consumo en vehículos eléctricos.

La aplicación se basaba en tres variables, dos de ellas, la velocidad y el consumo de potencia, recogidas a través del sistema OBD del vehículo y, una tercera, que se calculaba como el cociente entre la distancia recorrida y la variación de altitud entre dos muestras.

Con estas tres variables se definió un conjunto de 24 reglas para obtener una puntuación de 0 a 100, distinguiéndose cuatro casos: mal conductor, conductor medio, buen conductor o muy buen conductor.

Esta aplicación recogía los datos de las variables cada segundo y realizaba una retroalimentación en tiempo real según los datos recogidos en los últimos 20 segundos.

Las pruebas se realizaron en el vehículo eléctrico Twizy de la marca Renault, por un recorrido en una vía urbana de unos 9,7 kilómetros de duración, con una climatología favorable y en horas en las que el tráfico era reducido.

Estas pruebas fueron realizadas por siete usuarios diferentes, que repitieron el recorrido dos veces, la primera de ellas realizaron una conducción normal y en la segunda realizaron las pruebas después de darles unas pequeñas nociones de cómo adaptar la conducción para reducir el consumo en este tipo de vehículos.

Los resultados obtenidos fueron que de media los siete participantes obtuvieron una puntuación 16.8 % mejor la segunda vez que realizaron el recorrido. Esto traducido a la media de descarga de la batería y la media de potencia consumida reflejaba una disminución de un 24% y un 33%, respectivamente.

En el estudio *Development of an energy prediction model base on driving data for predicting the driving distance of an electric vehicle* (Zhao, Wu, Rong, y Zhang, 2015), se intenta encontrar un algoritmo que permita conocer con mayor exactitud la autonomía de un vehículo eléctrico.

Los vehículos eléctricos calculan su autonomía a través de dos variables, la velocidad de la vía y la distancia entre el punto de salida y llegada.

El algoritmo planteado en el estudio se basa en la obtención de parámetros como la velocidad a través del sistema OBD y así lograr calcular las variables de las que dependerá el algoritmo. Estas son:

- Tiempo total que el vehículo puede estar circulando.
- Resistencia de rodadura de los neumáticos.
- Resistencia del aire.
- La potencia necesaria para cambiar la velocidad del vehículo.
- La potencia consumida al subir una cuesta.

- La eficiencia de recuperación de energía de los frenos.
- La potencia consumida por los elementos electrónicos no necesarios para el movimiento del vehículo.

El estudio se realizó sobre el vehículo eléctrico Volt de la marca Chevrolet, por dos rutas diferentes.

La primera ruta tenía varios cambios de elevación y una baja densidad de tráfico. Su longitud era de 12,2 km y la duración de unos 26 minutos.

La segunda ruta poseía mayor número de cambios de elevación y una densidad de tráfico más elevada. Su longitud era de unos 15,6 km y la duración aproximadamente de unos 35 minutos.

Los resultados obtenidos con este estudio son:

- En la primera ruta, el vehículo calculó un consumo de 1858 kWh, mientras que con el algoritmo desarrollado el consumo fue de 1884 kWh. Esto supone un acierto del algoritmo de un 99.57%.
- En la segunda ruta, el vehículo calculó un consumo de 2130 kWh, mientras que con el algoritmo desarrollado el consumo fue de 2126 kWh. Esto supone un acierto del algoritmo de un 99.96%.

Esto deja claro que el algoritmo desarrollado es adecuado para el cálculo de la potencia consumida por un vehículo eléctrico.

5. APLICACIÓN DE RASPBERRY PI PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS DEL SISTEMA OBD

En este capítulo se va a exponer, en la primera parte, cómo se realiza la ejecución de la aplicación RPIDDA, desarrollada en (San José, 2018), los ficheros de configuración que utiliza y el funcionamiento de la misma. En la segunda parte, se comentarán los cambios introducidos en esa aplicación en este proyecto.

5.1 Ejecución de la aplicación RPIDDA.

Las principales características de la aplicación RPIDDA son (San José, 2018):

- Lenguaje de desarrollo: C
- Permite configurar una lista de usuarios, vehículos y PID deseados.
- Solo es necesario seleccionar vehículo y usuario, y la aplicación comenzará a obtener datos.
- Almacenamiento de los datos en una base de datos SQLite.

La ejecución de esta aplicación se realiza como servicio del sistema, es decir nada más arrancar el sistema operativo esta empieza a funcionar.

La ejecución sigue los siguientes pasos:

La ejecución de esta aplicación se realiza como servicio del sistema, es decir nada más arrancar el sistema operativo gratuito Raspbian, la aplicación empieza a funcionar.

La ejecución sigue los siguientes pasos (San José, 2018):

1. Inicialización de wiringPI, una librería que nos permite utilizar los pines GPIO (*General Purpose Input/Output*) de forma sencilla para, por ejemplo, controlar los botones.
2. Configuración de los botones a través del número, dirección y tipo de resistencia asociado a los pines correspondientes. Para todos los pines asociados a los botones, la dirección será INPUT, ya que estos recibirán señales.
3. Configuración e inicialización del *display* OLED (*Organic Ligth-Emitting Diode*). En la figura 9 se muestra el hardware de la aplicación. Para el correcto funcionamiento del *display* es necesario inicializar el controlador SSD1306, con los pasos explicados en la web del controlador.
4. Lectura de los ficheros de configuración de usuario y vehículo, explicados más adelante.
5. Configuración de conexión con el dispositivo Bluetooth, a través del fichero de configuración correspondiente. Este dispositivo Bluetooth es el que realizará la función de interfaz entre el vehículo y la Raspberry Pi, en nuestro caso el escáner OBDLink LX.
6. Bucle de conexión explicado más adelante en el apartado de funcionamiento.

7. Bucle del menú principal de la aplicación explicado en el apartado de funcionamiento.
8. Escaneo de los PID soportados por el vehículo y su almacenamiento en el fichero *rpidda_discovered_pids.txt*, explicado más adelante.
9. Selección de la configuración de captura, necesaria antes de realizar la captura de datos.
10. Y, por último, el inicio de la sesión de captura.

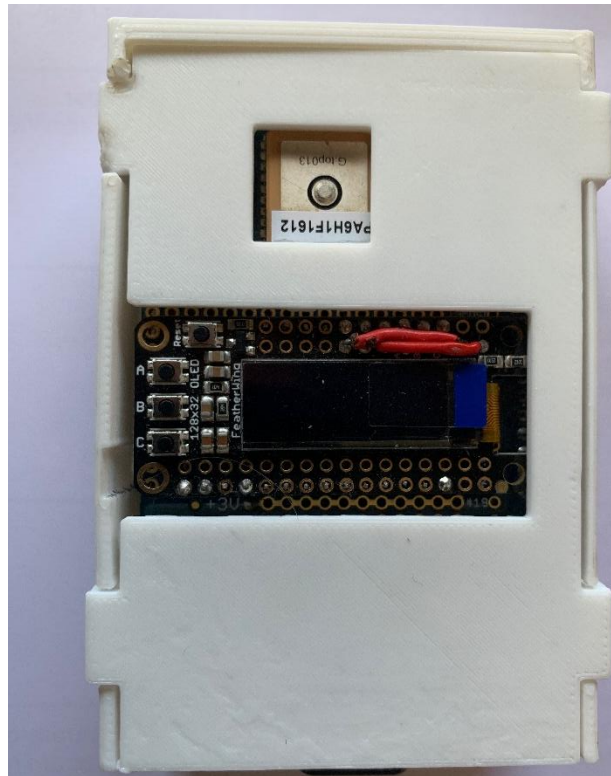


Figura 9: Hardware de la aplicación.

5.2 Funcionamiento de la aplicación.

El funcionamiento de la aplicación se lleva a cabo con el uso de cuatro botones, mostrados en la figura 9, justo al lado de la pantalla.

El funcionamiento de la aplicación es muy sencillo. Nada más iniciar la Raspberry Pi, nos aparecerá un menú en el que aparecen dos opciones;

- A: conectarnos al dispositivo Bluetooth.
- RST: apagar la Raspberry Pi.

Si seleccionamos conectarnos al dispositivo, aparecerá por pantalla un mensaje que indica que se está realizando la conexión.

Si esta es exitosa, aparecerá un nuevo menú con cuatro opciones:

- A: empezar sesión de captura.
- B: cambiar la configuración de captura.
- C: descubrir los PID soportados por el vehículo.

- RST: apagar la Raspberry Pi.

Por otro lado, si la conexión no se realiza con éxito, aparecerá un mensaje de error y se volverá al menú anterior.

Si seleccionamos la opción de empezar captura, se nos pedirá primero que realicemos la configuración de la sesión, es decir, que seleccionemos usuario y vehículo ya que estos datos se utilizan para nombrar la base de datos en la que se guardarán los valores de los PID.

Una vez realizada la configuración se vuelve a seleccionar la opción de comenzar captura y aparecerá un nuevo menú, con dos nuevas opciones:

- A: comenzar la sesión.
- RST: volver al menú anterior por si nos hemos equivocado en el usuario o el vehículo.

Si seleccionamos comenzar captura aparecerá en la pantalla un mensaje informando sobre el almacenamiento de datos. Para finalizar la captura se pulsa el botón correspondiente y, una vez finalizada, se vuelve al menú anterior.

Las bases de datos aparecen guardadas en la carpeta raíz de la Raspberry Pi y, para la obtención de los datos, es necesaria la descarga de un *driver* para Excel llamado ODBC para SQLite3. En la web personal de Christian Werner puede obtenerse dicho driver. Su instalación y uso es muy sencillo y no requiere explicación alguna.

5.3 Ficheros de configuración.

La aplicación permite su configuración a través de ficheros de texto. La ruta donde se almacenan estos ficheros de configuración es `/home/pi/rpidda` (San José, 2018).

5.3.1 rpidda_config_user_list.cfg

Este fichero contiene una lista de usuarios que han utilizado la aplicación. Para cada usuario, se almacena la siguiente información:

- id: número entero, comenzando en 0, que identifica a cada usuario.
- Nombre: nombre y apellidos del usuario. Admite espacios.
- Fecha de nacimiento: en formato DDMMYYYY.
- Año de obtención del carné de conducir: en formato YYYY.
- Distancia media (en kilómetros) recorrida anualmente: número entero.
- Número de siguiente sesión

En este fichero, las primeras líneas son consideradas comentarios e indican el formato y el orden para la introducción de los datos.

5.3.2 `rpidda_config_vehicle_list.cfg`

Este fichero contiene una lista de vehículos que pueden ser usados en las sesiones. Para cada vehículo, se almacena la siguiente información:

- id: número entero, comenzando en 0, que identifica a cada vehículo.
- Fabricante: nombre del fabricante.
- Modelo: modelo de vehículo.
- Caja de cambios: manual o automático.
- Número de marchas.

Como en el fichero anterior, las primeras líneas son consideradas comentarios e indican el formato y el orden para la introducción de los datos.

5.3.3 `rpidda_config_pid_list.cfg`

Este fichero almacena el listado de PID que se desea solicitar al vehículo. El formato es el siguiente:

- Nombre 1: nombre que identifica al PID y como aparecerá en la base de datos
- PID 1: identificador hexadecimal. Ej : 011C
- Nombre 2
- PID 2
- Etc.

Todos los PID indicados en este fichero serán solicitados al vehículo. Aquellos que no sean soportados por el vehículo, mostrarán el valor '0' en su registro.

5.3.4 `rpidda_config_bt_remote_device.cfg`

Este fichero contiene la información del dispositivo Bluetooth remoto que se utiliza para la conexión con el vehículo. La información almacenada es la siguiente:

- Nombre del dispositivo OBD
- (OPCIONAL) Dirección Bluetooth del dispositivo.

En el caso de que se indiquen ambos campos, la aplicación intentará conectarse directamente a la dirección Bluetooth. En caso de que solo el nombre del dispositivo haya sido indicado, la aplicación realizará un escaneo Bluetooth para obtener la dirección Bluetooth del dispositivo deseado. Esto puede resultar un inconveniente ya que la aplicación se conectará al dispositivo que primero coincida con el nombre y este puede no ser el nuestro, por lo que se recomienda introducir la dirección del dispositivo para evitar errores.

La edición de estos ficheros se debe llevar a cabo en una máquina externa a la Raspberry Pi, conectada mediante SSH (*Secure Shell*) a ella.

5.4 Instalación de las herramientas de compilación cruzada.

Estas herramientas nos permiten desarrollar el código de la aplicación en una máquina con una arquitectura diferente a ARMv7, que es la utilizada por Raspberry Pi.

Para la instalación de estas herramientas en nuestra máquina externa a la Raspberry Pi, hay que seguir los siguientes pasos:

- Ejecutar los siguientes comandos en un terminal en nuestra Raspberry Pi.

```
apt-get install crossbuild-essential-armhf
```

Con esto nos descargamos el compilador que nos permitirá generar ejecutables para la arquitectura ARM.

- Como la descarga de este compilador se ha llevado a cabo en la Raspberry Pi, es necesario la copia de las carpetas donde se encuentran las librerías, tanto las carpetas de los ficheros de instalación, como las de los ficheros de cabecera, a la máquina en la que se va a desarrollar el código.
- Para ello, se utilizó un ejecutable desarrollado por SysProgs denominado GNU Toolchain for Raspberry (Sysprogs, 2019), Este nos copia las carpetas necesarias a nuestra máquina en el directorio que deseemos.

5.4.1 Configuración del entorno Eclipse para el uso de las herramientas de compilación cruzada.

El entorno de desarrollo integrado utilizado ha sido Eclipse. Por lo tanto es necesario configurarlo para que use estas herramientas de compilación cruzada y genere ejecutables en arquitectura ARM, para que la Raspberry Pi pueda ejecutarlos.

Para ello se deben realizar los siguientes pasos:

- Añadir a la variable PATH del sistema, el directorio en el que se hayan copiado las carpetas de las librerías para que Eclipse reconozca este nuevo compilador.
- Seleccionar en las propiedades de nuestro proyecto, C/C++ Build → Settings, rellenando el apartado de Prefix, con arm-linux-gnueabi- y el *path* aquel en el que se haya guardado las carpetas de las librerías.
- Seleccionar C/C++ Build → Settings → Cross GCC Compiler → Includes.

En el primer recuadro introducir las rutas de los directorios donde se encuentren los ficheros de instalación de las librerías y, en el segundo, las rutas de los directorios donde se encuentren los archivos de cabecera.

- Por último, seleccionar C/C++ Build → Settings → Cross GCC Linker → Libraries.

En el primer recuadro, introducir el nombre de las librerías a enlazar y, en el segundo las rutas donde se encuentran los ficheros de instalación de las librerías a enlazar, como se muestra en la figura 10.

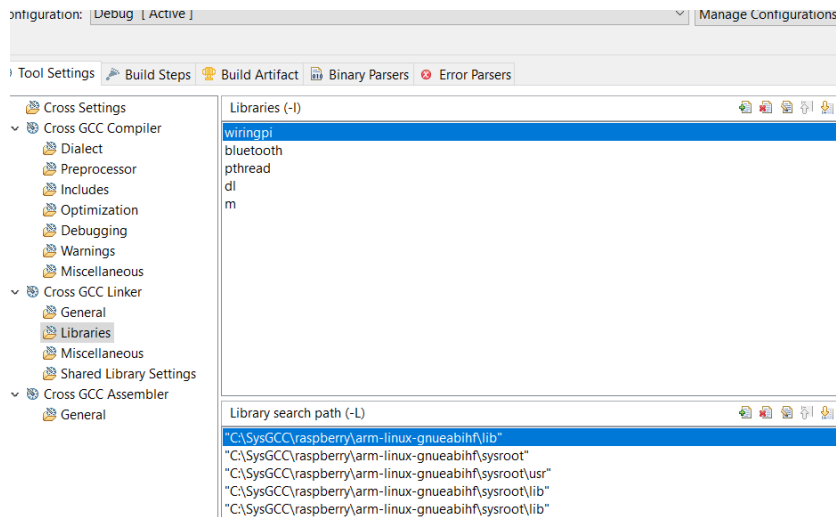


Figura 10 : Ventana de Configuración de linker eclipse.

5.5 Cambios introducidos en la aplicación.

En este apartado se va a hablar de los cambios introducidos en este trabajo para poder realizar un análisis de la eficiencia en la conducción con los datos obtenidos del vehículo, en nuestro caso, revoluciones de motor, posición del pedal del acelerador y la velocidad del vehículo.

Las infracciones de eficiencia que registra la aplicación a través de estos parámetros son:

- Aceleración no progresiva, que consiste en pasar de 0 a 50 km/h (u otra velocidad especificada) en menos de 4 segundos. Esta infracción se registrará en la base de datos con el número 3.
- Aceleración brusca escala 1, que consiste en pisar el acelerador por encima del 45% de la posición máxima. Se registrará en la base de datos con el número 2.
- Frenada no progresiva, que consiste en pasar de 50 (u otra velocidad especificada) a 0 km/h en menos de 4 segundos. Se registrará en la base de datos con el número 4.
- Revoluciones de motor altas, que consiste en superar las 2500 rpm. Se registrará en la base de datos con el número 1.
- Aceleración brusca escala 2, que está basada en la varianza y la densidad espectral de energía del nivel de pisado del acelerador. Se registrará en la base de datos con el número 5.

Lo primero que se hizo fue introducir los PID necesarios en el fichero `rpidda_config_pid_list.cfg`, en nuestro caso han sido la velocidad del vehículo, la posición del pedal del acelerador y las revoluciones por minuto del motor, opcionalmente como la aplicación permite recoger datos de 5 PID diferentes se introdujeron la temperatura del líquido refrigerante y la carga del motor.

Una vez introducidos los PID se introdujeron las siguientes funciones dentro del bucle de captura para poder realizar el análisis de los datos y registrar las infracciones de eficiencia en la base de datos.

- `Int RPM_analisis(obd_data[i].converted_value)`
 Esta función es llamada cuando en el bucle de captura el PID asociado es el de las revoluciones de motor, esto se consigue con un simple condicional y la función `strcmp()`, que nos compara si el nombre del PID coincide con el deseado.
 Una vez dentro de la función esta compara el valor de entrada con las revoluciones máximas para una conducción eficiente y si este lo supera cambia el valor de la variable de control del análisis a 1 y devuelve el resultado.
- `Int vehicle_speed_analisis(obd_data[i].converted_value, índice, velocidad)`
 Esta función es llamada cuando en el bucle de captura el PID asociado es el de las revoluciones de motor, esto se consigue con un simple condicional y la función `strcmp()`, que nos compara si el nombre del PID coincide con el deseado.
 Esta función se utiliza para registrar las infracciones de aceleración no progresiva y frenada no progresiva, para ello recibe el valor de la velocidad, el índice del vector que se aumenta en el bucle de captura y el vector de 5 enteros llamado velocidad, este vector es de tamaño 5 ya que la aplicación registra los PID cada segundo, dentro de la función se asigna a cada elemento del vector el valor del PID, una vez que el vector está completo, es decir índice es 4, se realiza la comparación del primer y último elemento de este para ver si se cumplen las condiciones para el registro de la infracción y se le asigna a la variable de control análisis el valor 3 o 4, que es devuelto al bucle de captura para registrarlo en la base de datos. Una vez realizado el análisis los valores del vector se cambian a una posición menos, es decir, el elemento 0 se elimina y en ese lugar pasa a estar el elemento 1, de esta manera el quinto elemento del vector queda vacío y en él se introducirá el nuevo valor.
- `int throttle_positiom_analisis_1(obd_data[i].converted_value, posicion_max)`
 Esta función es llamada cuando en el bucle de captura el PID asociado es el de las revoluciones de motor, esto se consigue con un simple condicional y la función `strcmp()`, que nos compara si el nombre del PID coincide con el deseado.
 En ella se comprueba si el pisado del acelerador supera el 45% del máximo si es así el valor de la variable de control análisis se pondrá a 2 y será devuelto por la función al bucle de captura para ser registrado en la base de datos.
- `int throttle_positiom_analisis_(obd_data[i].converted_value, indice2, posicion)`
 Esta función es llamada cuando en el bucle de captura el PID asociado es el de las revoluciones de motor, esto se consigue con un simple condicional y la función `strcmp()`, que nos compara si el nombre del PID coincide con el deseado.
 Esta función recibe el valor de la posición el índice del vector y el vector de 60 elementos, ya que el estudio sobre la varianza y densidad espectral de energía se realizan sobre las muestras recogidas en un minuto (Shi, Xu, Hu, Tang, Jiang, Meng, y Liu, 2015).

Una vez que el vector se ha llenado es decir índice2 vale 59, se realiza el análisis y si se cumplen las condiciones el valor obtenido, la variable de control pasa a ser 5, y se devuelve al bucle de captura para registrarlo en la base de datos.

El último cambio introducido en la aplicación es el poder realizar el análisis en tiempo real mientras se está conduciendo mediante un pitido que indica cuando se ha cometido una infracción, aunque no se sepa cuál es.

Esta función es opcional y se puede activar o desactivar mediante un valor binario en el fichero de configuración de los PID que queremos obtener, en la última fila de este fichero aparecerá un uno si queremos realizar este análisis o se dejará en blanco o se introducirá un cero si no queremos utilizar esta opción.

6. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este apartado se va a presentar el resultado del análisis realizado a los datos recogidos por la aplicación.

6.1 Cálculos previos.

Uno de los primeros cálculos realizados sobre nuestros recogidos dividirlos por tramos nuestra aplicación fue dividirlos en tramos diferenciados de nuestro recorrido ya que aplicación recoge la posición de la latitud y la longitud del vehículo en todo momento.

En nuestro caso se diferenciaban cuatro tramos con características diferenciadas: un tramo inter urbano, otro por autovía, uno urbano con un carril por sentido de circulación y el último volvía a ser urbano, pero con dos o más carriles para cada sentido. Con esto podíamos obtener la velocidad media del tramo y el tiempo que duraba cada tramo.

Para estos cálculos se ha utilizado la hoja de cálculo Microsoft Excel y se han seguido los siguientes pasos:

- Lo primero es pasar los valores de longitud y latitud a radianes tanto de la posición como de los puntos de referencia (aquellos de finalización de un tramo y comienzo de otro) para ello:

$$\text{latitud o longitud} * \left(\frac{180}{\pi}\right)$$

- Después se calcula la diferencia de la latitud y longitud en cada punto con las de los puntos de referencia

$$\begin{aligned} \text{diferencia de latitud} &= \text{latitud} - \text{latitud de referencia.} \\ \text{diferencia de longitud} &= \text{longitud} - \text{longitud de referencia.} \end{aligned}$$

- El siguiente paso es usar la siguiente ecuación.

$$nA = \frac{(\sin \text{diferencia de latitud})^2 + \cos(\text{latitud de referencia}) * \cos(\text{latitud}) * (\sin \text{diferencia de longitud})^2}{2}$$

- Después, se calcula el arco tangente de la raíz cuadrada de nA.

$$nC = \arctan nA$$

- Y por último se multiplica por el radio de la tierra, que es de aproximadamente 6531 kilómetros.

$$\text{distancia al punto de referencia} = nC * 6531$$

Con estos cálculos encontramos el punto que más se acerca a los puntos de referencia. Estos puntos se han buscado en Google Maps y son utilizados para poder realizar la división en tramos de los datos.

PUNTOS DE REFERENCIA	Latitud	Longitud
FIN INTERURBANO	40,997872	-5,670423
FIN AUTOVÍA	40,955411	-5,707058

FIN URBANO	40,979968	-5,656895
------------	-----------	-----------

Tabla 3: Puntos de referencia.

6.2 Test de Shapiro-Wilk.

Este test se utiliza para comprobar si un conjunto de datos sigue o no una distribución normal o Gaussiana, ya que para correlacionar dos variables mediante los coeficientes de correlación de Pearson o Spearman, de los que hablaremos más tarde, debemos saber si al menos una de las variables a correlacionar es gaussiana y así aplicar unos coeficientes u otros.

Este test parte de la hipótesis nula de que la variable proviene de una distribución gaussiana y trata de refutarla.

Una vez realizado es test se obtiene un valor que se denomina p-value. Si este es menor que el nivel de confianza, teniendo típicamente el valor de 0,05, se concluye que la variable no sigue una distribución normal. Sin embargo, si es superior la variable seguirá una distribución gaussiana.

Si una de las dos variables a correlacionar o las dos tienen una distribución gaussiana, se podrá aplicar el coeficiente de correlación de Pearson. En caso contrario, se deberá aplicar el coeficiente de Spearman.

Estos cálculos se han realizado con el script *swtest.m* de MATLAB.

Este script recibe un vector ya sea en fila o en columna y nos devuelve el valor de p-value, comprobándose si la variable introducida sigue una distribución normal algunos de los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.

Variable	p-value	Distribución Normal
Sexo	0,0065	NO
Edad	0,0829	SI
Años carnet	0,0817	SI

Tabla 4: Resultado test de Saphiro-Wilk.

6.3 Coeficientes de correlación empleados.

6.3.1 Coeficientes de correlación de Pearson.

Este coeficiente es una medida de la relación lineal que hay entre dos variables siempre que estas sean cuantitativas, continuas y al menos una de ellas siga una distribución gaussiana (Sierra, 2007). Al contrario que la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida, que es justo lo que necesitamos ya que, por ejemplo, vamos a correlacionar edades con velocidad.

La fórmula analítica es la siguiente:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Donde:

- σ_{XY} es la covarianza de (X , Y)
- σ_X es la desviación estándar de la variable X
- σ_Y es la desviación estándar de la variable Y

El valor de estos coeficientes varía entre [-1, 1], dándose los siguientes casos:

- Si $\rho=1$ significa que existe una correlación perfecta entre las variables y se dice que están directamente relacionadas, es decir, que si una aumenta la otra lo hace en la misma proporción.
- Si $0 < \rho < 1$ existe una correlación positiva, es decir, que si una aumenta la otra también pero en menor proporción.
- Si $\rho=0$ no existe ninguna relación lineal entre las variables.
- Si $-1 < \rho < 0$ existe una correlación negativa, es decir, que si una aumenta la otra disminuye pero en menor proporción y viceversa.
- Si $\rho=-1$ significa que existe una correlación negativa perfecta y se dice que las variables están inversamente relacionadas, es decir, que si una aumenta la otra disminuye en la misma proporción y viceversa.

Para el cálculo de estos coeficientes se ha utilizado la función PEARSON () de Microsoft Excel.

Tras el cálculo de estos coeficientes se corroborará su significancia estadística mediante el valor p-value explicado más adelante, tomando como hipótesis nula, la probabilidad de obtener este mismo coeficiente si las variables ni estuvieran correlacionadas.

6.3.2 Coeficientes de correlación de Spearman

Este coeficiente mide la relación lineal entre los rangos de las variables. Si los valores de una variable fuesen 5, 8, 1 y 9, sus rangos serían 2, 3, 1 y 4. Este coeficiente se puede aplicar tanto a variables continuas como discretas y es una alternativa al coeficiente de Pearson cuando ninguna de las variables sigue una distribución normal (Sierra, 2007).

El valor del coeficiente de correlación de Spearman está entre [-1, 1] al igual que el de Pearson, dándose de nuevo los siguientes casos:

- Si $\rho=1$ significa que existe una correlación perfecta entre las variables y se dice que están directamente relacionadas, es decir, que si una aumenta la otra lo hace en la misma proporción.
- Si $0 < \rho < 1$ existe una correlación positiva, es decir, que si una aumenta la otra también pero en menor proporción.
- Si $\rho=0$ no existe ninguna relación lineal entre las variables.
- Si $-1 < \rho < 0$ existe una correlación negativa, es decir, que si una aumenta la otra disminuye pero en menor proporción y viceversa.
- Si $\rho=-1$ significa que existe una correlación negativa perfecta y se dice que las variables están inversamente relacionadas, es decir, que si una aumenta la otra disminuye en la misma proporción y viceversa.

Para el cálculo de estos coeficientes se ha utilizado la función JERARQUIA.MEDIA () que nos devuelve los rangos de la variable y la función COEF.DE.CORREL (), que nos devuelve el coeficiente de correlación entre las dos variables. Ambas funciones pertenecen a Microsoft Excel

Tras el cálculo de estos coeficientes se corroborará su significancia estadística mediante el valor p-value explicado más adelante.

6.4 P-value

Para comprobar la significancia estadística de los coeficientes de correlación, se utiliza el p-value. Este valor intenta refutar la hipótesis nula, en nuestro caso, alcanzar el mismo coeficiente de correlación si las variables no estuvieran correlacionadas. El nivel de confianza empleado es de 0,05.

Este valor al ser una probabilidad oscila entre 0 y 1, consideraremos que para un p-value menor de 0,05, podemos concluir que el valor del coeficiente de correlación obtenido tiene significancia estadística. Sin embargo, si el p-value es mayor, no podemos concluir que realmente exista dicha correlación entre las variables.

6.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TASA DE ABANDONO EN UNA PRUEBA DE CONDUCCIÓN CON EL SIMULADOR

En este apartado se comenta el análisis de supervivencia de las personas que acaban el simulador en unas pruebas realizadas con anterioridad a este proyecto, esto es, se intenta predecir si se terminará o no la prueba de conducción en el simulador a través de las variables de sexo, edad, jugador de videojuegos, experiencia en videojuegos, experiencia en juegos de coches y las escalas 1 y 2 de somnolencia antes de la prueba. Este análisis se ha llevado a cabo a través del método de regresión logística empleando el programa de análisis estadístico SPSS.

Las pruebas en el simulador se han realizado con el dispositivo de realidad virtual Oculus Rift estas gafas de realidad virtual pueden provocar malestar en personas, personas que no estén acostumbrados a utilizarlas. Además el uso de simuladores aunque no utilicen gafas de realidad virtual también puede provocar mareos y malestar. Llegando a producir el abandono en la prueba de simulación.

En estadística, la regresión logística es un tipo de análisis de regresión utilizado para predecir el resultado de una variable categórica (una variable que puede adoptar un número limitado de categorías) en función de las variables independiente. Es útil para modelar la probabilidad de que un evento ocurra como función de otros factores (Aguayo, 2007).

6.4.1 SPSS.

SPSS es un programa estadístico muy usado en las ciencias sociales y aplicadas, además de las empresas de investigación de mercado desarrollado por IBM.

Es uno de los programas estadísticos más conocidos teniendo en cuenta su capacidad para trabajar con grandes bases de datos y una sencilla interfaz para la mayoría de los análisis (IBM, 2019).

6.4.2 Resultados.

Cómo se comentó más arriba el objetivo es conocer qué variables pueden predecir si una persona terminará o no el simulador, en nuestro caso las variables a utilizar son, sexo, edad, jugador de videojuegos, experiencia en videojuegos, experiencia en juegos de coches y las escalas 1 y 2 de somnolencia antes de realizar la prueba en el simulador. El modelo utilizado es un modelo de regresión logística hacia atrás, es decir, se incluyen todas las variables a la ecuación y se van eliminando según si tienen o no significancia estadística.

Los resultados obtenidos con SPSS son los mostrados en la tabla 5.

		B	Error estándar	Wald	gl	Sig.
Paso 1 ^a	Sexo	-3,261	1,211	7,250	1	,007
	Edad	-,142	,051	7,870	1	,005
	Jugador_habitual_videojuegos	-,770	1,434	,289	1	,591
	Experiencia_videojuegos	-,650	,345	3,555	1	,059
	Experiencia_videojuegos_coches	,774	,339	5,216	1	,022
	Estado_somnolencia_escalal	-,187	,374	,251	1	,616
	Estado_somnolencia_escalal2	-,021	,491	,002	1	,966
	Constante	7,456	2,907	6,576	1	,010
Paso 2 ^a	Sexo	-3,264	1,209	7,292	1	,007
	Edad	-,142	,050	7,999	1	,005
	Jugador_habitual_videojuegos	-,768	1,434	,287	1	,592
	Experiencia_videojuegos	-,648	,342	3,591	1	,058
	Experiencia_videojuegos_coches	,770	,329	5,473	1	,019
	Estado_somnolencia_escalal	-,197	,291	,460	1	,497
	Constante	7,454	2,904	6,590	1	,010
Paso 3 ^a	Sexo	-3,186	1,174	7,364	1	,007
	Edad	-,144	,050	8,226	1	,004
	Experiencia_videojuegos	-,719	,326	4,875	1	,027
	Experiencia_videojuegos_coches	,747	,327	5,227	1	,022
	Estado_somnolencia_	-,190	,291	,425	1	,514

	escala1					
	Constante	7,527	2,884	6,812	1	,009
Paso 4 ^a	Sexo	-3,173	1,163	7,451	1	,006
	Edad	-,141	,050	7,982	1	,005
	Experiencia_videojue gos	-,687	,317	4,699	1	,030
	Experiencia_videojueg os_coches	,718	,310	5,355	1	,021
	Constante	6,612	2,404	7,564	1	,006

Tabla 5: resultado del análisis SPSS.

Como se observa, en cada paso que se avanza se va eliminando la variable menos significativa, es decir, la que posee valor más elevado en la columna Sig. La primera variable eliminada es la escala 2 de somnolencia antes de esta prueba, la siguiente fue jugador habitual de videojuegos y por último la escala 1 de somnolencia antes de a prueba. En el último paso todas las variables tienen significancia estadística, es decir el valor de la columna Sig es inferior a 0,05.

Por lo tanto se pudo predecir si se terminará o no el simulador según los valores de las variables sexo, edad, experiencia en videojuegos y experiencia en videojuegos de coches.

Que el escenario de terminar o no la prueba con el simulador dependan de estas variables, según lo que nos dice la lógica es correcto, ya que una persona está acostumbrada a los videojuegos, será más probable que no sura malestar que le obligue a dejar la prueba.

Además, las personas acostumbradas al uso de videojuegos suelen ser varones jóvenes, por lo que es lógico que las variables de sexo y edad interfieran en desarrollo del escenario.

6.5 Resultados de los análisis obtenidos con nuestra aplicación.

En este apartado se van a mostrar los resultados obtenidos por nuestra aplicación.

Todas las pruebas fueron realizadas con el mismo vehículo, un Toyota Aygo con motor de gasolina de 1000 cc y participaron 5 usuarios diferentes. Los usuarios participaron voluntariamente en las pruebas y accedieron a que se publicaran los datos recabados de manera anónima. A cada uno de ellos se le pasó una encuesta obteniéndose los resultados reflejados en la tabla 6.

Todos los usuarios, exceptuando el 3, que solo suele conducir en tramos urbanos, están acostumbrados a todo tipo de vía.

La edad media de los usuarios que realizaron la prueba es de 37,8 años. La desviación típica de la edad de los usuarios es de 16,77.

La media de los años de carnet y su desviación típica son 17,4 y 14,38, respectivamente.

La variable de autoevaluación de eficiencia general hace referencia a la nota de 0 a 10 que se ponen los usuarios en relación al cómo de eficiente consideran que es su conducción.

La variable de autoevaluación de eficiencia tras la prueba hace referencia a la nota de 0 a 10 que los usuarios se dieron en función del grado de eficiencia en la conducción durante la prueba con el Toyota Aygo.

La variable relación entre conducción eficiente y segura hace referencia a si los usuarios creen o no que ambos estilos de conducción están relacionados.

La variable nota en el test de eficiencia hace referencia a la nota obtenida en el test que realizaron. Este test estaba formado por 9 preguntas, de las cuales 8 tenían una respuesta correcta afirmativa y solo una tenía una respuesta correcta negativa.

Las preguntas realizadas fueron:

¿Cuáles de estos comportamientos crees que son propios de una conducción eficiente?:

1. Aceleración progresiva (sí/no).
2. Mantener una velocidad constante e inferior a 100 km/h en tramos interurbanos (sí/no).
3. Mantener la marcha más larga posible para cada velocidad (sí/no).
4. Mantener abiertas las ventanillas (sí/no).
5. Tomar curvas progresivamente (sí/no).
6. Usar el freno motor (sí/no).
7. Apagar el motor cuando el vehículo está parado más de un minuto (sí/no).
8. Mantener los neumáticos con el nivel de presión recomendado por el fabricante (sí/no).
9. Mantener la distancia adecuada al vehículo de delante y evitar frenazos bruscos (sí/no).

	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4	Usuario 5
Sexo	Hombre	Mujer	Mujer	Hombre	Hombre
Edad	23	58	54	26	28
Años de carnet	5	31	35	7	9
Km anuales	12000	15000	9000	2500	10000
Autoevaluación de eficiencia general	8	8	7	7	10
Autoevaluación de eficiencia tras prueba	7	8	7	8	8
Relación conducción eficiente y segura	10	10	10	10	10
Nota test de eficiencia	10	7,77	8,88	7,77	8,88

Tabla 6: Resultados de la encuesta pasada a los usuarios de las pruebas

El recorrido realizado por los usuarios es el mostrado en la Figura 11. Este se encuentra en el entorno de la ciudad de Salamanca, tiene una longitud total aproximada de 20 kilómetros y se necesita una duración aproximada de media hora para completarlo.

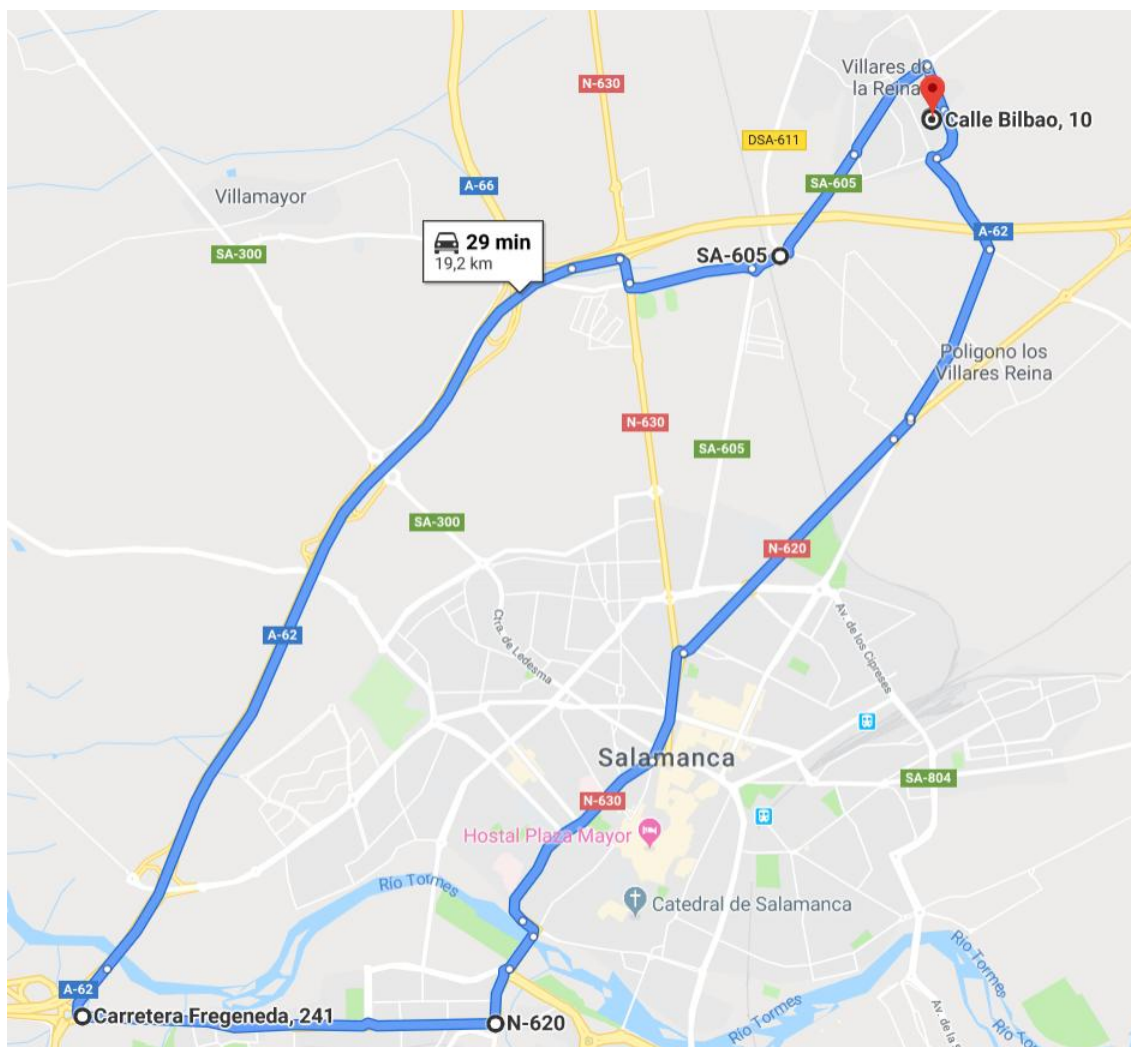


Figura 111: Recorrido de las pruebas.

En este recorrido, se pueden distinguir cuatro tramos diferentes dependiendo del tipo de vía.

Estos tramos son:

- Tramo interurbano, desde la salida en Villares de la Reina hasta la entrada en la autovía. Este recorrido tiene una longitud de 3,5 kilómetros y una duración de unos 5 minutos.
- Autovía, desde el final del tramo anterior hasta la salida dirección Cáceres. Este tramo tiene una longitud de unos 7 kilómetros y una duración aproximada de 7 minutos.

- Tramo urbano, desde la salida de la autovía hasta la salida de Salamanca dirección Valladolid. Este tramo tiene una longitud de unos 7 kilómetros y una duración de 12 minutos.
- Tramo de vía urbana con más de un carril para cada sentido, desde la salida de Salamanca, hasta el punto de partida de la prueba. Este tramo tiene una longitud de unos 3,7 kilómetros y una duración aproximada de 6 minutos.

6.5.1 Aplicación de los coeficientes de correlación a los datos obtenidos con nuestra aplicación.

A pesar de no haber podido realizar las pruebas con más usuarios y ser un número reducido, hemos realizado un análisis estadístico de las variables recogidas en las pruebas.

6.5.1.1 Datos personales frente a los kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y la nota en el test de eficiencia.

En la tabla 7 aparecen los resultados obtenidos de coeficientes de correlación, y los p-value asociados, entre las variables de datos personales y las de kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba, y nota obtenida en el test de eficiencia, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	Km anuales	Autoevaluación eficiencia general	Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	Nota test de eficiencia
Sexo	0,15768331	-0,372677996	-1	0,763759477
Edad	0,46256788	-0,292144667	-0,038106561	-0,414175826
Años de carnet	0,38887574	-0,340667226	-0,165046933	-0,325209973
p-value				
Sexo	0,79317468	0,517671928		0,09571961
Edad	0,40759193	0,619380047	0,949897305	0,466312923
Años de carnet	0,49752684	0,557813821	0,783570296	0,57733938

Tabla 7: Coeficientes de correlación y p-value entre las variables de datos personales y kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y la nota en el test de eficiencia.

En este caso, ningún valor de p-value nos permite refutar la hipótesis nula, en nuestro caso obtener el mismo coeficiente de correlación si las variables no están relacionadas, ya que siempre $p\text{-value} > 0,05$. Esto indica que las variables no están correlacionadas.

6.5.1.2 Datos personales frente a la velocidad media en todos los tramos de la prueba.

En la tabla 8 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value a las variables de datos personales frente a las velocidades medias en los diferentes tramos tomados dos a dos.

Coeficiente	Velocidad	Velocidad	Velocidad	Velocidad	Velocidad
-------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

s de correlación	media total	media interurbano	media autovía	media urbano	media ronda
Sexo	0,53958699	0,154260426	-0,20748411	0,824241373	-0,78315739
Edad	-0,8125941	-0,64847142	-0,89368671	-0,49097498	0,253597289
Años de carnet	0,38885738	-0,16504693	-0,32529973	-0,71098779	-0,727274
p-value					
Sexo	0,31756626	0,797641642	0,728381697	0,053093737	0,080974757
Edad	0,06099238	0,200102465	0,018247721	0,373819834	0,668797191
Años de carnet	0,49756838	0,783570296	0,57733938	0,140301247	0,125901083

Tabla 8 Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente velocidad media en todos los tramos de la prueba

En este caso, ningún valor de p-value nos permite refutar la hipótesis nula $p\text{-value} < 0,05$. Esto indica que las variables no tienen relación lineal entre ellas.

6.5.1.3 Datos personales frente a la desviación típica de la velocidad en todos los tramos de la prueba.

En la tabla 9 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value a las variables de datos personales y la desviación típica de la velocidad tramos, tomadas dos a dos.

Coeficiente s de correlación	Desviación Velocidad total	Desviación Velocidad interurbano	Desviación Velocidad autovía	Desviación Velocidad urbano	Desviación Velocidad ronda
Sexo	-0,4411227	-0,5775269	-0,3480736	0,12895489	-0,35538646
Edad	-0,6396936	-0,6162729	-0,3476772	-0,70834601	-0,86556111
Años de carnet	-0,3406226	-0,5498594	-0,9324939	-0,39021783	0,199218286
p-value					
Sexo	0,43344048	0,27521973	0,57785242	0,831312232	0,539740484
Edad	0,20935051	0,23330784	0,54899568	0,14265206	0,030334156
Años de carnet	0,55781382	0,30648021	0,00657421	0,49578386	0,739107488

Tabla 9: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente desviación típica de la velocidad en todos los tramos de la prueba.

El único valor de p-value que nos permite refutar la hipótesis nula ($p\text{-value} < 0,05$) es el que se da entre las variables datos de carnet y la desviación de la velocidad en el tramo de autovía.

El valor del coeficiente de correlación asociado es negativo y próximo a 1. Esto indica que las variables están relacionadas linealmente pero de forma inversa, es decir, si una aumenta la otra disminuye.

Aplicado a nuestras variables, este resultado nos indica que las personas con más años de carnet realizaron menos cambios bruscos en la velocidad en el tramo de autovía. Este

resultado se puede explicar por el hecho de que las personas mayores suelen realizar una conducción más pausada.

6.5.1.4 Datos personales frente a las revoluciones por minuto en todos los tramos de la prueba.

En la tabla 10 aparecen los resultados de los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables de datos personales y la media de las revoluciones por minuto del motor en todos los tramos de la prueba, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	RPM media total	RPM media interurbano	RPM media autovía	RPM media urbano	RPM media ronda
Sexo	0,54985350	-0,144599736	0,02836591	0,69501143	-0,00614967
Edad	0,47127258	0,249253104	0,24493982	0,69842630	0,52033608
Años de carnet	0,56783836	0,280290237	0,29591426	0,75049753	0,610311555
p-value					
Sexo	0,30585410	0,81025729	0,96270192	0,15493250	0,991913321
Edad	0,39718423	0,674390397	0,67994822	0,15176480	0,33955768
Años de carnet	0,28572796	0,634534176	0,61456978	0,10633907	0,239602444

Tabla 10: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente revoluciones por en todos los tramos de la prueba.

En este caso ningún valor de p-value nos permite refutar la hipótesis nula ($p\text{-value} < 0,05$). Esto indica que las variables no tienen relación lineal entre ellas.

6.5.1.5 Datos personales frente a la desviación típica y las revoluciones por minuto en todos los tramos de la prueba.

En la tabla 11 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables de datos personales y la desviación típica de las revoluciones por minuto del motor, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	Desviación RPM total	Desviación RPM interurbano	Desviación RPM autovía	Desviación RPM urbano	Desviación RPM ronda
Sexo	-0,3960049	-0,2417838	-0,7284267	-0,00464793	-0,23536798
Edad	0,29464510	0,87349412	0,46178652	0,944486984	0,221107702
Años de carnet	0,18815257	0,79327246	0,37998742	0,885854097	0,185919436
p-value					
Sexo	0,48870082	0,68402441	0,12492332	0,993888004	0,692296109
Edad	0,61618885	0,02662000	0,40852862	0,004178711	0,710731735
Años de carnet	0,75348528	0,07366195	0,50856644	0,121309854	0,756389326

Tabla 11: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente desviación típica de las revoluciones por minuto en todos los tramos de la prueba

Los valores de p-value que nos permiten refutar la hipótesis nula ($p\text{-value} < 0,05$), son los que se dan entre la variable edad y la desviación de las revoluciones por minuto del motor en los tramos interurbano y urbano.

El valor de los coeficientes de correlación asociados a estas variables son positivos y cercanos a 1. Esto indica que las personas con mayor edad realizaron aceleraciones o frenazos más bruscos, ya que las revoluciones variaron de forma brusca en este tipo de tramos. Este resultado puede resultar sorprendente ya que podría pensarse que, en principio y de manera general, son los conductores más jóvenes los que realizan una conducción más agresiva, aunque hay que tener en cuenta el reducido número de participantes en las pruebas.

6.5.1.6 Datos personales frente a la posición media del pedal del acelerador en todos los tramos de la prueba.

En la tabla 12 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre variables de datos personales y la posición media de la posición del pedal del acelerador en todos los tramos, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	Posición acelerador media total	Posición acelerador media interurbano	Posición acelerador media autovía	Posición acelerador media urbano	Posición acelerador media ronda
Sexo	-0,2440172	-0,276069926	0,42996096	0,22683108	-0,81604205
Edad	0,23743575	-0,177318642	-0,3972411	0,59697625	0,404915548
Años de carnet	0,08472575	-0,229113774	-0,4365096	0,51781895	0,274682398
p-value					
Sexo	0,68114340	0,63993881	0,4469939	0,70320595	0,058282668
Edad	0,68962772	0,767581549	0,48713316	0,25384731	0,477700359
Años de carnet	0,88866642	0,70037683	0,43898053	0,34229548	0,641716781

Tabla 12: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente posición media del pedal del acelerador en todos los tramos de la prueba.

En este caso ningún valor de p-value nos permite refutar la hipótesis nula ($p\text{-value} < 0,05$). Esto indica que las variables no tienen relación lineal entre ellas.

6.5.1.7 Datos personales frente a la desviación típica de la posición del pedal del acelerador en todos los tramos de la prueba.

En la tabla 13 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables de datos personales y la desviación típica de la posición del pedal del acelerador en todos los tramos, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	Desviación posición acelerador total	Desviación posición acelerador interurbano	Desviación posición acelerador autovía	Desviación posición acelerador urbano	Desviación posición acelerador ronda
-----------------------------	--------------------------------------	--	--	---------------------------------------	--------------------------------------

Sexo	-0,2158322	-0,2556133	-0,2252813	0,03428329	0,04102532
Edad	0,22393476	0,0325703	0,27709658	0,72761275	-0,41573511
Años de carnet	0,08379548	-0,0301697	0,13233116	0,6418602	-0,50548887
p-value					
Sexo	0,71752008	0,66620434	0,70553014	0,95492291	0,94606096
Edad	0,70703748	0,95717473	0,6386236	0,12560734	0,46439988
Años de carnet	0,88934295	0,96033022	0,82629476	0,20680244	0,35679843

Tabla 13: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente desviación típica de la posición del pedal del acelerador en todos los tramos de la prueba.

En este caso ningún valor de p-value nos permite refutar la hipótesis nula (p-value <0,05). Esto indica que las variables no tienen relación lineal entre ellas.

6.5.1.8 Datos personales frente a las infracciones recogidas por la aplicación en todo el recorrido.

En la tabla 14 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables de datos personales y las infracciones recogidas por nuestra aplicación en la totalidad del recorrido, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas	Aceleración brusca escala 1	Aceleración brusca escala 2	Aceleración no progresiva	Frenada no progresiva
Sexo	0,11275958	-0,1541957		0,4489581	0,74535599
Edad	0,67347015	-0,61478364		0,55029391	0,6573255
Años de carnet	0,7656942	-0,6319313		0,54359381	0,76650126
p-value					
Sexo	0,85191236	0,79772613		0,42396396	0,11056669
Edad	0,17539403	0,23487198		0,30535739	0,19124119
Años de carnet	0,0942057	0,21697795		0,31293426	0,0935769

Tabla 14: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente infracciones recogidas por la aplicación en todo el recorrido.

En este caso ningún valor de p-value nos permite refutar la hipótesis nula (p-value <0,05). Esto indica que las variables no tienen relación lineal entre ellas.

6.5.1.8 Datos personales frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo interurbano.

En la tabla 15 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables de datos personales y las infracciones recogidas por nuestra aplicación en el tramo interurbano, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas	Aceleración brusca	Aceleración brusca	Aceleración no progresiva	Frenada no progresiva
-----------------------------	--------------	--------------------	--------------------	---------------------------	-----------------------

correlación	interurbano	escala 1 interurbano	escala 2 interurbano	interurbano	interurbano
Sexo	-0,5539111	-0,3779644		-0,91287093	-0,61237244
Edad	0,41210214	-0,1687199		0,57084556	0,49337719
Años de carnet	0,30004982	-0,2351316		0,41247309	0,48202707
p-value					
Sexo	0,3012843	0,51108408		0,01172481	0,23741931
Edad	0,46885907	0,77878236		0,28239528	0,37099388
Años carnet	0,6092975	0,69260227		0,46840344	0,38439787

Tabla 15: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente infracciones recogidas por la aplicación en el tramo interurbano.

El único valor de p-value que nos permite refutar la hipótesis nula ($p\text{-value} < 0,05$), se da entre la variable sexo y aceleración no progresiva en el tramo interurbano.

El valor del coeficiente de correlación asociado a este p-value, es negativo y próximo a 1. Esto indica que existe una relación lineal inversa entre las variables.

En nuestro caso la variable sexo es una variable binaria, 0 indica sexo masculino y 1 sexo femenino.

En este caso, las mujeres realizaron menor número de aceleraciones no progresivas en el tramo interurbano. Esto puede deberse a que, normalmente, los usuarios que practican una conducción agresiva en este tipo de tramos son hombres jóvenes.

6.5.1.9 Datos personales frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de autovía.

En la tabla 16 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables de datos personales y las infracciones recogidas por nuestra aplicación en el tramo de autovía, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas autovía	Aceleración brusca escala 1 autovía	Aceleración brusca escala 2 autovía	Aceleración no progresiva autovía	Frenada no progresiva autovía
Sexo	0,16746135	-0,3686736		-0,25663245	0
Edad	0,33975327	-0,1706518		0,34247789	0,4267046
Años de carnet	0,46495073	-0,2935193		0,19269834	0,28766132
p-value					
Sexo	0,78042282	0,52275299		0,66489208	1
Edad	0,55896589	0,7762671		0,55553236	0,45097903
Años de carnet	0,40473783	0,61762462		0,74757639	0,62510658

Tabla 16: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de autovía.

En este caso ningún valor de p-value nos permite refutar la hipótesis nula ($p\text{-value} < 0,05$). Esto indica que las variables no tienen relación lineal entre ellas.

6.5.1.10 Datos personales frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo urbano.

En la tabla 17 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables de datos personales y las infracciones recogidas por nuestra aplicación en el tramo en el tramo urbano, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas urbano	Aceleración brusca escala urbano	Aceleración brusca 1 escala urbano	Aceleración no progresiva urbano	Frenada no progresiva urbano
Sexo	-0,1207926	-0,4033892		0,67521104	0,91287093
Edad	0,96046864	0,81412618		0,12170685	0,11181334
Años de carnet	0,89695341	0,69689033		0,20192821	0,27815362
p-value					
Sexo	0,84167241	0,47976684		0,17371067	0,01172481
Edad	0,00187988	0,05950229		0,84019632	0,85315187
Años de carnet	0,01703019	0,15318694		0,73558971	0,63726976

Tabla 17: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente infracciones recogidas por la aplicación en el tramo urbano.

Los valores de p-value que nos permite rechazar la hipótesis nula son aquellos que se dan entre la variable exceso de revoluciones del motor con la edad y años de carnet.

Los coeficientes de correlación asociados son positivos y de valor próximo a 1. Esto indica que las personas con más edad y años de carnet realizaron más infracciones del tipo exceso de revoluciones de motor en el tramo urbano. Este resultado no sería el esperado ya que el estilo de conducción agresiva es más propio de la gente joven e inexperta aunque hay que tener en cuenta el reducido número de participantes en las pruebas.

6.5.1.11 Datos personales frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de vía urbana con más de un carril para cada sentido.

En la tabla 18 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables datos personales y las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de vía urbana con más de un carril para cada sentido, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas ronda	Aceleración brusca escala ronda	Aceleración brusca 1 escala ronda	Aceleración no progresiva ronda	Frenada no progresiva ronda
Sexo	0,63069802	-0,0705456		0,32274861	0,32274861
Edad	0,36281827	-0,7533624		0,93822577	0,8767446
Años de carnet	0,52652019	-0,7011772		0,98342157	0,94850488

carnet					
p-value					
Sexo	0,21825161	0,90729368		0,58045643	0,58045643
Edad	0,52999131	0,10401161		0,00535448	0,02516889
Años de carnet	0,33243152	0,14922866		0,0002306	0,00350653

Tabla 18: Coeficientes de correlación y p-value datos personales frente infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de vía urbana con más de un carril para cada sentido.

El valor de p-value que nos permite rechazar la hipótesis nula son aquellos que se dan entre la variable edad y aceleración no progresiva y entre la variable años de carnet y aceleración y frenada no progresivos.

Los valores de los coeficientes de correlación son positivos y cercanos a 1. Esto indica la existencia de una relación lineal entre las variables.

En este caso, indica que las personas con más edad y años de carnet, cometieron más infracciones del tipo aceleración no progresiva. Aquellas personas con más años con carnet realizaron más infracciones del tipo frenada no progresiva en el tramo con varios carriles para cada sentido de circulación. Este resultado no es sería el esperado en principio ya que estas infracciones son más propias de un estilo de conducción agresivo característico de los conductores jóvenes.

6.5.1.12 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a la velocidad media en todos los tramos.

En la tabla 19 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre la variables de kilometraje anual la velocidad media en cada uno de los tramos, tomadas dos a dos, y las evaluaciones de eficiencia y la velocidad media en cada uno de los tramos, tomadas dos a dos.

Coeficiente de correlación	Velocidad media total	Velocidad media interurbano	Velocidad media autovía	Velocidad media urbano	Velocidad media ronda
Km anuales	-0,3810934	-0,2747296	-0,4806635	-0,14261081	-0,01476522
Autoevaluación eficiencia general	0,00830169	0,57702390	0,04126465	-0,31738654	0,535745189
Autoevaluación eficiencia tras prueba	-0,5395689	-0,1542642	0,20748411	-0,82424373	0,783145739
Nota test de eficiencia	0,75817753	0,58466743	0,11700408	0,794809988	-0,60179412
p-value					
Km anuales	0,50723314	0,64147255	0,38608230	0,812842594	0,980582503

Autoevaluación eficiencia general	0,98908338	0,27557865	0,94574639	0,587259075	0,321863947
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,31750662	0,79764164	0,72838169	0,053093737	0,080974757
Nota test de eficiencia	0,10014298	0,2672010	0,84635232	0,072576003	0,248681799

Tabla 19: Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente la velocidad media en todos los tramos.

En este caso ningún coeficiente de correlación supera el test de la hipótesis nula ($p\text{-value} < 0,05$), esto indica que no hay relación entre la velocidad media con ninguna de las otras variables.

6.5.1.13 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a la desviación típica de la velocidad en todos los tramos.

En la tabla 20 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables de kilometraje anual las desviaciones típicas de las velocidad en cada uno de los tramos, tomadas dos a dos, y las evaluaciones de eficiencia y las desviaciones típicas de las velocidad en cada uno de los tramos, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	Desviación Velocidad total	Desviación Velocidad interurbano	Desviación Velocidad autovía	Desviación Velocidad urbano	Desviación Velocidad ronda
Km anuales	0,19292275	-0,0433721	0,53307161	-0,60600842	-0,44863187
Autoevaluación eficiencia general	0,83768269	0,46524375	0,91790120	-0,43388943	0,601733819
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,44112422	0,64789341	0,32480473	-0,12849589	0,355038646
Nota test de eficiencia	0,23072049	-0,1516887	0,30490206	0,134017429	0,19710239
p-value					
Km anuales	0,74724773	0,94296578	0,32498741	0,244180912	0,424561533
Autoevalua	0,04508787	0,40438121	0,01056123	0,44225275	0,248746378

ción eficiencia general					
Autoevalua ción eficiencia tras PRUEBA	0,43344048	0,20068907	0,57782425	0,831312232	0,539740484
Nota test de eficiencia	0,69826646	0,80177527	0,60308794	0,824089452	0,741855061

Tabla 20: Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente la desviación típica de la velocidad en todos los tramos.

Los p-value que cumplen el test de la hipótesis nula ($p\text{-value} < 0,05$), están asociados a los coeficientes de correlación entre la variable de autoevaluación de eficiencia general con las desviaciones típicas de la velocidad en el recorrido total y en el tramo de autovía.

En ambos casos el valor de estos coeficientes es positivo, esto indica que los usuarios que se calificaron con mejores notas, realizaron más cambios bruscos en la velocidad, no realizando una conducción eficiente. El resultado lógico y esperado sería totalmente el contrario, ya que una persona con una conducción eficiente tiende a mantener una velocidad constante. Por ello, se puede concluir que la autoevaluación de eficiencia en la conducción de los participantes en las pruebas difiera de su grado de eficiencia en la conducción real.

6.5.1.14 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a las revoluciones por minuto medias en todos los tramos.

En la tabla 21 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables de kilometraje anual las desviaciones típicas de las revoluciones del motor en cada uno de los tramos, tomadas dos a dos, y las evaluaciones de eficiencia y las desviaciones típicas de las revoluciones del motor en cada uno de los tramos, tomadas dos a dos.

Coeficiente s de correlación	RPM media total	RPM media interurbano	RPM media autovía	RPM media urbano	RPM media ronda
Km anuales	0,49552496	0,33247961	0,37513901	0,63816488	-0,06402594
Autoevalua ción eficiencia general	0,22413181	0,71712948	0,67767942 5	-0,26615831	0,114591164
Autoevalua ción eficiencia	-0,5498535	0,14459736	-0,0283919	- 0,695011436	0,006149607

tras PRUEBA					
Nota test de eficiencia	0,47192893	0,10506383	0,25462647	0,341653049	-0,18895418
p-value					
Km anuales	0,36847120	0,56812241	0,50915559	0,210573114	0,915477435
Autoevaluación eficiencia general	0,70684295	0,13411247	0,17133259	0,652651038	0,84951336
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,30585410	0,81025729	0,96270192	0,154932502	0,991913321
Nota test de eficiencia	0,39640155	0,86199553	0,66747276	0,556571514	0,752909494

Tabla 21: Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente las revoluciones por minuto medias en todos los tramos.

En este caso ningún coeficiente de correlación supera el test de la hipótesis nula ($p\text{-value} < 0,05$), esto indica que no hay relación entre la media de las revoluciones por minuto con ninguna de las otras variables.

6.5.1.15 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a la desviación típica de las revoluciones por minuto medias en todos los tramos.

En la tabla 22 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables de kilometraje anual y las desviaciones típicas de las revoluciones del motor en cada uno de los tramos, tomadas dos a dos, y las evaluaciones de eficiencia y las desviaciones típicas de las revoluciones del motor en cada uno de los tramos, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	Desviación RPM total	Desviación RPM interurbano	Desviación RPM autovía	Desviación RPM urbano	Desviación RPM ronda
Km anuales	0,78460358	0,70968483	0,27152376	0,706974527	0,630530001
Autoevaluación eficiencia general	0,76825826	0,14601716	0,52404082	-0,11085589	0,858098856
Autoevaluación eficiencia tras	0,39600347	0,24177538	0,72840647	0,00464793	0,235368798

PRUEBA					
Nota test de eficiencia	-0,0400453	-0,3982805	-0,5931091	-0,31573564	0,142489433
p-value					
Km anuales	0,07987817	0,14151809	0,64576181	0,143930919	0,218425285
Autoevaluación eficiencia general	0,09203909	0,80833314	0,33580836	0,854401288	0,034008707
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,48870829	0,68424417	0,14923322	0,993888004	0,692296109
Nota test de eficiencia	0,94736335	0,48584551	0,25774677	0,589377034	0,81301462

Tabla 22: Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente la desviación típica de las revoluciones por minuto medias en todos los tramos

En este caso ningún coeficiente de correlación supera el test de la hipótesis nula ($p\text{-value} < 0,05$), esto indica que no hay relación entre la desviación de las revoluciones por minuto con ninguna de las otras variables.

6.5.1.16 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a la posición media del pedal del acelerador en todos los tramos.

En la tabla 23 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value a las variables de kilometraje anual la posición media del acelerador en cada uno de los tramos, tomadas dos a dos, y las evaluaciones de eficiencia y la posición media del acelerador en cada uno de los tramos, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	posición acelerador media total	posición acelerador media interurbano	posición acelerador media autovía	posición acelerador media urbano	posición acelerador media ronda
Km anuales	0,81879094	0,53519676	0,47401154	0,619188104	0,366677129
Autoevaluación eficiencia general	0,32489617	0,98284286	0,12677071	-0,43882598	0,504089842
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,24401272	0,27606992	-0,4976096	-0,22683108	0,816014205

Nota test de eficiencia	-0,0468064	0,30355169	0,68399504	-0,10699937	-0,63974511
p-value					
Km anuales	0,05634949	0,32232391	0,39538639	0,230238339	0,525164852
Autoevaluación eficiencia general	0,57788261	0,00021438	0,83328922	0,436195382	0,358432276
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,68113401	0,63993881	0,44698939	0,703260595	0,058282668
Nota test de eficiencia	0,93846564	0,60480948	0,16557639	0,859720393	0,209336648

Tabla 23 Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente la posición media del pedal del acelerador en todos los tramos

El único coeficiente de correlación que supera el test de la hipótesis nula ($p\text{-value} < 0,05$), es el dado entre la autoevaluación de eficiencia general y la posición del pedal del acelerador en todo el recorrido. Al ser el valor del coeficiente positivo y cercano a 1, indica que los usuarios que se calificaron mejor llevaron el pedal del acelerador pisado más a fondo. El resultado no es lógico ya que esta acción no es parte de una conducción eficiente, por lo que se puede deducir que los usuarios no tienen una percepción correcta de su nivel de eficiencia en la conducción. Como respuesta a esta situación, sería preciso aumentar el conocimiento sobre las conductas de conducción eficiente tanto de manera teórica como práctica.

6.5.1.17 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a la desviación típica de la posición del pedal del acelerador en todos los tramos.

En la tabla 24 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables de kilometraje anual y las desviaciones típicas de la posición del acelerador en cada uno de los tramos, tomadas dos a dos, y las evaluaciones de eficiencia y las desviaciones típicas de la posición del acelerador en cada uno de los tramos, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	Desviación posición acelerador total	Desviación posición acelerador interurbano	Desviación posición acelerador autovía	Desviación posición acelerador urbano	Desviación posición acelerador ronda
Km anuales	0,87982942	0,68182128	0,87195293	0,47842236	0,58584951
Autoevaluación	0,47231588	0,92581219	0,39938061	-0,51958285	0,52747854

eficiencia general					
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,21583226	0,25561233	0,22512813	-0,03428329	-0,04102532
Nota test de eficiencia	0,05234490	0,23818274	-0,0079288	-0,39018914	0,51856901
p-value					
Km anuales	0,02382759	0,16736558	0,02732149	0,38867454	0,26591423
Autoevaluación eficiencia general	0,39594027	0,00815096	0,48452767	0,34042791	0,33133015
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,71756008	0,66620434	0,70553014	0,95492291	0,94606096
Nota test de eficiencia	0,93115555	0,68866363	0,9895723	0,49589867	0,34159998

Tabla 24: Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente desviación típica de la posición del pedal del acelerador en todos los tramos

Aunque la mayoría de los valores de los coeficientes de correlación son altos y positivos, solo hay tres con significancia estadística y que, por lo tanto, superaron el test de la hipótesis nula ($p\text{-value} < 0,05$).

Estos coeficientes son entre el kilometraje anual y la desviación típica de la posición del acelerador en todo el recorrido y el kilometraje anual con la desviación típica de la posición del acelerador en el tramo de autovía. Esto nos indica que los usuarios que realizan mayores distancias al año, también pisan el acelerador de forma más irregular en este tipo de vías. Este resultado no es sería el esperable ya que es de suponer que estos usuarios realicen una conducción menos agresiva.

El otro coeficiente con significancia estadística es entre autoevaluación de eficiencia general y la desviación de la posición del acelerador en el tramo interurbano. El valor de este coeficiente es positivo y cercano a 1, lo que nos indica que los usuarios que se autoevaluaron mejor pisaron el acelerador de forma más irregular en el tramo interurbano. Este resultado es pone de manifiesto la falta de conocimiento de algunas de las técnicas de conducción eficiente o, al menos, de su puesta en práctica al conducir.

6.5.1.18 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a las infracciones recogidas por la aplicación en todo el recorrido.

En la tabla 25 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables de kilometraje anual y las infracciones registradas por la aplicación en todo el recorrido, tomadas dos a dos y las evaluaciones de eficiencia frente a las infracciones registradas por la aplicación en todo el recorrido, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas	Aceleración brusca escala 1	Aceleración brusca escala 2	Aceleración no progresiva	Frenada no progresiva
Km anuales	-0,2457294	0,209709		0,21866714	0,24240603
Autoevaluación eficiencia general	-0,4358387	0,91484826		-0,81897172	-0,5
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	-0,1127558	0,1541957		-0,4489581	-0,74535599
Nota test de eficiencia	-0,3920805	0,51099417		-0,1068947	0,24303565
p-value					
Km anuales	0,67951885	0,72549681		0,71389091	0,68321514
Autoevaluación eficiencia general	0,43985519	0,01113547		0,05639367	0,36321747
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,85191236	0,79772613		0,42396396	0,11056669
Nota test de eficiencia	0,49354613	0,3503844		0,85959621	0,68240321

Tabla 25: Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente las infracciones recogidas por la aplicación en todo el recorrido.

El único coeficiente de correlación que supera el test de la hipótesis nula ($p\text{-value} < 0,05$), es el dado entre la autoevaluación de eficiencia general y las aceleraciones bruscas con la escala 1. Esto nos indica que los usuarios que se calificaron mejor realizaron un mayor número de aceleraciones bruscas. Este resultado es contradictorio ya que este tipo de acción no se corresponde con una conducción eficiente. Lo que ha

sucedido es que probablemente los usuarios no conozcan o no sepan aplicar correctamente algunas de las técnicas de conducción eficiente.

6.5.1.19 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo interurbano.

En la tabla 26 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables de kilometraje anual y las infracciones registradas por la aplicación en el tramo interurbano, tomadas dos a dos y las evaluaciones de eficiencia frente y las infracciones registradas por la aplicación en el tramo interurbano, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas interurbano	Aceleración brusca escala 1 interurbano	Aceleración brusca escala 2 interurbano	Aceleración no progresiva interurbano	Frenada no progresiva interurbano
Km anuales	0,66598755	0,51031376		0,5102091	-0,27761262
Autoevaluación eficiencia general	0,68810235	0,9860133		0,0984374	0
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,55391171	0,37796447		0,91287093	0,61237244
Nota test de eficiencia	-0,2827605	0,20540262		-0,6621073	-0,80349364
p-value					
Km anuales	0,18268648	0,35117579		0,35129755	0,63796263
Autoevaluación eficiencia general	0,16140644	0,00015206		0,87068176	1
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,3012843	0,51108408		0,01172481	0,23741931
Nota test de eficiencia	0,63137357	0,73108148		0,18650393	0,06656648

Tabla 26: Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo interurbano.

El único coeficiente de correlación que supera el test de la hipótesis nula ($p\text{-value} < 0,05$), es el dado entre la autoevaluación de eficiencia general y las aceleraciones bruscas con la escala 1. Esto nos indica que los usuarios que se calificaron mejor realizaron un mayor número de aceleraciones bruscas.

6.5.1.20 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de autovía.

En la tabla 27 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los $p\text{-value}$, entre las variables de kilometraje anual y evaluaciones de eficiencia frente a las infracciones registradas por la aplicación en la autovía. Este resultado es erróneo ya que este tipo de acción no se corresponde con una conducción eficiente. Lo que ha sucedido es que probablemente los usuarios no sepan aplicar correctamente las técnicas de conducción eficiente.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas autovía	Aceleración brusca escala autovía 1	Aceleración brusca escala autovía 2	Aceleración no progresiva autovía	Frenada progresiva autovía	no
Km anuales	-0,5865601	0,66864275		0,85196757	0,77852234	
Autoevaluación eficiencia general	-0,5259777	0,81911167		0,32791292		0
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	-0,1674635	0,36860736		0,25663245		0
Nota test de eficiencia	-0,2991123	0,17741739		-0,09477187	-0,13191687	
p-value						
Km anuales	0,26519884	0,18008825		0,03718257	0,08440405	
Autoevaluación eficiencia general	0,33406768	0,05630494		0,57391882		1
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,78042282	0,52275299		0,66489208		1
Nota test de eficiencia	0,61049225	0,76745298		0,87548822	0,82683663	

Tabla 27: Coeficientes de correlación y p-value kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de autovía

Según el valor de p-value ningún coeficiente de correlación posee significancia estadística, es decir, el p-value es superior a 0,05 en todos los casos, aunque los valores de los coeficientes de correlación sean cercanos a 1 en muchos casos.

El único coeficiente cercano es el dado entre la autoevaluación de eficiencia general y las aceleraciones bruscas con la escala 1. Esto nos indica que los usuarios que se calificaron mejor realizaron un mayor número de aceleraciones bruscas.

6.5.1.21 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo urbano.

En la tabla 28 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value, entre las variables de kilometraje anual las infracciones registradas por la aplicación en el tramo urbano, tomadas dos a dos, y las evaluaciones de eficiencia frente a las infracciones registradas por la aplicación en el tramo urbano, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas urbano	Aceleración brusca escala urbano	Aceleración brusca escala 1 urbano	Aceleración no progresiva urbano	Frenada no progresiva urbano
Km anuales	0,6128701	0,4873121		-0,26691314	-0,09446358
Autoevaluación eficiencia general	-0,1289033	-0,1577219		-0,92266642	-0,40824829
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,12057926	0,40323892		-0,67521104	-0,91287093
Nota test de eficiencia	-0,4499559	-0,6760694		0,14839197	0,59665414
p-value					
Km anuales	0,23689294	0,37814464		0,6516818	0,87589252
Autoevaluación eficiencia general	0,83071717	0,79303261		0,00895802	0,47359694
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,84167241	0,47976684		0,17371067	0,01172481
Nota test	0,42271176	0,17288202		0,80530371	0,25420398

de eficiencia					
------------------	--	--	--	--	--

Tabla 28: Coeficientes de correlación y p-value Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo urbano.

Según el valor de p-value ningún coeficiente de correlación posee significancia estadística, es decir, el p-value es mayor a 0,05 en todos los casos, aunque los valores de los coeficientes de correlación sean cercanos a 1 en muchos casos.

6.5.1.22 Kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente a las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de vía urbana con varios carriles para cada sentido de circulación.

En la tabla 29 aparecen los resultados de obtener los coeficientes de correlación y los p-value entre las variables de kilometraje anual y evaluaciones de eficiencia frente a las infracciones registradas por la aplicación en el tramo de vía urbana con mas de un carril para cada sentido, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas ronda	Aceleración brusca escala ronda	Aceleración brusca escala 1 ronda	Aceleración brusca escala 2 ronda	Aceleración no progresiva ronda	Frenada no progresiva ronda
Km anuales	-0,1986474	-0,2439957			0,32443693	0,23536722
Autoevaluación eficiencia general	-0,3741588	0,70974034			-0,4330127	-0,45643546
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	-0,4442666	0,07053456			-0,32274861	-0,32274861
Nota test de eficiencia	0,23404496	0,48380697			-0,21237122	-0,13491498
p-value						
Km anuales	0,73984873	0,68117068			0,57831813	0,69229815
Autoevaluación eficiencia general	0,51582774	0,14142612			0,44329166	0,41495427
Autoevaluación eficiencia tras PRUEBA	0,42964068	0,90729368			0,58045643	0,58045643
Nota test	0,69400564	0,38228963			0,7220461	0,82291576

de eficiencia					
------------------	--	--	--	--	--

Tabla 29: Coeficientes de correlación kilómetros anuales, autoevaluación de eficiencia general, autoevaluación de eficiencia tras la prueba y nota del test de eficiencia frente las infracciones recogidas por la aplicación en el tramo de vía urbana con varios carriles para cada sentido de circulación

Según el valor de p-value ningún coeficiente de correlación posee significancia estadística, es decir, p-value es mayor a 0,05 en todos los casos, aunque los valores de los coeficientes de correlación sean cercanos a 1 en muchos casos.

6.5.1.23 Velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el recorrido completo.

En la tabla 30 aparecen los coeficientes de correlación y los p-value obtenidos, entre las medias y desviaciones típicas de los parámetros recogidos por la aplicación y las infracciones cometidas en el recorrido completo, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas	Aceleración brusca escala 1	Aceleración brusca escala 2	Aceleración no progresiva	Frenada no progresiva
Velocidad media total	-0,4120397	0,40121337		-0,23806207	-0,0985301
Desviación velocidad total	-0,8174410	0,89712764		-0,71463755	-0,8175588
RPM medias totales	0,43961655	0,11637958		-0,00838768	0,72867838
Desviación RPM totales	-0,4780868	0,76867419		-0,88551358	-0,7551315
Media posición acelerador total	-0,5497555	0,18235345		0,209180322	-0,2304665
Desviación posición acelerador total	-0,5433879	0,31937013		0,081444211	-0,2110025
p-value					
Velocidad media total	0,46890338	0,48225269		0,688819347	0,87259129
Desviación velocidad total	0,05736006	0,01696677		0,137027699	0,05710276
RPM medias totales	0,4352786	0,84725712		0,9889703	0,12493438
Desviación RPM totales	0,3891052	0,09189731		0,021447405	0,10294061
Media posición	0,30593009	0,76102321		0,726182234	0,69815842

acelerador total					
Desviación posición acelerador total	0,31329284	0,58438318		0,892972656	0,72262675

Tabla 30: Coeficientes de correlación y p-value Velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el recorrido completo

Los únicos coeficientes de correlación con significancia estadística según el valor de los p-value son entre la desviación de la velocidad total y aceleración brusca escala 1 y el coeficiente entre la desviación de las rpm y aceleración no progresiva.

En el primer caso, el valor del coeficiente de correlación es positivo y cercano a 1. Esto nos indica que las infracciones por pisado excesivo del acelerador son causa de cambios graves en la velocidad. Este resultado es el esperable ya que si aceleramos más obtendremos mayor velocidad. Para el caso de conducción eficiente es importante mantener una velocidad lo más constante posible.

En el segundo caso, el valor del coeficiente de correlación es negativo y próximo a 1, esto indica que cambios bruscos en las rpm, producen menos aceleraciones no progresivas. Este resultado, aunque no sea lógico, se puede producir si el conductor realiza muchos cambios de marcha, consiguiendo una desviación de las rpm mayores.

6.5.1.24 Velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo interurbano.

En la tabla 31 aparecen los coeficientes de correlación y p-value obtenidos entre, las medias y desviaciones típicas de los parámetros recogidos por la aplicación y las infracciones cometidas en el tramo interurbano, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas interurbano	Aceleración brusca escala 1 interurbano	Aceleración brusca escala 2 interurbano	Aceleración no progresiva interurbano	Frenada no progresiva interurbano
Velocidad media interurbano	-0,1319503	0,44673468		-0,7402208	-0,16589657
Desviación velocidad interurbano	0,24545588	0,44925901		0,29408792	-0,19595681
RPM medias interurbano	0,65657859	0,71517977		0,02869364	0,42122585
Desviación RPM interurbano	0,79242769	0,28705907		0,79688969	0,44634391
Media posición acelerador	0,74117514	0,99409842		0,15733264	-0,06450882

interurbano					
Desviación posición acelerador interurbano	0,84142931	0,97058283		0,30495951	-0,01032065
p-value					
Velocidad media interurbano	0,82673247	0,42649672		0,11486081	0,78246595
Desviación velocidad interurbano	0,67989867	0,4236007		0,61688683	0,74342963
RPM medias interurbano	0,19090768	0,13689842		0,96223558	0,4575637
Desviación RPM interurbano	0,07423556	0,62568596		0,07117511	0,42640409
Media posición acelerador interurbano	0,11409783	1,86677E-05		0,793605324	0,91520658
Desviación posición acelerador interurbano	0,04293508	0,000927519		0,603075118	0,986428522

Tabla 31: Coeficientes de correlación y p-value velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo interurbano.

El valor de los p-value indica que los únicos coeficientes con significancia estadística y que, por lo tanto, cumplen el test de rechazo de la hipótesis nula, son los que se dan entre la desviación de la posición del acelerador con los dos primeros tipos de infracciones y aquellos entre la media de la posición del acelerador y la aceleración brusca escala 1. Estos coeficientes de correlación son todos positivos y próximos a 1, lo que indica la linealidad entre las variables. Ambos resultados son los esperables ya que si pisamos más el acelerador normalmente llevaremos unas revoluciones de motor mayores y estas están relacionadas con la aceleración.

6.5.1.25 Velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo de autovía.

En la tabla 32 aparecen los coeficientes de correlación y p-value obtenidos entre, las medias y desviaciones típicas de los parámetros recogidos por la aplicación y las infracciones cometidas en el tramo de autovía, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas autovía	Aceleración brusca escala autovía	Aceleración brusca escala 1 autovía	Aceleración brusca escala 2 autovía	Aceleración no progresiva autovía	Frenada no progresiva autovía
Velocidad	-0,41517845	0,13422262			-0,16270370	-0,15546224

media autovía					
Desviación velocidad autovía	-0,81959488	0,96451885		0,579180929	0,30787079
RPM medias autovía	0,10902721	0,30764119		0,02203048	-0,22764506
Desviación RPM autovía	0,01619259	0,40053017		0,36703898	0,15639472
Media posicion acelerador autovía	-0,79210054	0,4868291		0,45375478	0,48998225
Desviación posición acelerador autovía	-0,80598987	0,99461525		0,51713746	0,59592234
p-value					
Velocidad media autovía	0,46502686	0,82381361		0,78665754	0,79603058
Desviación velocidad autovía	0,05599023	0,00144014		0,27328601	0,59937102
RPM medias autovía	0,85689149	0,59965753		0,97106478	0,70225433
Desviación RPM autovía	0,97870226	0,48450543		0,52406445	0,79541758
Media posicion acelerador autovía	0,07449039	0,37875276		0,418180232	0,375033262
Desviación posición acelerador autovía	0,064878493	1,4959E-05		0,343226014	0,254988586

Tabla 32: Coeficientes de correlación velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo de autovía.

Según el valor de los p-value los únicos coeficientes con significancia estadística son los que se dan entre la variable de desviación de la velocidad y el número de infracciones relacionadas con el exceso de revoluciones y aceleración brusca con la escala 1. Los valores de estos coeficientes nos indican, que cambios bruscos en la velocidad están directamente relacionados con el nivel de pisado del acelerador, e inversamente relacionados con el número de infracciones por exceso de revoluciones. Esto se puede deber a que en autovía normalmente cambios bruscos en la velocidad no

suelen estar asociados a cambios bruscos en las revoluciones, porque se circula en marchas largas.

6.5.1.26 Velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo urbano.

En la tabla 33 aparecen los coeficientes de correlación y p-valor obtenidos entre, las medias y desviaciones típicas de los parámetros recogidos por la aplicación y las infracciones cometidas en el tramo de vía urbana.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas urbano	Aceleración brusca escala urbano	Aceleración brusca escala urbano 1	Aceleración brusca escala urbano 2	Aceleración no progresiva urbano	Frenada no progresiva urbano
Velocidad media urbano	-0,59700132	-0,70287772			0,64348098	0,67045214
Desviación velocidad urbano	-0,73588837	-0,51362969			0,51279395	0,01959966
RPM medias urbano	0,61851018	0,31728161			0,39706885	0,61465777
Desviación RPM urbano	0,98881911	0,87620697			-0,01924136	-0,05091552
Media posición acelerador urbano	0,66912588	0,69562289			0,42000214	-0,03240143
Desviación posición acelerador urbano	0,78157886	0,84213708			0,38693367	-0,1300091
p-value						
Velocidad media urbano	0,25329971	0,14768099			0,20515761	0,17836219
Desviación velocidad urbano	0,11506898	0,3472261			0,34809806	0,97429853
RPM medias urbano	0,23049002	0,58680768			0,48760324	0,23500477
Desviación RPM urbano	9,843E-05	0,02409015			0,97906354	0,93306369
Media posición acelerador	0,17904614	0,15435499			0,45968933	0,95736728

urbano					
Desviación posición acelerador urbano	0,082116611	0,042539053		0,500978701	0,82819541

Tabla 33: Coeficientes de correlación y p-value velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo urbano.

Observando los p-value, los únicos coeficientes de correlación que tienen significancia estadística y por lo tanto cumplen el test de rechazo de la hipótesis nula ($p < 0,05$). Son los que se dan entre las variables de desviación media de las rpm y el número de infracciones de por exceso de rpm y pisado del acelerador. Según el valor de los coeficientes esta relación es directa y casi perfecta. Esto indica que cambios bruscos en las revoluciones, hacen que llevemos el coche con un nivel de pisado del acelerador mayor.

6.5.1.27 Velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo de vía urbana con varios carriles para cada sentido de circulación.

En la tabla 34 aparecen los coeficientes de correlación y p-value obtenidos entre las medias y desviaciones típicas de los parámetros recogidos por la aplicación y las infracciones cometidas en el tramo de vía urbana con doble carril para cada sentido, tomadas dos a dos.

Coeficientes de correlación	RPM elevadas ronda	Aceleración brusca escala 1 ronda	Aceleración brusca escala 2 ronda	Aceleración no progresiva ronda	Frenada no progresiva ronda
Velocidad media ronda	-0,12639339	0,195227686		0,06347834	0,01970864
Desviación velocidad ronda	-0,33164612	0,912034637		0,86985395	0,81724889
RPM medias ronda	0,716818447	0,068750936		0,60932659	0,65965138
Desviación RPM ronda	-0,07863588	0,370288641		0,08917625	0,05013334
Media posición acelerador ronda	-0,46132499	-0,11713003		0,0983785	0,01555501
Desviación posición acelerador ronda	-0,67564353	0,277795466		0,54419952	0,60294656
p-value					
Velocidad media ronda	0,834062661	0,744290091		0,91655999	0,97408422

Desviación velocidad ronda	0,569198736	0,011978738		0,02829068	0,05749086
RPM medias ronda	0,135084234	0,909635705		0,24064774	0,18893248
Desviación RPM ronda	0,896658427	0,520653507		0,88282752	0,93409145
Media posición acelerador ronda	0,409082106	0,846188489		0,87075898	0,97954572
Desviación posición acelerador ronda	0,173293255	0,637728447		0,31224752	0,24744804

Tabla 34: Coeficientes de correlación y p-value velocidad media, revoluciones por minuto medias, posición media del acelerador y sus respectivas desviaciones típicas en el tramo de vía urbana con varios carriles para cada sentido de circulación.

Los coeficientes de correlación entre la desviación de la velocidad, indican que esta tiene una fuerte linealidad con todos los tipos de infracciones, siendo la única positiva la que se da con la aceleración brusca escala 1.

Si aplicamos los p-value, para ver si podemos rechazar la hipótesis nula es decir, para ver si p-value es menor a 0,05, todas ellas pasan el test exceptuando, la que se da entre la desviación de la velocidad y el número de veces que se superó el umbral de las rpm.

Esto nos indica, que cambios bruscos en la velocidad está directamente relacionados con el nivel del pisado del acelerador e inversamente relacionados con las aceleraciones bruscas y deceleraciones bruscas. Este resultado no posee lógica ya que los frenazos y aceleraciones bruscas provocan grandes cambios en la velocidad.

Observando el resto de valores de p-value, podemos concluir que sus correspondientes coeficientes de correlación no poseen significancia estadística.

6.5.2 Recapitulación de los resultados.

En este apartado se van a mostrar cuáles de los resultados obtenidos tienen más relación con la realización de una conducción eficiente.

Es importante destacar que el estudio realizado con nuestra aplicación, se llevó a cabo con las pruebas de cinco usuarios, esto sumado a otro gran número de circunstancias cambiantes como el tráfico hace que una parte importante de los resultados obtenidos no hayan sido los esperados o parezcan contradictorios.

En la mayoría de casos, las variables de la edad y los años de carnet aparecen correlacionadas directamente con variables propias de una conducción agresiva, como es el caso de las infracciones de aceleración y deceleración brusca, siendo este tipo de conducción más propia de personas jóvenes.

Además, las autoevaluaciones realizadas por los usuarios, siempre están correlacionadas de forma directa con las infracciones de seguridad y eficiencia. Aunque esto se puede deber a falta de información sobre la conducción eficiente en los usuarios.

Por lo que podemos concluir que, a la luz de los resultados obtenidos, siendo algunos esperados y otros más sorprendentes en principio, se deberían realizar más pruebas con un mayor número de usuarios y diferentes rutas y circunstancias de tráfico para profundizar en esas complejas relaciones en las características de los conductores y su tipo de conducción.

7. PRESUPUESTO

Una de las cuestiones más importantes en un proyecto es su viabilidad económica, por lo que, a continuación se desglosará tanto el coste de hardware y software, como las horas dedicadas a su desarrollo.

7.1 Presupuesto hardware.

En la tabla 35 aparece desglosado el presupuesto hardware del proyecto.

Ítem	Coste
Raspberry Pi 2	35 €
Tarjeta SD 32 GB	5.99 €
OBDlink LX Scan Tool	39.99 €
Asus USB-BT400	14.50 €
GPS Hat for Raspberry Pi	41.41 €
FeatherWing OLED	13.34 €
TOTAL	154.75 €

Tabla 35: Tabla del presupuesto hardware.

7.2 Presupuesto software.

En la tabla 36 aparecen los costes relacionados con el software utilizado. En este caso no ha reportado ningún gasto económico ya que el sistema operativo Raspbian de la Raspberry Pi es de distribución GNU/Linux y es gratuito.

En cuanto al sistema operativo de desarrollo Windows 10, y el resto de software usado en el proyecto, no se tiene en cuenta el precio ya que no se ha comprado o era gratuito.

Ítem	Coste
Sistema operativo Raspberry Pi	0 €
Sistema operativo de desarrollo y resto de software usado	0 €

TOTAL	0 €

Tabla 36: Tabla del presupuesto software.

7.3 Horas empleadas.

Las horas totales empleadas en este proyecto han sido unas 340 horas, repartidas entre la lectura de documentación, la modificación de la aplicación, la realización de los análisis de las pruebas realizadas, y la escritura de la memoria.

8. CONCLUSIONES

Debido a la gran contaminación que sufre el medio ambiente, es necesaria la concienciación de las personas en un estilo de conducción eficiente, que se caracteriza por reducir la contaminación y el consumo de carburante.

Además, todos los años mueren muchas personas en la carretera, por lo que las personas deberían ser instruidas en un estilo de conducción segura y eficiente.

Es por esto que los trabajos y análisis de conducción eficiente y segura como el realizado en este proyecto son muy importantes en la actualidad.

Estos análisis intentan identificar qué variables sobre las que el ser humano tiene control producen una conducción segura y eficiente, para lograr disminuir el consumo, las emisiones y la siniestralidad.

La mayoría de estos análisis se llevan a cabo en simuladores de conducción, los cuales son muy útiles a la hora de realizar pruebas en escenarios peligrosos.

El principal objetivo de este proyecto era el de realizar una aplicación con la que poder conseguir un análisis de eficiencia en tiempo real, juntando dos de mis mayores gustos, el desarrollo software y el mundo del automóvil. Esta es la razón principal por la que se decidió llevar a cabo este proyecto.

Gracias a esto, he podido incrementar mis conocimientos sobre el uso de herramientas de análisis estadístico como Microsoft Excel y conocer nuevas herramientas como SPSS. Además se ha conseguido aumentar los conocimientos en el lenguaje de programación Python, con el que se han realizado scripts que nos permitiesen recoger los datos de diferentes ficheros e introducirlos de manera automática en Microsoft Excel, ahorrando mucho tiempo de trabajo.

También se ha obtenido conocimiento sobre el uso de Raspberry Pi, que está presente en muchos campos en la actualidad.

Para lograrlo, se han llevado a cabo las modificaciones en la aplicación de obtención de datos con el sistema OBD *RPIDDA*, para que esta realice un análisis de eficiencia en tiempo real. Por último, se realizaron pruebas con 5 usuarios, para realizar un análisis estadístico y obtener resultados sobre el tipo de conducción realizada por cada usuario.

Los primeros análisis sirvieron para buscar documentación sobre estadística básica, siendo de ayuda para alguna asignatura de la carrera, además de dar a conocer al autor el gran número de variables que pueden intervenir en un estudio de eficiencia y seguridad en la conducción.

El principal problema que surgió en esta parte del desarrollo fue mi falta de experiencia en el trabajo con una cantidad elevada de datos, lo que se subsanó con paciencia y ayuda del tutor en los momentos en los que no sabía cómo continuar.

También se realizó un análisis estadístico de la tasa de abandono con el programa SPSS a partir de unas pruebas realizadas en un simulador de conducción, para comprobar qué

variables pueden tener relación con el abandono en las pruebas en simuladores. Este análisis arrojó resultados interesantes ya que variables como la edad y el sexo de los usuarios puede influir en el abandono de la prueba.

Otro paso importante relacionado con el desarrollo del proyecto fue realizar los cambios necesarios en la aplicación RPIDDA, para que esta llevase a cabo un análisis de eficiencia en tiempo real. En este momento te das cuenta de lo complicado que puede llegar a ser comprender el código realizado por otra persona, por mucho que esté bien comentado, esto sumado al poco uso del lenguaje C, en el que está programada la aplicación, durante la carrera y la inexperiencia en el uso de Raspberry Pi, lo que provocó una corrupción del sistema de ficheros de la misma, dejando la aplicación totalmente inutilizada. Todo ello ha supuesto que este apartado, aunque al final ha resultado ser el más interesante, también haya sido uno de los quebraderos de cabeza más importantes del proyecto.

Los errores encontrados fueron subsanados gracias a la buena práctica de realizar copias de seguridad de respaldo, ya que sin estas este trabajo no podría haberse realizado.

Con todo esto uno se da cuenta de las dificultades de trabajar en el mundo del desarrollo software, ya que un fallo puede hacer que empresas del sector terminen en quiebra.

El resultado final es una aplicación que nos permite realiza un pequeño análisis sobre conducción eficiente en tiempo real.

Una vez finalizada la aplicación, se llevaron a cabo pruebas, para comprobar el buen funcionamiento del software y utilizar los datos obtenidos para realizar un análisis estadístico, llegándose a resultados, parciamente erróneos. Esto puede ser debido al reducido número de personas que realizaron las pruebas y constata la importancia de realizar un gran número de pruebas para obtener unos resultados más fiables.

La conclusión final a la que se llega después de la realización de este proyecto es que el uso de una conducción eficiente puede producir grandes beneficios, tanto económicos debido a la reducción de consumo de combustible, como en la salud debido a la reducción de la cantidad de emisiones contaminantes. Además, tras la lectura de varios artículos sobre conducción segura y eficiente, te das cuenta de que la mayoría se ayuda del uso de simuladores que permiten realizar pruebas controladas y seguras, en entornos donde pruebas reales pueden suponer un peligro para la seguridad.

Por último me gustaría hablar sobre las posibles líneas futuras de este proyecto. Estas pueden ser, realizar un análisis más profundo con los datos obtenidos incluyendo otro tipo de infracciones relacionadas con la eficiencia y la seguridad.

También se podría introducir audios pregrabados uno para cada infracción, en vez de un pitido estándar para todas las infracciones.

Además se podrían utilizar tecnologías como LTE para poder compartir los datos recuperados en tiempo real, sin tener que esperar a acabar la prueba.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Aguayo, “*Cómo hacer una Regresión Logística con SPSS paso a paso*”. Docuwebfabis, 2007.
- [2] BOSCH “Electronic engine control unit for comercial vehicles”. [En línea] Available: <https://www.bosch-mobility-solutions.com> Última visita, Agosto 2019.
- [3] CEA, “*10 claves de la conducción eficiente*” [En línea]. Available: <https://www.cea-online.es/blog/139-las-10-claves-de-la-conduccion-eficiente>. Última visita, Agosto 2019.
- [4] DGT “*Cuestiones de seguridad vial, conducción eficiente, medio ambiente y contaminación*”, 2015. [En línea] Available: <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/formacion-vial/cursos-para-profesores-y-directores-de-autoescuelas/XVIII-Curso-de-Profesores/Seguridad-Vial.pdf>
- [5] Energy Saving Trust “*Advising fuel efficient Driving techniques for your fleet*”. Energy Saving Trust, 2016
- [6] B. Fisch y J. Meijer “*CanZE*”. [En línea]. Available: <https://canze.fisch.lu>.
- [7] R. Frank, G. Castignani, R. Schmitz y T. Engel “*A novel Eco-Driving Application to Reduce Energy Consumption of Electric Vehicles*”. International Conference on Connected Vehicles and Expo, 2012.
- [8] Ghulam H. Bham, Ming C. Leu, Manoj Vallati, and Durga R. Mathur “*Driving simulator validation of driver behavior with limited safe vantage points for data collection in work zones*”. Journal of Safety Research, 2014
- [9] Howstuffworks, “*top 10 Safe Driving Tips*” [En línea], Available: <https://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/accidents-hazardous-conditions/10-safe-driving-tips.htm> Última visita, Agosto 2019.
- [10] S. Hyeop Lee, M. Ho Kim and S. Lee “*Development of an energy prediction model base on driving data for predicting the driving distance of an electric vehicle*”. International Journal of Automotive Technology, Vol. 20, No. 2, pp. 389–395, 2019
- [11] IDAE, “*Eficiencia en el transporte*” 2002. [En línea]. Available: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_manualPME_6bc54e20.pdf.
- [12] Ian J. Hawkins, “Torque”. [En línea]. Available: <https://torque-bhp.com>. Última visita, Agosto 2019.
- [13] IBM, “*Software IBM SPSS*”. [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/es-es/analytics/spss-statistics-software>. Último acceso Agosto 2019.
- [14] N. Kalra, M. Paddock “*Driving to safety: How many miles of driving would it take to demonstrate autonomous vehicle reliability?*”, 2016
- [15] Grégoire S. Larue, I. Kim, A. Rakotonirainy, Narelle L. Haworth,

- [16] Luis Ferreira “*Driver’s behavioural changes with new intelligent transport system interventions at railway level crossings—A driving simulator study*”, Accident Analysis and Prevention, 2013.
- [17] M. d. Interior y DGT “*Conducción eficiente*” 2014. [En línea]. Available: http://www.dgt.es/PEVI/documentos/catalogo_recursos/didacticos/did_adultas/Conduccion_eficiente.pdf.
- [18] Nationwide “*Safe Driving Tips*”, [En línea] Available: <https://www.nationwide.com/driving-safety-tips.jsp> Última visita, Agosto 2019.
- [19] NRCAN, “*Fuel-efficient driving techniques*”, [En línea], Available: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency/transportation/21038>. Última visita, Agosto 2019.
- [20] OBD II “*ELM327 versión 2.1*”. [En línea]. Available: <https://obd2-elm327.es/elm327-version-2.1>. Última visita, Agosto 2019.
- [21] OBDLink, “*OBDLink*” [En línea]. Available: <http://www.obdlink.com>. Última visita, Agosto 2019.
- [22] G, Rumschlag, T. Palumbo, A. Martin, D. Head, R. George, Randall L. Commissaris “*The effects of texting on driving performance in a driving simulator: The influence of driver age*”, Accident Analysis and Prevention 2014.
- [23] J. San José, *Monitorización de los parámetros de conducción con el sistema OBD y Raspberry Pi para el análisis del comportamiento del conductor*, 2018.
- [24] B. Shi, L. Xu, J. Hu, Y. Tang, H. Jiang, W. Meng, and H. Liu “*Evaluating Driving Styles by Normalizing Driving Behavior Based on Personalized Driver Modeling*” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2015.
- [25] E. Sierra “*coeficiente de correlación de Pearson y Spearman*”, 2007. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/134574744/COEFICIENTE-DE-CORRELACION-DE-PEARSON-Y-SPEARMAN-DR-ENRIQUE-SIERRA>
- [26] Tuteorica “*Principios de una conducción segura*”, 2016. Available: <https://www.tuteorica.com/principios-para-una-conduccion-segura>. Última visita, Agosto 2019.
- [27] Wikilibros “*El OBD II Completo*”. [En línea]. Available: https://es.wikibooks.org/wiki/El_OBDII_Completo. Última visita, Agosto 2019.
- [28] X. Zhao, Y. Wu J. Rong, Y Zhang “*Development of a driving simulator based eco-driving support system*” Transportation Research Part C, 2015.