



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIA**

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

# **ANÁLISIS DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO EN CONDICIONES REALES DE CONDUCCIÓN EN LA ISLA DE TENERIFE**

**Titulación:** Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor:** Antonio Manuel Díaz Bethencourt

**Tutor:** Óscar García Afonso

**La Laguna, septiembre de 2020**



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIA**

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

**ANÁLISIS DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE  
CARBONO EN CONDICIONES REALES DE  
CONDUCCIÓN EN LA ISLA DE TENERIFE**

## **ÍNDICE GENERAL**

**Titulación:** Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor:** Antonio Manuel Díaz Bethencourt

**Tutor:** Óscar García Afonso

**La Laguna, septiembre de 2020**

## **ÍNDICE GENERAL**

<b>MEMORIA .....</b>	<b>1</b>
<b>ANEXO I: PRESUPUESTO .....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO II: RESULTADOS ADICIONALES DEL GPS Y DEL MODELO DE VEHÍCULO .....</b>	<b>55</b>

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Ciclo NEDC .....	4
Figura 2: Ciclo WLTC Clase 3b .....	6
Figura 3: Equipo PEMS .....	8
Figura 4: Comparación de las condiciones de contorno de tres rutas RDE .....	10
Figura 5: Recorrido Ruta Tenerife 1 .....	13
Figura 6: Perfil de altitud Ruta Tenerife 1 .....	14
Figura 7: Recorrido Ruta Tenerife 2 .....	15
Figura 8: Perfil de altitud Ruta Tenerife 2.....	16
Figura 9: Proporción de tiempo acelerando, desacelerando, en crucero y en ralentí/stop-start de cada ruta .....	17
Figura 10: Proporción de distancia recorrida en cada rango de velocidad de la Ruta Tenerife 1 .....	19
Figura 11: Proporción de distancia recorrida en cada rango de velocidad de la Ruta Tenerife 2 .....	19
Figura 12: Perfil de velocidades Ruta Tenerife 1 y ciclo NEDC .....	21
Figura 13: Perfil de velocidades Ruta Tenerife 1 y ciclo WLTP .....	21
Figura 14: Perfil de velocidades Ruta Tenerife 2 y ciclo NEDC .....	22
Figura 15: Perfil de velocidades Ruta Tenerife 2 y ciclo WLTP .....	22
Figura 16: Perfil de aceleraciones Ruta Tenerife 1 y ciclo NEDC .....	23
Figura 17: Perfil de aceleraciones Ruta Tenerife 1 y ciclo WLTP .....	24
Figura 18: Perfil de aceleraciones Ruta Tenerife 2 y ciclo NEDC .....	24
Figura 19: Perfil de aceleraciones Ruta Tenerife 2 y ciclo WLTP .....	25
Figura 20: Representación gráfica aceleración frente a velocidad. Ruta Tenerife 1, NEDC y WLTP .....	26
Figura 21: Representación gráfica aceleración frente a velocidad. Ruta Tenerife 2, NEDC y WLTP .....	26
Figura 22: Representación gráfica de " $v \cdot a$ " frente a la velocidad de la Ruta Tenerife 1 .....	27
Figura 23: Representación gráfica de " $RPA$ " frente a la velocidad de la Ruta Tenerife 1 .....	27
Figura 24: Representación gráfica de " $v \cdot a$ " frente a la velocidad de la Ruta Tenerife 2 .....	28

Figura 25: Representación gráfica de "RPA" frente a la velocidad de la Ruta Tenerife 2 .....	28
Figura 26: Representación gráfica de "RPA" frente a la velocidad de las Ruta Tenerife 1, Ruta Tenerife 2, NEDC y WLTP .....	30
Figura 27: Modelo de vehículo Matlab Simulink.....	32
Figura 28: Modelo de vehículo Matlab Simulink. Conexión entre los bloques en colores .....	34
Figura 29: Representación gráfica en 3D del consumo específico frente al régimen de giro y al par motor .....	35
Figura 30: Bloque Enviroment del modelo de vehículo Matlab Simulink .....	36
Figura 31: Representaciones gráficas obtenidas mediante la simulación del ciclo NEDC .....	38
Figura 32: Representaciones gráficas obtenidas mediante la simulación del ciclo WLTP .....	40
Figura 33: Representaciones gráficas obtenidas mediante la simulación del ciclo Ruta Tenerife 1 .....	42
Figura 34: epresentaciones gráficas obtenidas mediante la simulación del ciclo Ruta Tenerife 2 .....	43
Figura 35: Consumo de combustible acumulado ciclos NEDC, WLTP, Ruta Tenerife 1 y Ruta Tenerife 2. ....	45
Figura 36: Mapa de operación ciclo NEDC, WLTP, Ruta Tenerife 1 y Ruta Tenerife 2 .....	48
Figura 37: Recorrido Ruta Tenerife 1 representación "Mapa" e "Híbrido".....	56
Figura 38: Recorrido Ruta Tenerife 2 representación "Mapa" e "Híbrido".....	57
Figura 39: Tabla de valores Ruta Tenerife 1 y Ruta Tenerife 2 .....	58
Figura 40: Representación gráfica de la velocidad del vehículo, régimen de giro, consumo de combustible específico y consumo de combustible frente al timepo del ciclo NEDC .....	59
Figura 41: Representación gráfica de la velocidad del vehículo, régimen de giro, consumo de combustible específico y consumo de combustible frente al timepo del ciclo WLTP .....	60
Figura 42: Representación gráfica de la velocidad del vehículo, régimen de giro, consumo de combustible específico y consumo de combustible frente al timepo del ciclo Ruta Tenerife 1 .....	61
Figura 43: Representación gráfica de la velocidad del vehículo, régimen de giro, consumo de combustible específico y consumo de combustible frente al timepo del ciclo Ruta Tenerife 2 .....	62
Figura 44: Captura de pantalla del archivo .txt generado por la APP GPS "Speed Tracker Pro" .....	63

Figura 45: Captura de pantalla del documento .xlsx para introducir en el modelo de vehículo.....	64
Figura 46: Captura de pantalla al ejecutar del modelo de vehículo. ....	65
Figura 47: Captura de pantalla del cuadro del bloque Drive Cycle Source para la introducción del archico .xlsx .....	66
Figura 48: Captura de pantalla de los valores obtenidos a partir del modelo de vehículo.....	67

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Características del ciclo NEDC .....	5
Tabla 2: Características del ciclo WLTC Clase 3 .....	7
Tabla 3: Requerimientos generales para un ciclo RDE .....	9
Tabla 4: Comparación entre la Ruta Tenerife 1 y Ruta Tenerife 2.....	18
Tabla 5: Parámetros longitudinales del modelo de vehículo del Matlab Simulink ..	33
Tabla 6: Consumo total de cada ciclo .....	45
Tabla 7: Consumo de cada ciclo en L/100Km.....	45
Tabla 8: Emisiones de dióxido de carbono de cada ciclo por kilómetro.....	46
Tabla 9: Incremento de las emisiones de dióxido de carbono frente al ciclo NEDC.....	47
Tabla 10: Presupuesto total del análisis.....	54



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIA**

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

**ANÁLISIS DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE  
CARBONO EN CONDICIONES REALES DE  
CONDUCCIÓN EN LA ISLA DE TENERIFE**

## **MEMORIA**

**Titulación:** Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor:** Antonio Manuel Díaz Bethencourt

**Tutor:** Óscar García Afonso

**La Laguna, septiembre de 2020**

# ÍNDICE MEMORIA

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Background .....	2
1.3	Objetivo .....	3
1.4	Descripción de los capítulos .....	3
<b>2</b>	<b>INTRODUCCIÓN TEÓRICA A LOS CICLOS DE HOMOLOGACIÓN</b> .....	<b>4</b>
2.1	Descripción de un ciclo NEDC .....	4
2.2	Descripción de un ciclo WLTC .....	5
2.3	Descripción de un ciclo RDE .....	7
2.3.1	Requerimientos de un ciclo RDE .....	8
<b>3</b>	<b>PROPUESTA Y MEDIDA DE RUTAS DE CONDUCCIÓN REALES</b> .....	<b>11</b>
3.1	Metodología .....	11
3.2	Propuestas de rutas en la Isla de Tenerife .....	13
3.3	Comparación de las rutas de Tenerife con los ciclos NEDC y WLTP .....	13
<b>4</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE VEHÍCULO</b> .....	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>21</b>
5.1	Consumo de combustible y emisiones de CO <sub>2</sub> en las rutas de Tenerife ...	21
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>48</b>
7.1	Referencias .....	48
7.2	Artículos .....	49

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

---

Para homologar un vehículo en Europa es necesario someter al mismo a diferentes ensayos para evaluar objetivamente el impacto medioambiental y ver si cumple con lo impuesto por la normativa EURO: consumo de combustible, emisiones contaminantes y emisiones de dióxido de carbono.

En los últimos años han existido numerosos problemas a la hora de medir las emisiones de un vehículo para su posterior matriculación. Esto se debe a que el ciclo de homologación vigente en la época, el NEDC (New European Driving Cycle), aunque se introdujo el año 1992, fue desarrollado en la década de los 80. La tecnología en los vehículos ha evolucionado de forma abismal, de manera que este ciclo se ha ido quedando obsoleto.

Por ello, en 2017 entró en vigor el nuevo ciclo de homologación, el WLTP (Worldwide harmonized Lights vehicles Test Procedures), con el objetivo de reemplazar el NEDC, ya que existía una gran diferencia entre el consumo homologado y el consumo en condiciones reales de conducción. El WLTP consta de una conducción más realista y estricta, aumentando la distancia recorrida, la duración del ciclo, las velocidades y las aceleraciones medias.

Dos años más tarde, el WLTP fue complementado por el ciclo RDE (Real Driving Emissions) para realizar con mayor exactitud la medición de emisiones contaminantes (óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, partículas e hidrocarburos), donde en vez de hacer las distintas mediciones en un laboratorio con unos rodillos como era el caso de los anteriores, pasó a realizar pruebas en carretera abierta con un sistema portátil. Este nuevo protocolo establece pruebas más duras, severas y más cercanas al consumo y emisiones reales de los coches, incorporando al mercado vehículos más eficientes y menos contaminantes.

Actualmente, la medición de las emisiones de dióxido de carbono se sigue calculando mediante el ciclo WLTP. Sin embargo, se está evaluando su introducción en el RDE, debido a que refleja en mejor medida el consumo en condiciones reales de conducción.

## **1.2 Background**

In order to homologate a vehicle in Europe, it is necessary to subject it to different tests to objectively evaluate the environmental impact and see if it complies with the requirements of the EURO regulations: fuel consumption, pollutant emissions and carbon dioxide emissions.

In recent years there have been numerous problems when measuring the emissions of a vehicle for its subsequent registration. This is due to the fact that the homologation cycle in force at the time, NEDC (New European Driving Cycle), although it was introduced in 1992, was developed in the 1980s. Vehicle technology has evolved abysmally, so that this cycle has become obsolete.

For this reason, in 2017 the new homologation cycle came into force, WLTP (Worldwide harmonized Lights vehicles Test Procedures), with the aim of replacing the NEDC, since there was a great difference between the homologated consumption and the actual consumption in real conditions. The WLTP consists of a more realistic and strict driving, increasing the distance traveled, the duration of the cycle, the speeds and the average accelerations.

Two years later, the WLTP was complemented by RDE (Real Driving Emissions) cycle, in order to more accurately measure pollutant emissions (nitrogen oxides, carbon monoxide, particles and hydrocarbons), where instead of doing the different measurements in a laboratory with rollers as was the case with the previous ones, went on to perform tests on the open road with a portable system. This new protocol establishes tests that are tougher, more severe and closer to the actual consumption and emissions of cars, bringing more efficient and less polluting vehicles to the market.

Currently, the measurement of carbon dioxide emissions is still calculated using the WLTP cycle. However, its introduction in the RDE is being evaluated, as it better reflects consumption in real driving conditions.

### **1.3 Objetivo**

Este análisis tiene como principal objetivo la obtención de una ruta de conducción real en la Isla de Tenerife basada en la filosofía del ciclo RDE, de manera que se pueda evaluar la conducción en esta ruta y obtener posteriormente una representación real del consumo y de las emisiones de CO<sub>2</sub> del vehículo.

### **1.4 Descripción de los capítulos**

➤ **Capítulo 2. Introducción teórica a los ciclos de homologación.**

En este capítulo, se explica los conceptos relacionados con los ciclos de homologación en Europa. Se presentan las principales características y el desarrollo necesario para llevar a cabo su realización, exponiendo información de los ciclos NEDC, WLTP y RDE.

➤ **Capítulo 3. Propuesta y medida de rutas de conducción reales.**

En este capítulo se describe el estudio previo realizado para la medida y elaboración de las rutas propuesta en la Isla de Tenerife. Se explica en detalle la metodología seguida, así como el equipo necesario para el análisis.

➤ **Capítulo 4. Descripción del modelo de vehículo.**

Se realiza una introducción del modelo de vehículo del Matlab Simulink que se emplea para la simulación de las rutas propuestas. Se describe el funcionamiento de cada uno de los bloques que lo constituyen, junto con los inputs y outputs correspondientes.

➤ **Capítulo 5. Simulación y análisis de resultados.**

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos mediante el modelo de vehículo, calculando los valores finales del consumo de combustible y las emisiones de dióxido de carbono. Posteriormente se analiza dicha información para observar cómo varían los valores relacionados con los ciclos de laboratorio y los de ciclos de conducción real.

## 2 INTRODUCCIÓN TEÓRICA A LOS CICLOS DE HOMOLOGACIÓN

### 2.1 Descripción de un ciclo NEDC.

El NEDC (New European Driving Cycle) es el ciclo de homologación vigente en Europa desde el año 1992 hasta el 2017, donde se efectúan diferentes pruebas para estimar el consumo y las emisiones del vehículo.

El ciclo NEDC se lleva a cabo en un banco de pruebas y está formado por: una parte urbana (UDC), que consta de cuatro ciclos de conducción ECE-15 repetidos, los cuales representan el arranque del vehículo por la mañana (tras haber estado estacionado toda la noche) con una conducción en la hora punta del tráfico; y una extraurbana (EUDC), en una carretera cuya velocidad máxima es 120 km/h [1].

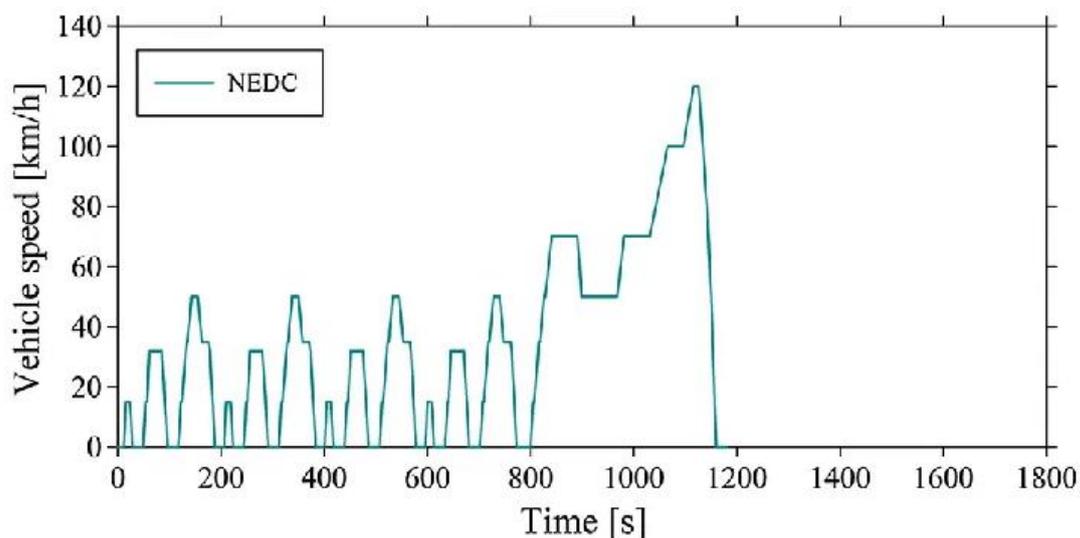


Figura 1: Ciclo NEDC.

Fuente: [www.revistacesvimap.com](http://www.revistacesvimap.com)

Además, previamente a la realización del ciclo, se lleva a cabo una prueba de carga en carretera, con el objetivo de medir la cantidad de energía requerida para mantener el vehículo moviéndose a una cierta velocidad y programarlo posteriormente en el dinamómetro de los rodillos del laboratorio. La prueba de carga en carretera más común es el “coastdown”, en donde se acelera el vehículo en una pista recta y llana de pruebas a velocidades hasta los 120 km/h, entonces se pone en punto muerto y

se cronometran los tiempos en los que baja la velocidad en intervalos de 20 km/h hasta que se detiene. La deceleración da la medida de la resistencia aerodinámica, resistencia a la rodadura y pérdidas mecánicas del coche [2].

Las principales características del ciclo NEDC son:

**Tabla 1: Características del ciclo NEDC.**

<b>Distancia recorrida</b>	11.007 m
<b>Duración total</b>	1180 s
<b>Velocidad media</b>	33,6 km/h
<b>Velocidad máxima</b>	120 km/h
<b>Aceleración máxima</b>	1,04 m/s <sup>2</sup>

No obstante, la composición de este ciclo ya no es coherente con los estilos de conducción actuales, la velocidad media es de tan solo 33,6 km/h y las aceleraciones son bajas, entre otros aspectos. A lo mencionado anteriormente, se debe añadir que, al tratarse de un ciclo con poca dinámica, los diferentes fabricantes han ido centrando las calibraciones realizadas para cumplir específicamente en este ciclo, alejándose de esta forma de la obtención de resultados cercanos a los valores reales de consumo y emisiones.

## **2.2 Descripción de un ciclo WLTP.**

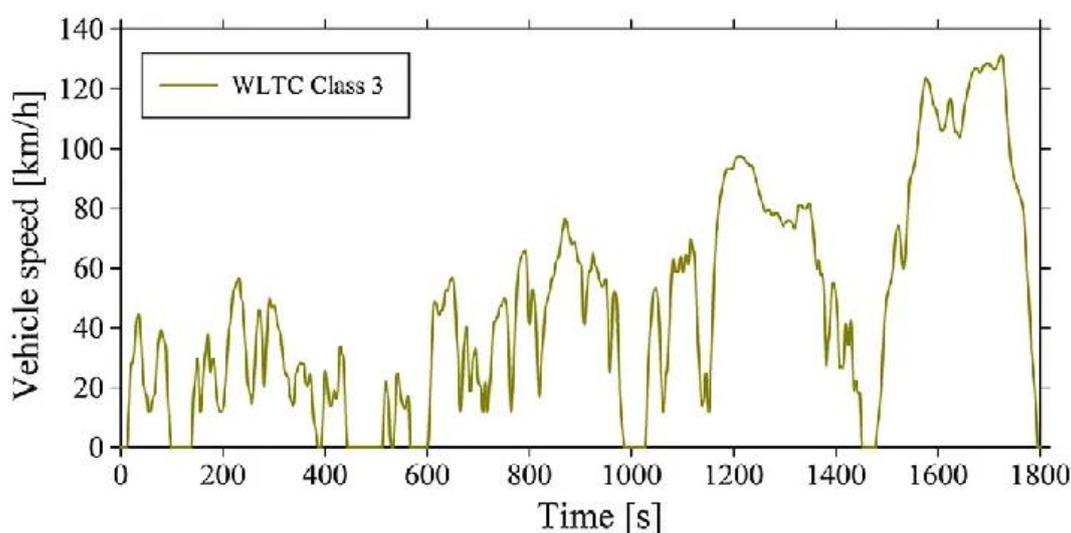
Tras los diferentes problemas encontrados para poder obtener valores de conducción real, en el año 2017 se decidió sustituir el NEDC como procedimiento europeo de homologación de vehículos por el WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures).

Las mediciones en el WLTP se realizan también en el laboratorio, pero en este caso en vez de basarse en un perfil de conducción teórico (como era el caso del NEDC), se apoya en perfiles reales, obtenidos a partir de un conjunto de datos basados en la experiencia y hábitos diarios de los conductores, en los que se han medido diferentes situaciones (frenado, tiempo en ralentí, aceleración, etc.), para así reflejar situaciones de conducción habituales [2].

Dentro del procedimiento WLTP, existen distintos tipos de ciclos según el lugar y la relación potencia-masa: WLTC Clase 1, WLTC Clase 2, WLTC Clase 3a y WLTC Clase 3b. En este caso, es de interés el WLTC Clase 3b, el cual con la relación

potencia-masa más alta, es la representativa para los vehículos que se conducen en Europa y Japón.

El ciclo WLTC Clase 3b, está formado por cuatro fases representativas según su velocidad: baja, con una velocidad máxima de 60 km/h donde refleja una conducción en ciudad; media, entre los 60 km/h y 80 km/h donde refleja una conducción en carreteras interurbanas, alta y muy alta, las cuales van desde 80 km/h a 100 km/h y desde 100 km/h hasta 131 km/h respectivamente, los cuales reflejan la circulación por la autopista.



**Figura 2:** Ciclo WLTC Clase 3b.

**Fuente:** [www.revistacesvimap.com](http://www.revistacesvimap.com)

Por otro lado, también existen cambios relacionados con la prueba de carga en carretera para programar posteriormente el banco de rodillos, siendo en este caso más exigente. Entre ellos caben destacar: el relacionado con el peso del vehículo, en donde en el WLTP no se tiene que establecer el peso del coche en un rango cada 100 kg como en el caso del NEDC, sino que se pesan con una precisión de un kilo; o el relacionado con la presión de los neumáticos, el cual en el WLTP hay que ensayar cada neumático que se homologa a su presión más baja.

Las principales características del ciclo WLTC Clase 3b son:

**Tabla 2: Características del ciclo WLTC Clase 3.**

<b>Distancia recorrida</b>	23.250 m
<b>Duración total</b>	1800 s
<b>Velocidad media</b>	46,6 km/h
<b>Velocidad máxima</b>	131 km/h
<b>Aceleración máxima</b>	1,58 m/s <sup>2</sup>

Comparando las características mostradas en la Tabla 2 con las relacionadas con el ciclo NEDC, se observa como el WLTP ha definido unas condiciones más estrictas, llevando a cabo unas pruebas con una mayor distancia recorrida, unas velocidades más altas y un tiempo de ensayo significativamente más largo.

### **2.3 Descripción de un ciclo RDE.**

El ciclo RDE tiene como objetivo complementar al ciclo WLTP, midiendo de esta forma las emisiones contaminantes del motor en una prueba a carretera abierta. El ciclo RDE se realiza conduciendo el coche en vías públicas y en diferentes condiciones. El vehículo lleva un equipo, conocido como PEMS (Portable Emissions Measurement System), que mide y recopila en tiempo real las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y partículas durante la circulación, donde no podrán ser superiores a las establecidas por la normativa actual (Euro 6d).

El equipo PEMS es un dispositivo capaz de monitorizar datos en marcha del vehículo sobre el que se instrumenta en tiempo real, permitiendo el análisis de consumo y emisiones bajo situaciones reales de conducción. Se coloca en la parte trasera y consta de un sensor del flujo de escape, una estación meteorológica y un sistema de posicionamiento GPS, proporcionando un monitoreo completo del vehículo. El sistema dispone también de acceso a datos OBD (On-Board Diagnostics) de vehículos comerciales, así como canales de adquisición configurables que permiten adaptar y ampliar la instrumentación a las necesidades de cada proyecto. La monitorización se completa con las condiciones ambientales de presión, temperatura y humedad relativa en cada momento [3].



**Figura 3:** Equipo PEMS.

**Fuente:** [www.etiquetazero.com](http://www.etiquetazero.com)

Cabe destacar que el ciclo RDE, al tratarse de una prueba en carretera nunca será reproducible al 100%, debido a que existen diferentes aspectos que influirán de forma significativa en los resultados, como: el perfil de la carretera, las condiciones ambientales, la situación del tráfico y el comportamiento del conductor. En comparación, los ciclos NEDC o WLTP se realizan con los entornos de ensayo los cuales han sido diseñados y optimizados con el fin de eliminar influencias externas.

La implantación del ciclo RDE, al tratarse de un ensayo más exigente, supone un mayor gasto económico por el lado de los fabricantes, ya que para cumplir la normativa de emisiones de NO<sub>x</sub>, será necesario la implantación de distintas soluciones para reducirlas, como: sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR con la inyección de Adblue) en el caso de los vehículos diésel o filtros de partículas en el caso de los vehículos de gasolina de inyección directa, entre otros.

### **2.3.1 Requerimientos un ciclo RDE.**

---

Los requisitos de viaje para un ciclo RDE se describen en el “Commission Regulation (UE) 2016/427” [4], donde se especifica las características de la ruta mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3: Requerimientos generales para un ciclo RDE.

	Urbano	Interurbano	Autopista
<b>Velocidad (km/h)</b>	0 hasta $\leq 60$	$< 60$ hasta $\leq 90$	$< 90$ hasta $\leq 145$
<b>Distancia mínima</b>	16 km	16 km	16 km
<b>Distancia porcentaje</b>	29% - 44%	23% - 43 %	23% - 43 %
<b>Velocidad media</b>	$15 \leq v \leq 40$	-	-
<b>Tiempo de parada</b>	$\leq 300$ s	-	-
<b>Diferencia de altitud</b>	$\leq 100$ metros		
<b>Duración total</b>	90 – 120 minutos		

Se observa que el viaje consiste en tres secciones distintas: una urbana, interurbana y autopista, donde cada tramo tiene unos requisitos diferentes, en lo que respecta a: distancia recorrida, rango de velocidad, velocidad media, tiempo de parada, diferencia de altitud y duración total del trayecto.

Según la normativa, la distancia será aproximadamente la misma, recorriendo como mínimo 16 km en cada tramo. Por lo que respecta a la velocidad, en el tramo urbano no se podrá superar los 60 km/h y la velocidad media deberá estar entre los 15 km/h y los 40 km/h. Luego, en el interurbano la velocidad tendrá que ser superior a 60 km/h e inferior a 90 km/h. Mientras que, en el tramo de autopista, entre los 90 km/h y los 145 km/h y estando un mínimo de 5 minutos en una velocidad superior a los 100 km/h.

Otras especificaciones a destacar son: la duración del viaje, que deberá durar entre los 90 y 120 minutos; el número de paradas en el tramo urbano, que deben tener una duración inferior a los 300 segundos; y la diferencia de altitud entre el punto de comienzo y de finalización de la ruta, el cual no puede ser superior a los 100 metros. Además, se debe realizar el ciclo mediante un “cold start”, es decir comenzar el recorrido de la ruta mediante un arranque en frío del motor.

Por otro lado, a parte de las condiciones mencionadas anteriormente, para que el ciclo pueda computarse como RDE será necesario comprobar el estilo de la conducción, excluyendo de esta manera los ciclos que sean muy agresivos o muy poco exigentes.

Los indicadores empleados son “v\*a+” y “RPA”, donde:

- “v\*a+” (velocity times positive acceleration), se trata de la operación entre la velocidad y la aceleración, cuyos valores de aceleración sean positivos

- **RPA** (Relative Positive Acceleration), se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$RPA = \frac{\sum_{i=1}^n a_i * v_i * \Delta t}{L}$$

Donde:

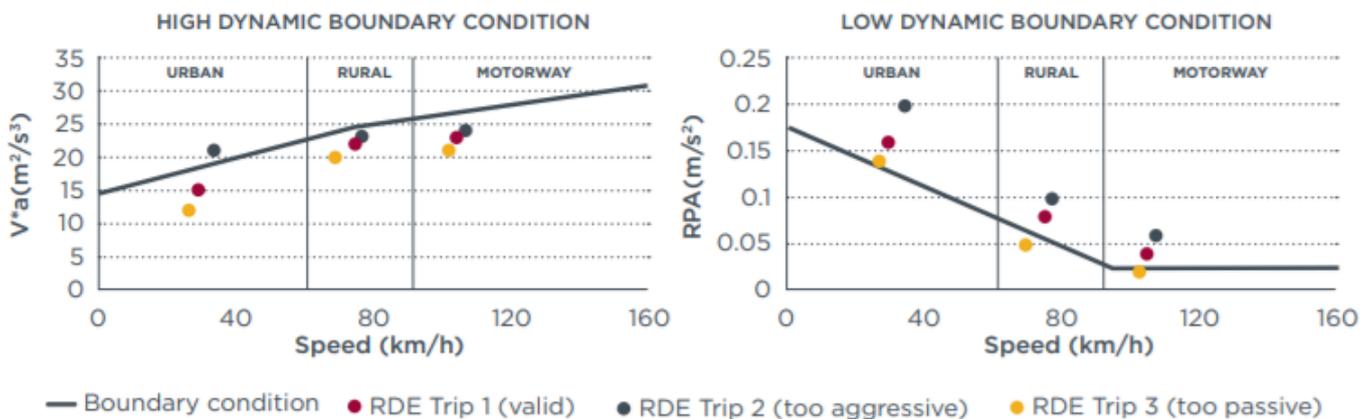
a = aceleración en el punto i (m/s<sup>2</sup>)

v = velocidad en el punto i (m/s)

Δt = incremento de tiempo entre cada toma de valores (s)

L = distancia total recorrida (m)

De esta forma los parámetros comentados anteriormente deberán de encontrarse dentro de los límites establecidos por la UE. En la Figura 4 se realiza una comparación de tres rutas según las condiciones RDE establecidas. En la gráfica de la izquierda está representada el “v\*a+” frente a la velocidad, que en el caso de encontrarse el valor de cada tramo por encima de las condiciones, la ruta se considerará demasiado agresiva. Por el contrario, en la gráfica de la derecha se representa el “RPA” frente a la velocidad, que en el caso de encontrarse el valor de cada tramo por debajo de las condiciones se considerará la ruta demasiado pasiva.



**Figura 4:** Comparación de las condiciones de contorno de tres rutas RDE.

Fuente: [www.theicct.org](http://www.theicct.org)

## **3 PROPUESTA Y MEDIDA DE RUTAS DE CONDUCCIÓN REALES**

### **3.1 Metodología.**

Una vez establecidos todas las condiciones necesarias que debe tener un ciclo RDE, se procede a realizar una ruta que sea representativa en la Isla de Tenerife y que cumpla con los requerimientos mencionados. Para ello, se ha llevado el siguiente procedimiento:

1. Se ha establecido mediante Google Maps dos trayectos que cumplan con los requisitos que debe tener una ruta RDE con los siguientes aspectos relacionados:
  - Rango de velocidades.
  - Distancia para cada tramo.
  - Porcentaje de cada uno en el ciclo.

Sin embargo, aunque la Unión Europea establezca una distancia de 16 km en cada tramo para toda Europa, no se trataría de una distancia representativa en la Isla de Tenerife. Según un estudio estadístico de “Europa Press” [5], resaltan que en las Islas Canarias a pesar de ser la comunidad autónoma que más utilizan el coche como medio de transporte, son los conductores que menos kilómetros recorren, con una media de 152 km semanales, un 53% menos con los datos de media del país, con 252 km. Además de lo mencionado anteriormente, un estudio realizado por la consultora de evaluación de siniestros Audatex, indica que en los últimos años el rodaje medio de los coches en España se sitúa en 9.928 kilómetros por año, un 13,9% menos que la media europea [6]. Por ello, se ha decidido reducir la distancia mínima recorrida en cada tramo, pasando de los 16 km a la mitad aproximadamente.

2. Se ha buscado información de las rutas seleccionadas, comprobando de esta manera las que son transitadas por un número importante de conductores diariamente. Estos valores se han obtenido a partir de un estudio realizado por el Cabildo Insular de Tenerife llamado “Intensidades de tráfico en las carreteras de la Isla de Tenerife” [7], en el cual se recogen los datos básicos de circulación de tráfico del año 2017 en las carreteras que son competencia del Cabildo Insular de Tenerife. Para obtener los datos necesarios se han desarrollado una serie de técnicas de medida, utilizando

sistemas y aparatos contadores de medición automáticos en diferentes zonas de la Isla.

3. Selección de una aplicación GPS para teléfono móvil capaz de adquirir datos acerca de la ruta realizada con una frecuencia constante y capaz de exportar dichos datos al ordenador. Después de realizar un estudio para elegir la aplicación móvil más adecuada para el ensayo, se ha decidido seleccionar “Speed Tracker Pro”. “Speed Tracker Pro” es una aplicación GPS móvil que combina la función de velocímetro GPS y de ordenador a bordo. Esta aplicación móvil permite recoger toda la estadística necesaria: velocidad, tiempo de viaje, distancia, dirección, altura, etc. con una frecuencia constante de 1 segundo. Además de poder exportar los datos de estadística en formatos: CSV, KML o GPX.
4. Una vez finalizada la puesta a punto del equipo utilizado, se procede a la elaboración de los ciclos seleccionados. Como es de esperar, ha sido necesaria la realización de sucesivas iteraciones hasta lograr que todos los parámetros requeridos se encuentran dentro de los rangos establecidos indicados por la UE sobre un ciclo RDE. El número de iteraciones realizadas se encuentra en el orden de 3 cada una de ellas y el tiempo de conducción neta empleado para la realización de este trabajo se estima en 3,5 horas.
5. Post-procesado del ensayo y generación de los parámetros de entrada del modelo de vehículo.

El equipo necesario para la realización del análisis ha sido el siguiente:

- **Google maps.** Para el desarrollo del estudio preliminar a la ejecución de la ruta y selección de la misma.
- **GPS “Speed Tracker Pro”.** APP GPS móvil capaz de medir con una frecuencia de constante de 1HZ.
- **Utilitario “Volskwagen Polo TSI 1200 110 CV”.** Vehículo para realizar el trayecto descrito previamente.
- **Matlab 2017b y Excel 2016.** Para la realización del postprocesado en PC de los datos recolectados sobre del ciclo de conducción.

### 3.2 Propuestas de rutas en la Isla de Tenerife.

Tras aplicar la metodología mostrada en el subapartado anterior, se han seleccionado las siguientes dos rutas. La primera de ellas es representativa de un desplazamiento al sur de la isla, mientras que la segunda es representativa de un desplazamiento a ciudad.

Cabe destacar que existe una gran diversidad de rutas potenciales que cumplen con las condiciones impuestas por el ciclo RDE al igual que las dos seleccionadas, pero se han escogido estas debido a que son transitadas por una cantidad significativa de turismos diariamente.

Por otro lado, cabe la posibilidad de que existan trayectos donde circulan más turismos regularmente, sin embargo, no son realizables desde el punto de vista RDE debido a que no cumplen con el requerimiento impuesto por la proporción de los tramos.

- *Ruta 1: La Laguna – Tabaiba (Ida y vuelta)*
  - Tramo urbano: La Laguna centro ( $\approx 9$  km)
  - Tramo interurbano: Conexión TF2 ( $\approx 9,2$  km)
  - Tramo autopista: Autopista TF1 ( $\approx 9,4$  km)

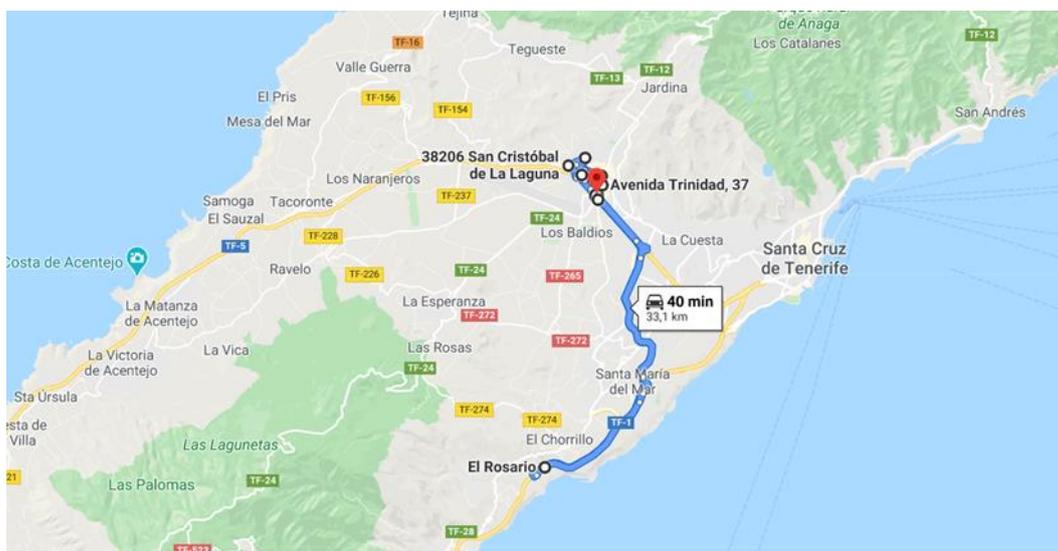
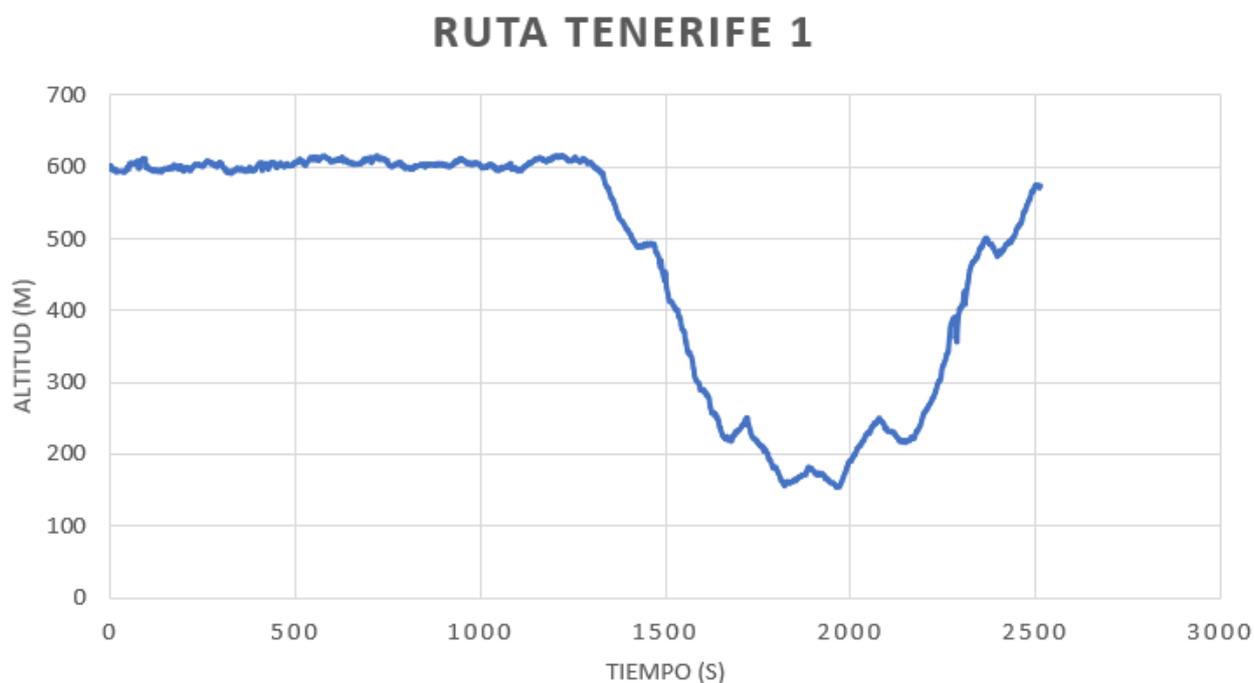


Figura 5: Recorrido Ruta Tenerife 1.

Fuente: Google maps.

Según el estudio realizado por el Cabildo Insular de Tenerife sobre las intensidades de tráfico en las carreteras de la Isla de Tenerife en el año 2017 es una ruta con un tráfico promedio de 29.931 vehículos al día dirección creciente y 29.328 dirección decreciente [7].

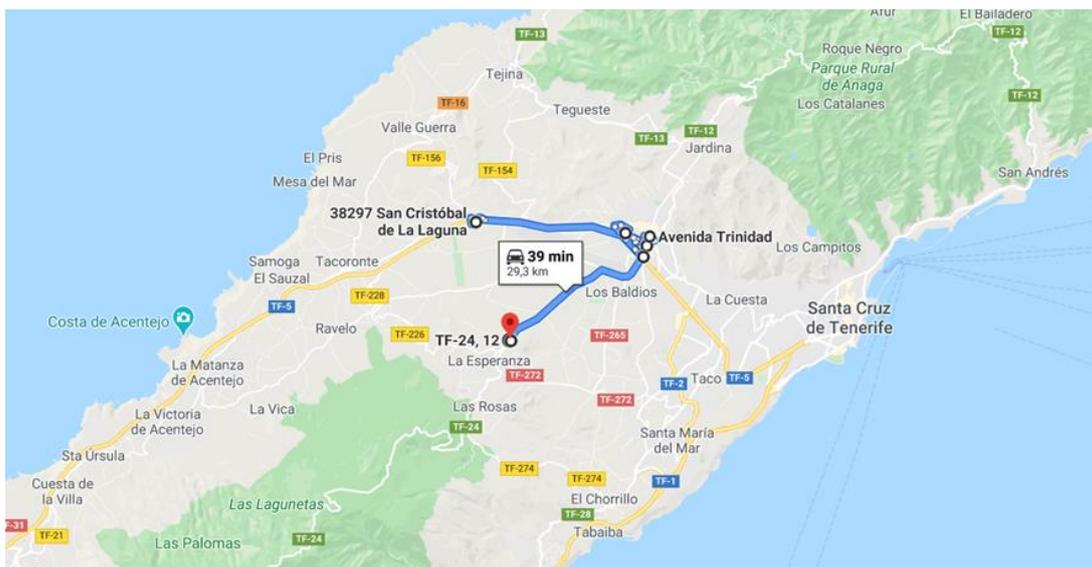
En la Figura 6 se muestra el perfil de altitud de la Ruta 1, donde se observa de manera gráfica que cumple con la condición de los ciclos RDE, ya que existe una diferencia inferior a 100m de altitud entre el punto de salida y de llegada de la ruta.



**Figura 6:** Perfil de altitud Ruta Tenerife 1.

**Fuente:** Elaboración propia.

- **Ruta 2: La Esperanza – Guamasa – La Laguna – La Esperanza**
  - Tramo urbano: La Laguna centro (≈ 9 km)
  - Tramo interurbano: Carretera general TF24 (≈ 9,5 km)
  - Tramo autopista: Autopista TF5 (≈ 9,7 km)

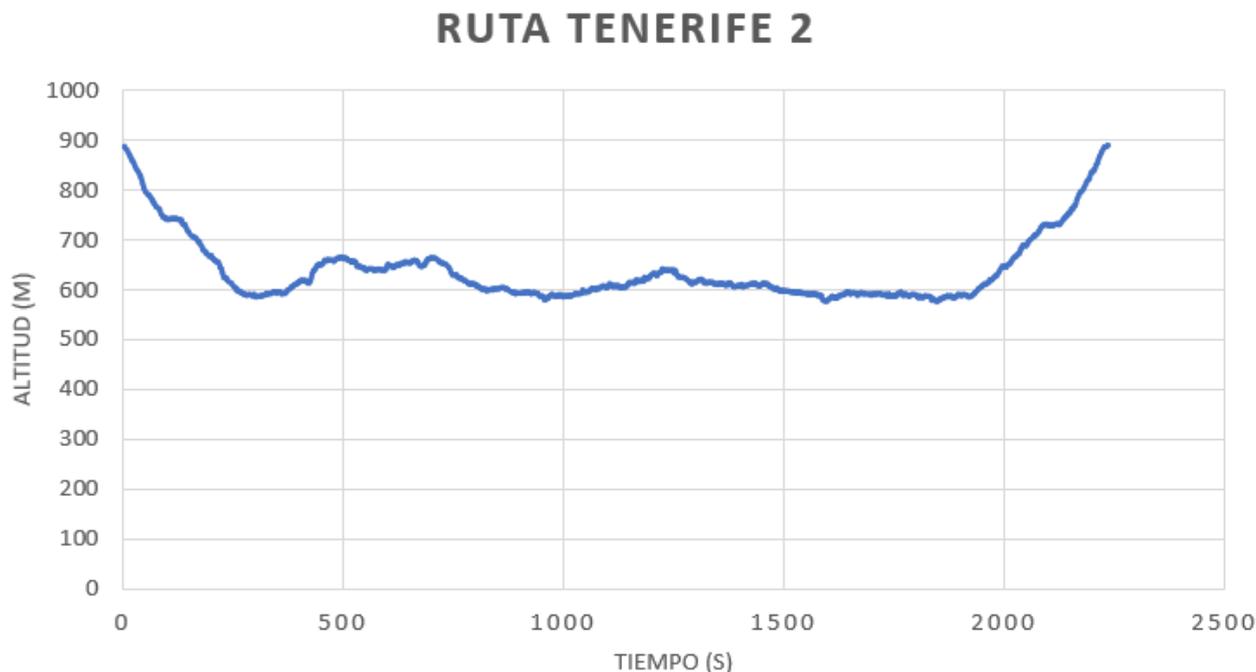


**Figura 7:** Recorrido Ruta Tenerife 2.

**Fuente:** Google maps.

Según el estudio realizado por el Cabildo Insular de Tenerife sobre las intensidades de tráfico en las carreteras de la Isla de Tenerife en el año 2017 es una ruta con un tráfico promedio de La Esperanza a La Laguna por 6.559 vehículos al día dirección creciente y 8.619 dirección decreciente. Mientras que de Guamasa a La Laguna con un tráfico promedio 57.136 vehículos al día dirección creciente y 54.131 dirección decreciente [7].

Además, en la Figura 8 se muestra el perfil de altitud de la Ruta 2, donde se observa de manera gráfica que cumple con la condición de los ciclos RDE, ya que existe una diferencia inferior a 100m de altitud entre el punto de salida y de llegada de la ruta.



**Figura 8:** Perfil de altitud Ruta Tenerife 2.

**Fuente:** Elaboración propia.

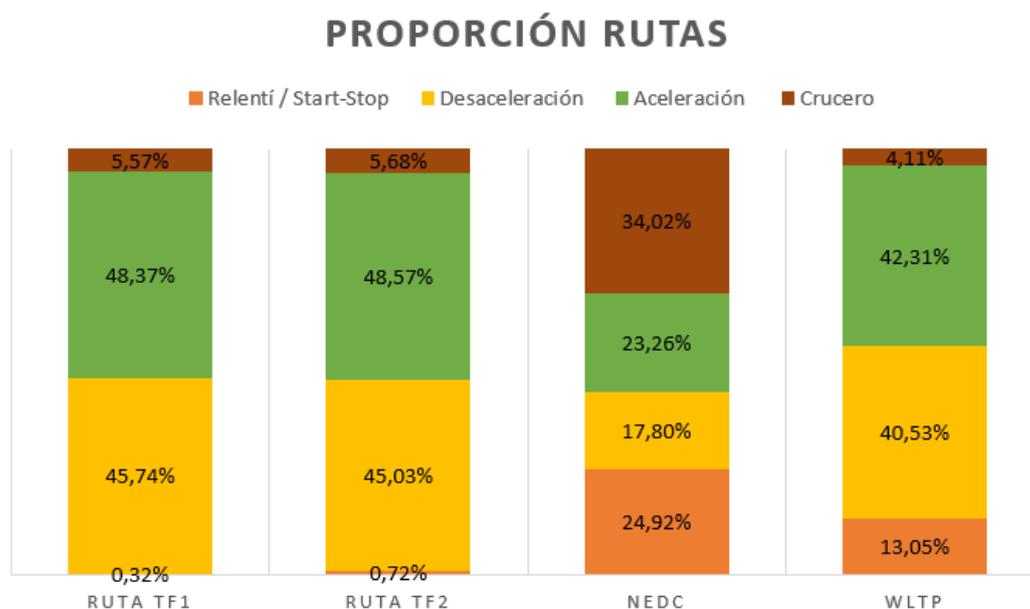
### 3.3 Comparación de las rutas de Tenerife con los ciclos NEDC y WLTP

Se han utilizado los datos recogidos mediante la APP GPS móvil para observar las diferencias entre los ciclos de conducción reales (Ruta Tenerife 1 y Ruta Tenerife 2) y los ciclos llevados a cabo en el laboratorio (NEDC y WLTP).

La Figura 9 muestra un resumen general de la actividad del vehículo a lo largo de los cuatro ciclos sujetos a estudio, lo que permite realizar una primera valoración de las dos rutas propuestas. El gráfico de barras incluye la proporción de tiempo en el que el vehículo se encuentra acelerando, desacelerando, en velocidad de crucero o en ralentí / stop-start. Podemos ver una gran similitud en cuanto al tiempo empleado en la velocidad de crucero y desaceleración de todos los ciclos exceptuando el NEDC, cuyo porcentaje es superior e inferior respectivamente. Otro aspecto importante a resaltar es el tiempo donde el vehículo se encuentra en ralentí o en stop-start, ya que en los ciclos Tenerife llevados a cabo son prácticamente nulos en comparación con el NEDC y WLTP. Esto se debe a que en los ciclos de conducción real solo se realizan paradas del vehículo en el rango de conducción urbana, en el caso del tráfico en la carretera, semáforos o peatones, mientras que en los ciclos de

laboratorio se puede observar la presencia de tramos de ralenti / stop-start antes y después de la realización de cada fase de conducción.

Por lo tanto, se observa que los ciclos propuestos son más dinámicos que los ciclos de laboratorios, especialmente en comparación con en NEDC, ya que la mayor parte del tiempo de los ciclos Tenerife, el vehículo se encuentra en condiciones altamente transitorias.



**Figura 9:** Proporción de tiempo acelerando, desacelerando, en crucero y en ralenti / stop-start de cada ruta.

**Fuente:** Elaboración propia.

Otro aspecto importante a resaltar entre las características de los distintos ciclos sometidos a estudio, es la diferencia de distancia recorrida para su homologación. El ciclo NEDC simula un recorrido de unos 11 kilómetros, el WLTP eleva la cifra hasta los 23,25 km, mientras que en los ciclos Tenerife rondan los 30 km aproximadamente.

Por otro lado, en cuanto a las rutas de Tenerife, a pesar de que han sido realizadas con el objetivo de cumplir con las condiciones establecidas por la UE para que computen como rutas RDE, al no cumplir con la condición de la distancia mínima recorrida, no se podrán clasificar de manera estricta como RDE.

En la Tabla 4 se muestra una comparativa entre las dos rutas propuestas.

**Tabla 4: Comparación entre la Ruta Tenerife 1 y la Ruta Tenerife 2**

	Ruta Tenerife 1	Ruta Tenerife 2
<b>Distancia recorrida</b>	36.620 m	29.650 m
<b>Duración total</b>	2513 s	2233 s
<b>Velocidad media tramo urbano</b>	27,74 km/h	27,81 km/h
<b>Velocidad media tramo interurbano</b>	73,67 km/h	67,88 km/h
<b>Velocidad media tramo autopista</b>	106,68 km/h	106,14 km/h
<b>Tiempo de parada</b>	205 s	163 s
<b>Diferencia de altitud</b>	28 m	1 m

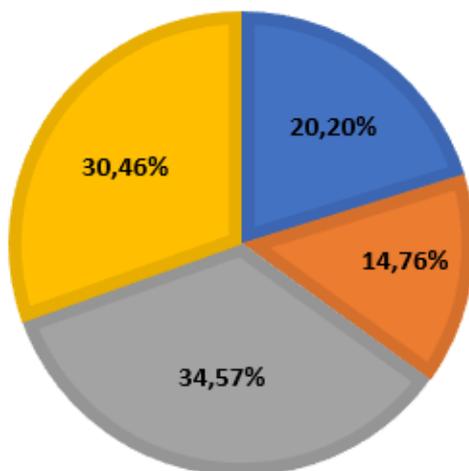
En ambos casos se observan que los valores de las velocidades medias de cada tramo se encuentran dentro de los rangos establecidos en los requerimientos de un ciclo RDE. En las dos rutas los datos de los recorridos de conducción urbana y autopista son prácticamente análogos, ya que la variación entre ambos es despreciable. Sin embargo, en el de conducción interurbana, se puede ver como en la Ruta 2 (67,88 km/h) es inferior al caso en la Ruta 1 (73,67 km/h), encontrándose de esta forma limítrofe al valor mínimo del tramo interurbano.

De la misma manera, los valores en los ciclos propuestos de las distancias recorridas y, por consiguiente, la duración total de los mismos, en ambos casos se encuentran por debajo de lo establecido por la UE, ya que como se ha comentado anteriormente, un recorrido tan extenso no sería representativo en la conducción por los habitantes de la Isla de Tenerife. Por ello, en estos dos campos (distancia y duración del ciclo), las condiciones establecidas deberán ser reducidas en la misma proporción.

Las Figuras 10 y 11 muestran la proporción de la distancia recorrida en las rutas propuestas en cada rango de velocidades establecidos en forma de gráfico de sectores.

### RUTA TENERIFE 1

■ 0 km/h - 30 km/h ■ 30 km/h - 60 km/h ■ 60 km/h - 90 km/h ■ 90 km/h - 120 km/h

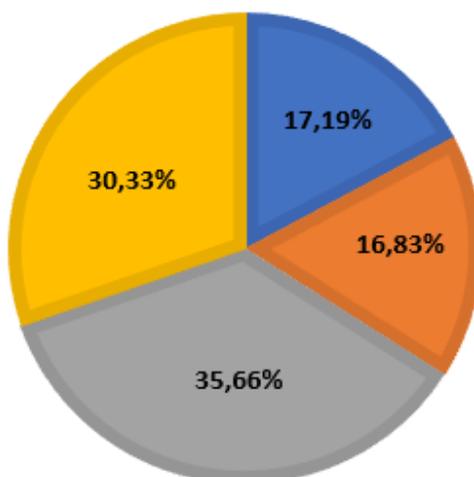


**Figura 10:** Proporción de distancia recorrida en cada rango de velocidad de la Ruta Tenerife 1.

**Fuente:** Elaboración propia.

### RUTA TENERIFE 2

■ 0 km/h - 30 km/h ■ 30 km/h - 60 km/h ■ 60 km/h - 90 km/h ■ 90 km/h - 120 km/h



**Figura 11:** Proporción de distancia recorrida en cada rango de velocidad de la Ruta Tenerife 2.

**Fuente:** Elaboración propia.

Se observa como en las dos rutas mostradas se recorre una distancia semejante en los tres tramos de conducción, siendo el tramo de autopista el más distante con un 4,5 % inferior al resto aproximadamente. Además, dentro de los tramos de conducción urbana, destaca en la Ruta Tenerife 1 un mayor porcentaje (20,20 %) en el que el vehículo circula a velocidades inferiores a los 30 km/h, siendo esta ruta más suave en este tramo en comparación con la ruta 2.

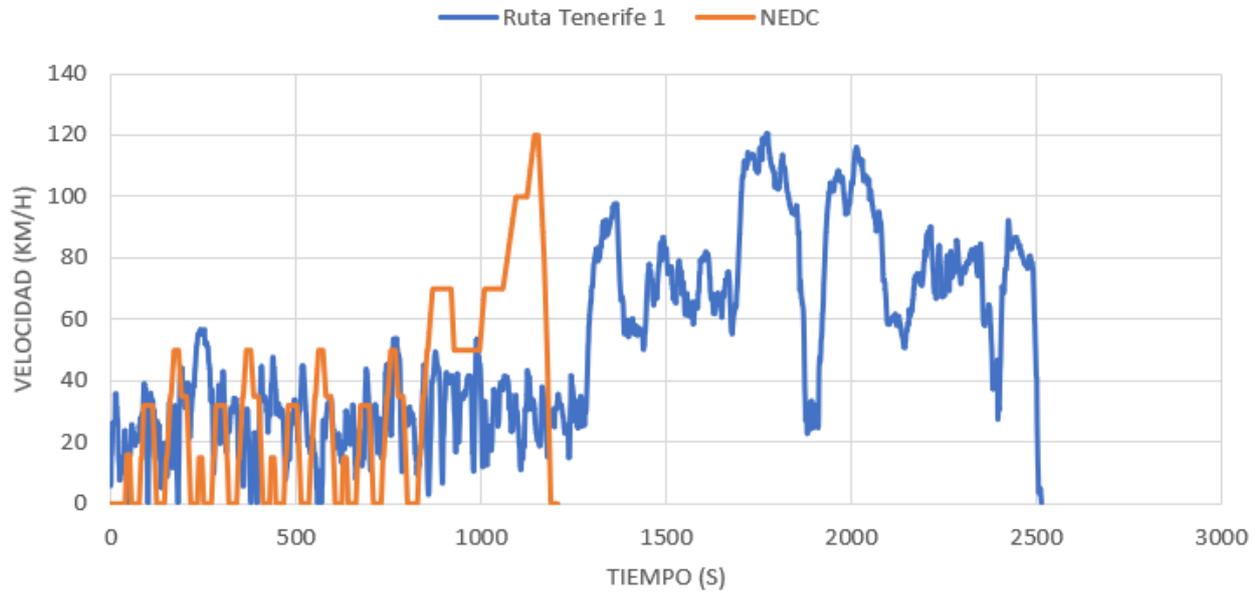
A continuación, se centrará la comparación de los perfiles de velocidades y aceleraciones de los ciclos RDE frente a los llevados a cabo en el laboratorio.

Cabe destacar que el NEDC está formado por cuatro ciclos de conducción urbana y uno de conducción extraurbana, lo cual vemos que no es muy realista. Un 34,02% del ciclo se encuentra a una velocidad constante y un 24,92% del tiempo se encuentra parado, aparte de mantener la misma pendiente al acelerar y desacelerar. Estos aspectos hacen que el ciclo NEDC sea menos dinámico y exigente que un ciclo de conducción real, disminuyendo de esta manera el consumo de combustible en la ruta a realizar. En la Figura 12 y 14 se muestra el perfil de velocidades del ciclo NEDC junto con el de la Ruta Tenerife 1 y la Ruta Tenerife 2 respectivamente.

Por otro lado, el ciclo WLTP consta de cuatro fases (velocidad baja, media, alta y extra alta). Se observa que se asemeja con una mayor precisión a los datos obtenidos mediante la conducción real en comparación con el NEDC, ya que el perfil de velocidad refleja unos valores más variables además de mayores fases de rango de velocidades.

Analizando los perfiles de velocidades se observa una gran similitud en la dinámica de la Ruta Tenerife 1 y el WLTP. En la Figura 13 se muestra como ambos ciclos comienzan con el tramo de conducción urbana, aumentando las velocidades con el trayecto interurbano y de autopista. De la misma manera, la Ruta Tenerife 2 es visiblemente opuesta al resto, debido a que es la única que comienza con el tramo interurbano, alcanzando velocidades notables desde el comienzo. Además, en su perfil de velocidades indicado en la Figura 15, destaca el tramo de conducción en ciudad en la mitad del mismo.

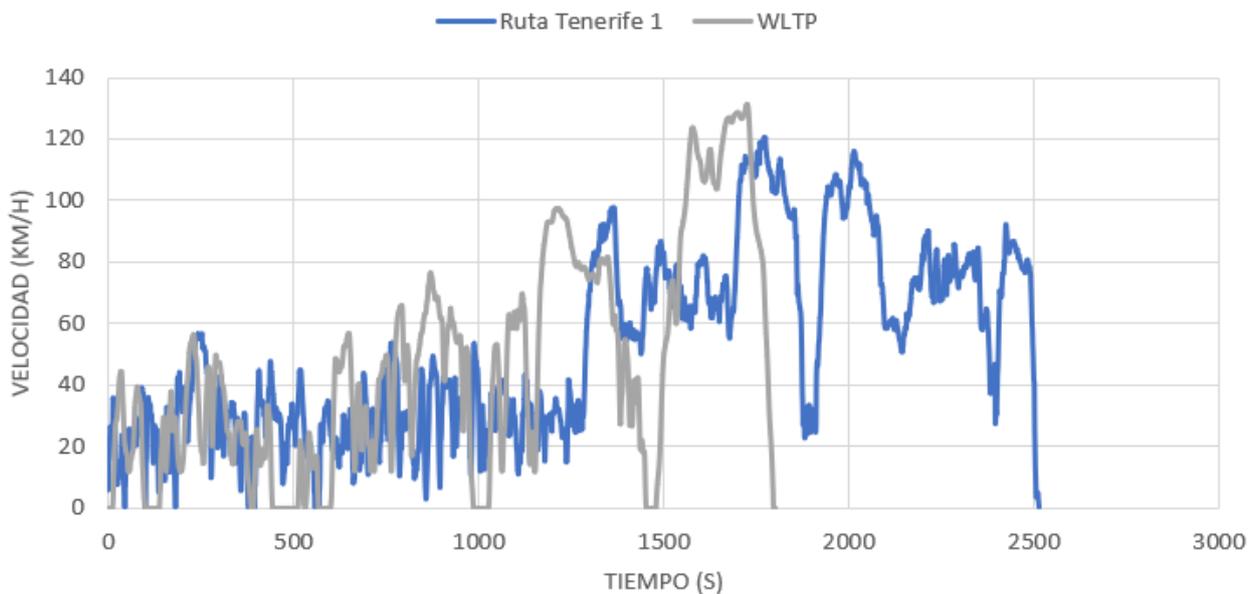
### PERFIL DE VELOCIDAD



**Figura 12:** Perfil de velocidades Ruta Tenerife 1 y ciclo NEDC.

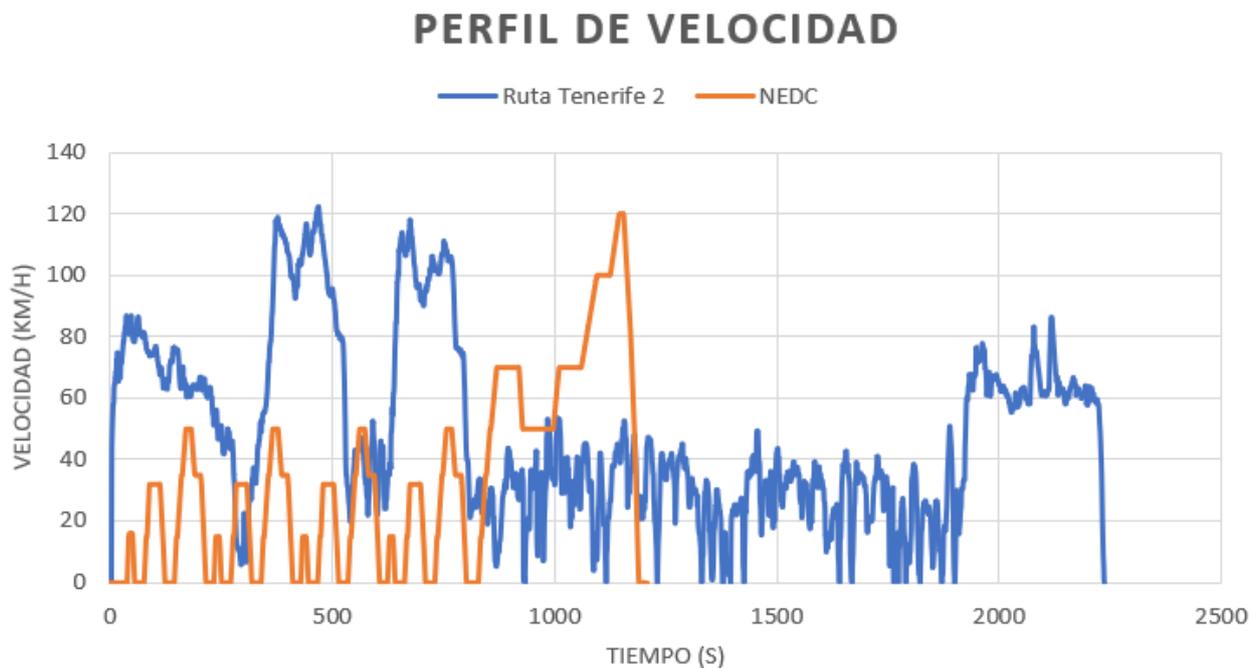
**Fuente:** Elaboración propia.

### PERFIL DE VELOCIDAD



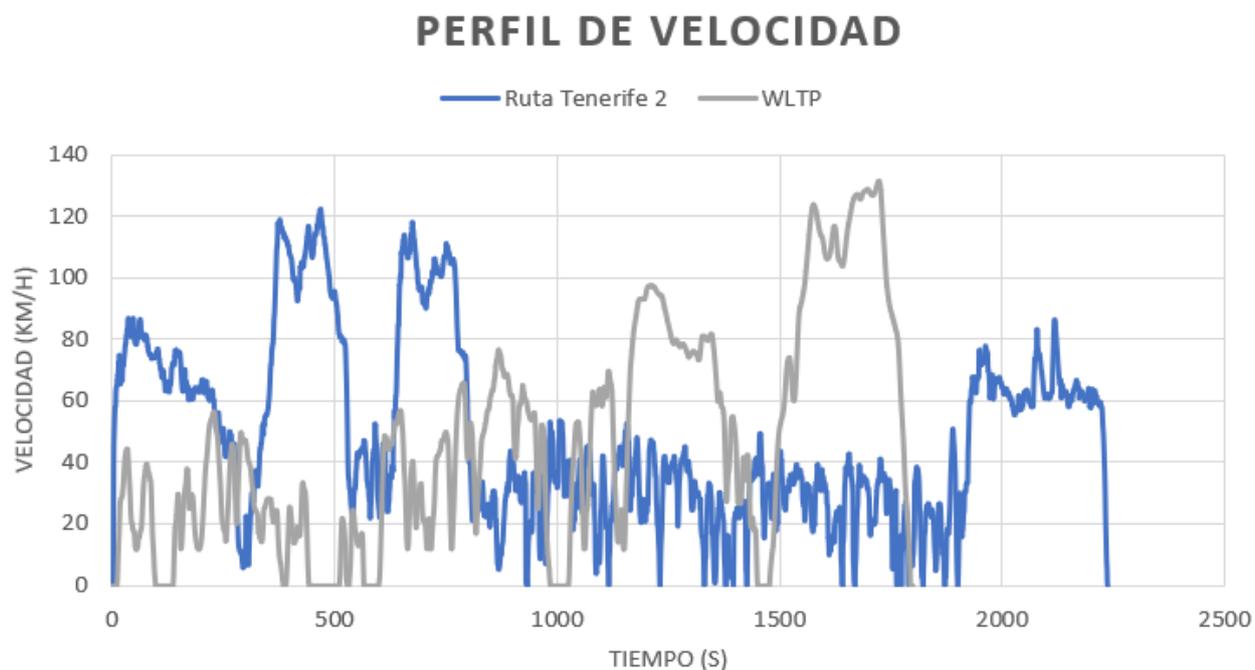
**Figura 13:** Perfil de velocidades Ruta Tenerife 1 y ciclo WLTP.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 14:** Perfil de velocidades Ruta Tenerife 2 y ciclo NEDC.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 15:** Perfil de velocidades Ruta Tenerife 2 y ciclo WLTP.

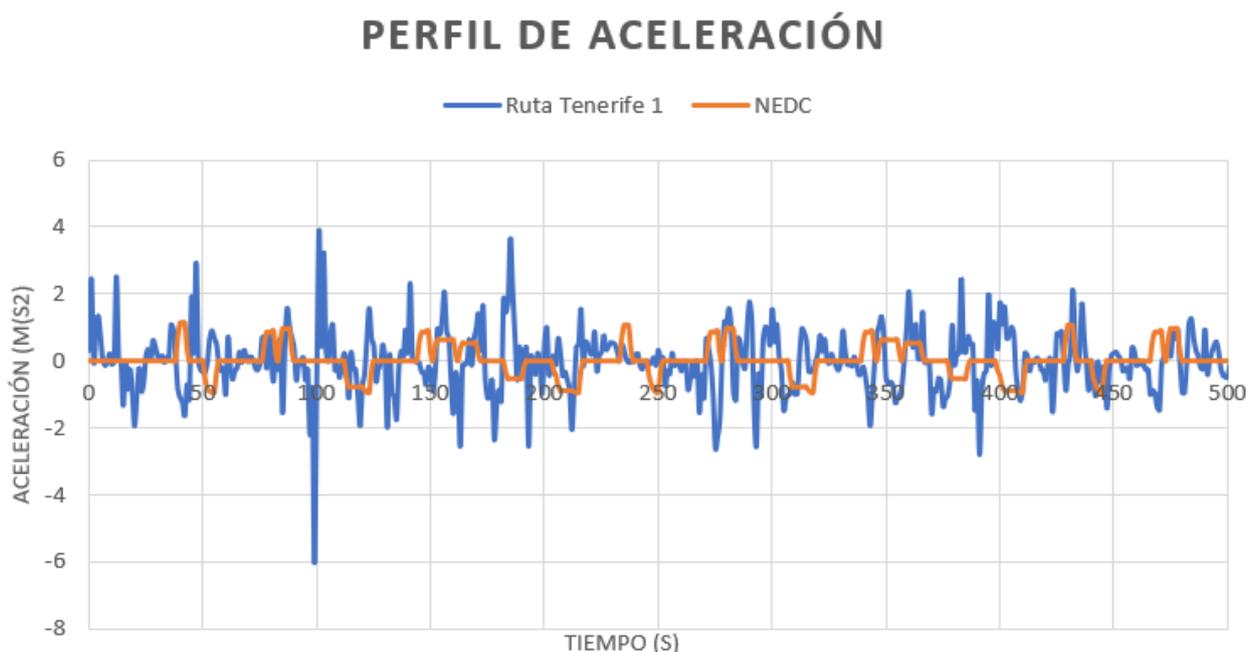
**Fuente:** Elaboración propia.

En las Figuras 16,17,18 y 19 se muestra una comparativa del perfil de aceleración entre los ciclos propuestos y los de laboratorio. Para una mejor visualización, se ha disminuido el rango de tiempo en el eje de abscisas, siendo el resto de valores muy similares.

En lo que respecta a la aceleración, ocurre prácticamente la misma situación que en el caso de la velocidad, ya que el NEDC al tener gran parte de la ruta a una velocidad constante, la aceleración será muy reducida. Además, se observan variaciones pequeñas y apacibles de la aceleración a lo largo del ciclo, siendo muy poco exigente frente a las dos rutas propuestas en Tenerife.

Asimismo, se observa que el WLTP contiene aceleraciones y desaceleraciones más pronunciadas en comparación con el NEDC, siendo este perfil bastante similar a los casos de los ciclos Tenerife, exceptuando algunos valores de aceleraciones pico en distintos puntos de las rutas de conducción real.

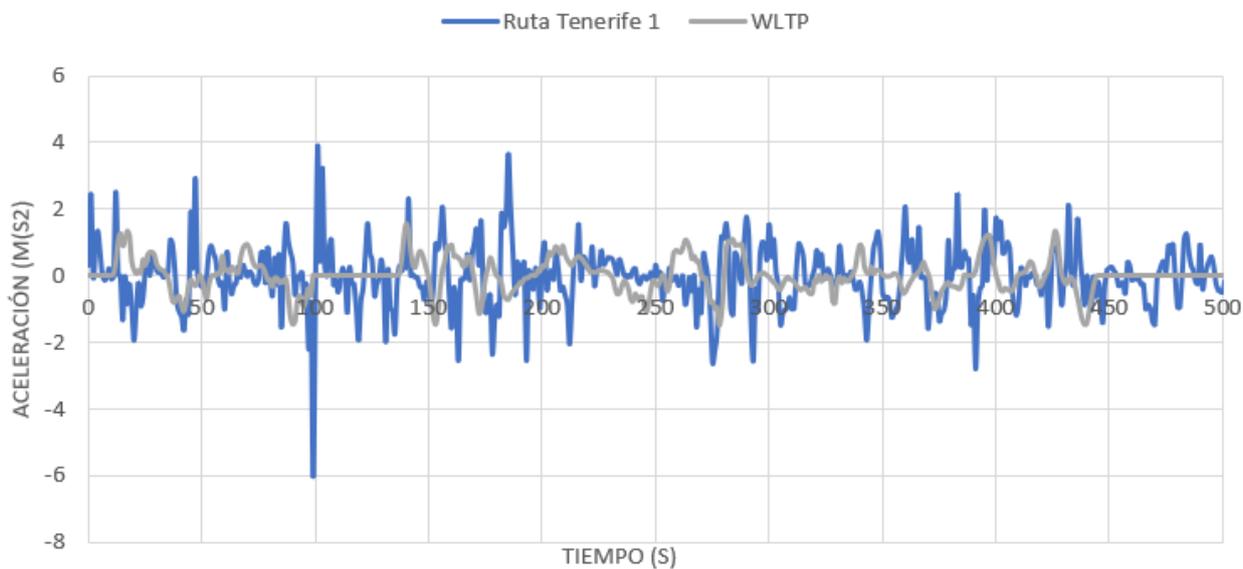
Comparando los perfiles de aceleración en las rutas Tenerife, se muestra claramente aceleraciones más bruscas y pronunciadas en la Ruta 1. Además, se observa como en este caso se alcanzan valores más elevados, siendo su máxima aceleración 6 m/s<sup>2</sup>, mientras que en el caso de la Ruta Tenerife 2 es inferior a los 4 m/s<sup>2</sup>.



**Figura 16:** Perfil de aceleraciones Ruta Tenerife 1 y ciclo NEDC.

**Fuente:** Elaboración propia.

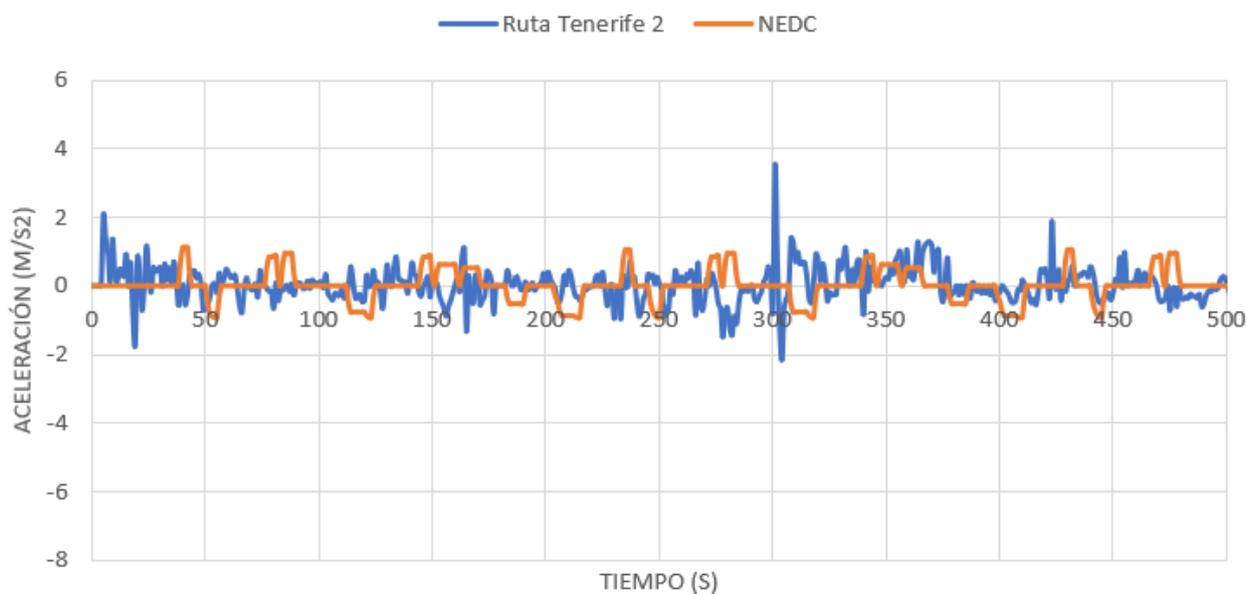
### PERFIL DE ACELERACIÓN



**Figura 17:** Perfil de aceleraciones Ruta Tenerife 1 y ciclo WLTP.

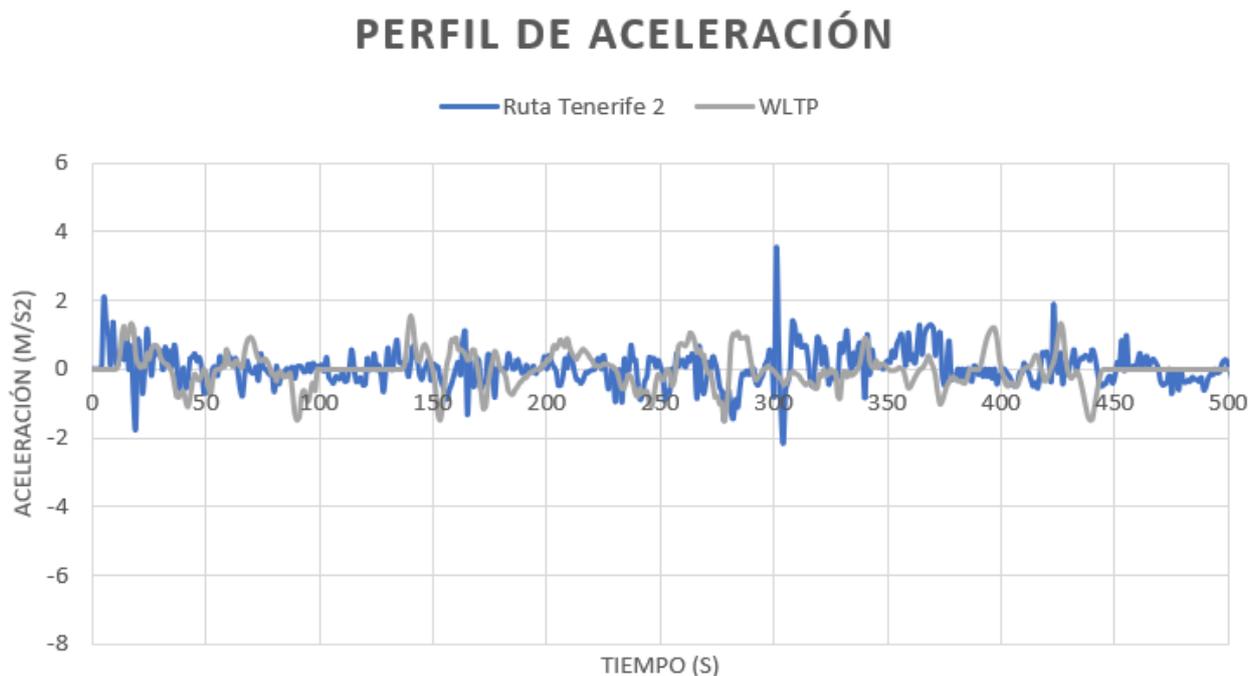
**Fuente:** Elaboración propia.

### PERFIL DE ACELERACIÓN



**Figura 18:** Perfil de aceleraciones Ruta Tenerife 2 y ciclo NEDC.

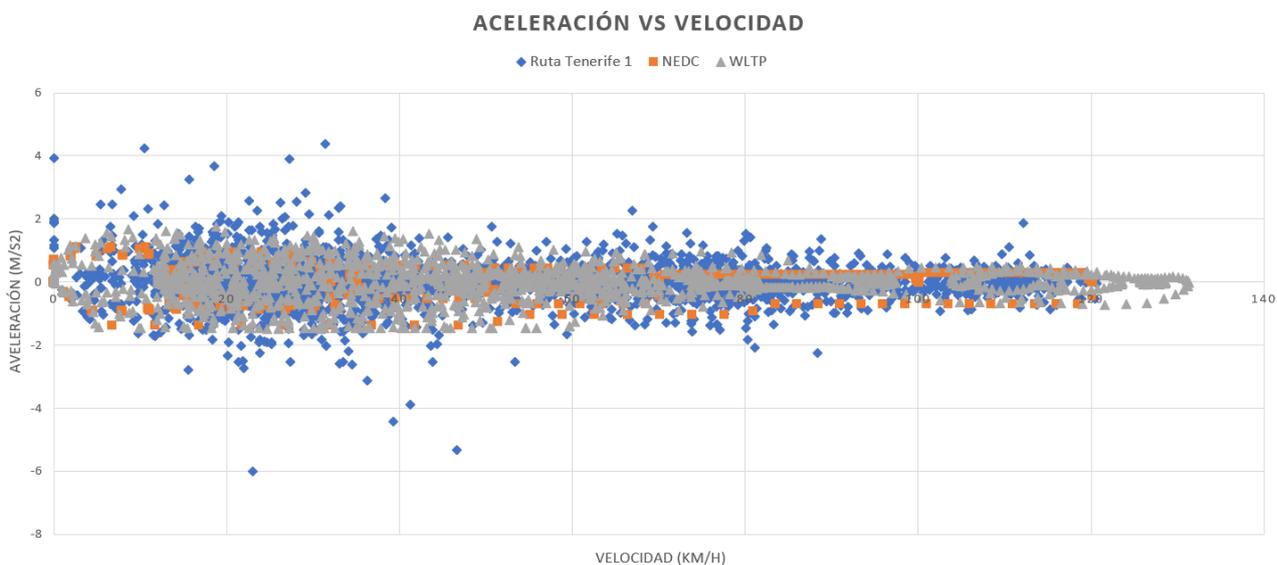
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 19:** Perfil de aceleraciones Ruta Tenerife 2 y ciclo WLTP.

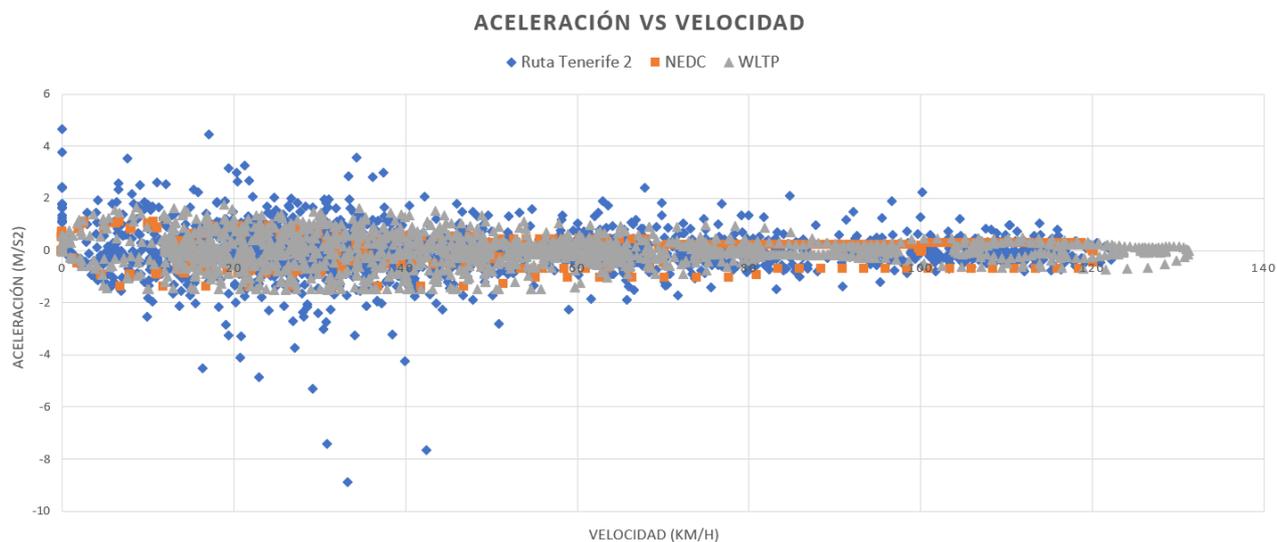
**Fuente:** Elaboración propia.

Las Figuras 20 y 21 muestran una representación de la aceleración frente a la velocidad mediante una gráfica de dispersión de los distintos ciclos sujetos a estudio. Se observa de forma clara que la dispersión en los ciclos de laboratorio es menor, oscilando entre valores bajos de aceleración a lo largo del eje. Además, existe una mayor dispersión en los puntos en los ciclos Tenerife con respecto a los ciclos de laboratorio, generalmente a velocidades inferiores a los 60 km/h, relacionado con el tramo de conducción urbana. Estos se tratan de aceleraciones más bruscas que quedan representadas de manera apartada de los datos obtenidos en los ciclos de laboratorio. Por lo tanto, queda patente una mayor representatividad de la conducción urbana en los ciclos propuestos, debido al tráfico, mayor agresividad, etc.



**Figura 20:** Representación gráfica aceleración frente a velocidad. Ciclos NEDC y WLTP y Ruta Tenerife 1.

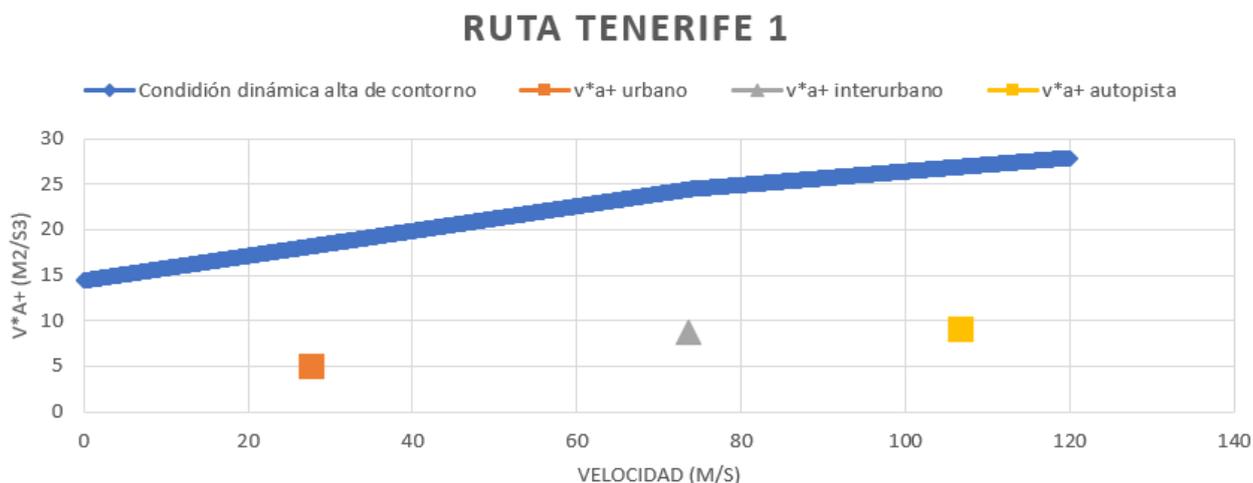
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 21:** Representación gráfica aceleración frente a velocidad. Ciclos NEDC y WLTP y Ruta Tenerife 2.

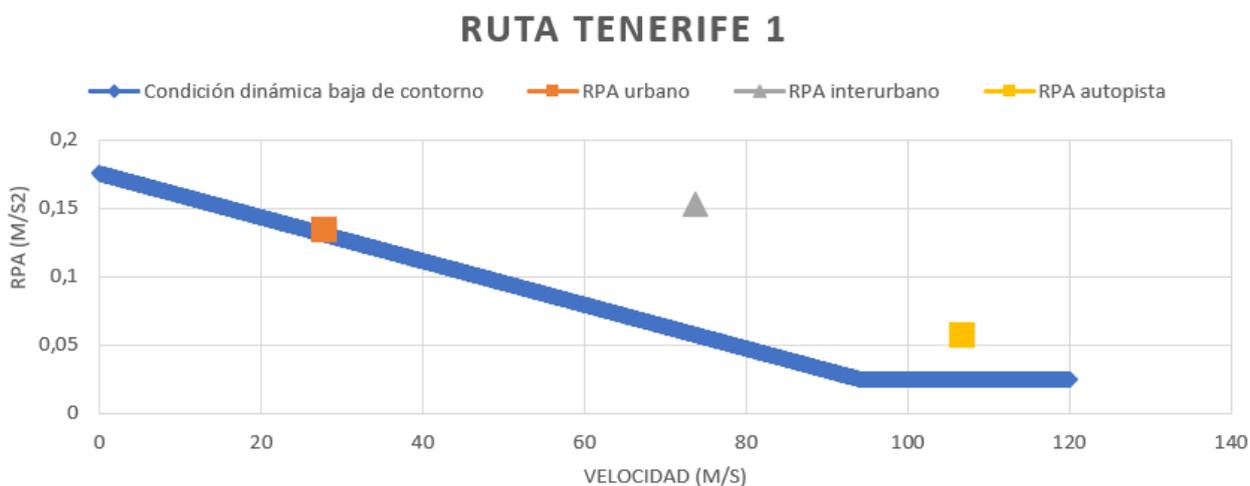
**Fuente:** Elaboración propia.

Como se comentó anteriormente, el nivel de agresividad de conducción viene dado por los parámetros “v\*a+” (velocity times positive acceleration) y “RPA” (Relative Positive Acceleration). Estos parámetros fueron calculados para las rutas propuestas, y se representan en las Figuras 22, 23, 24 y 25.



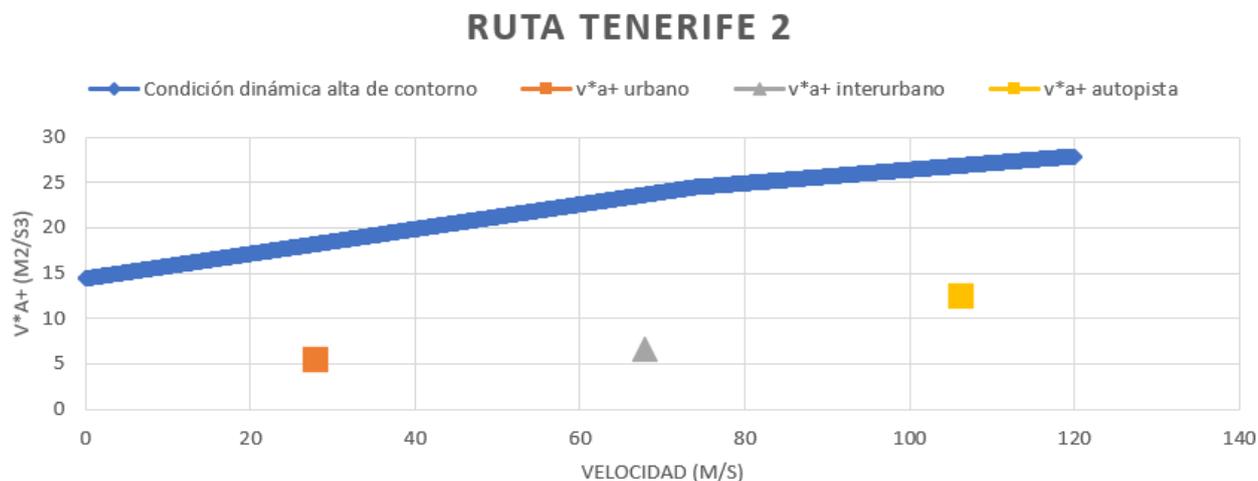
**Figura 22:** Representación gráfica de “v\*a+” frente a la velocidad la Ruta Tenerife 1.

**Fuente:** Elaboración propia.



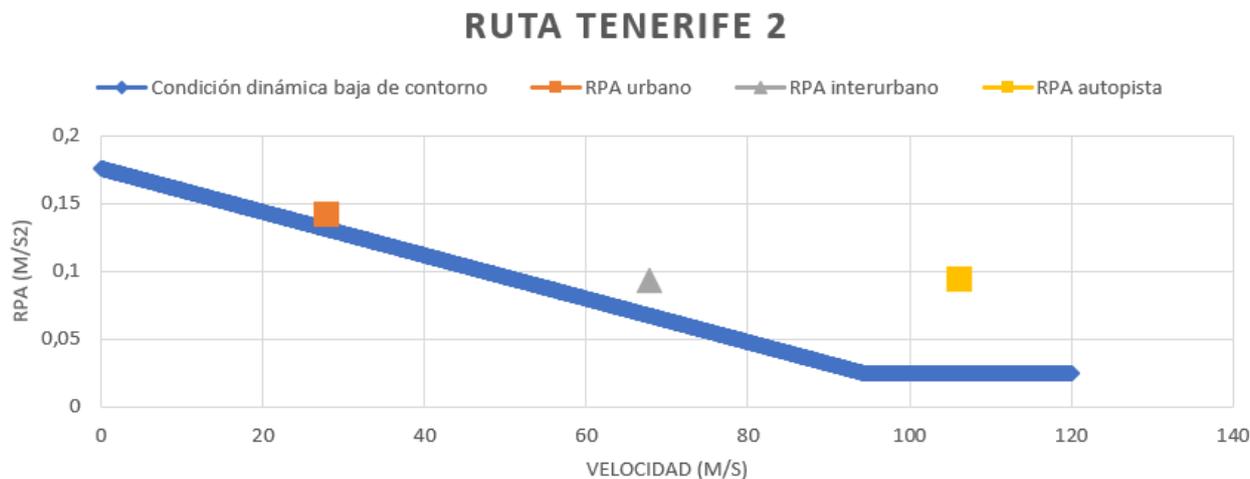
**Figura 23:** Representación gráfica de “RPA” frente a la velocidad la Ruta Tenerife 1.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 24:** Representación gráfica de “v\*a+” frente a la velocidad la Ruta Tenerife 2.

**Fuente:** Elaboración propia.



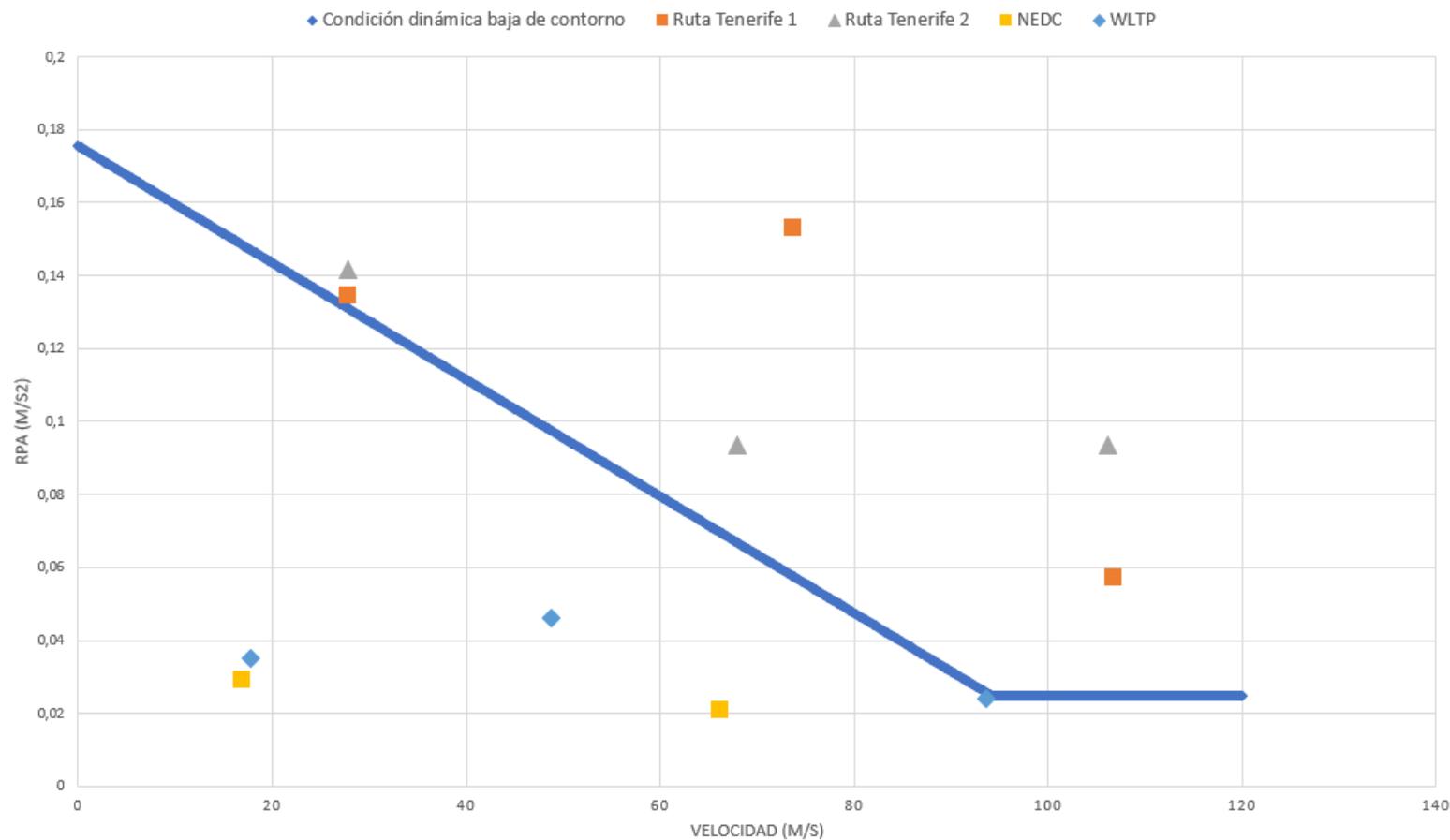
**Figura 25:** Representación gráfica de “RPA” frente a la velocidad la Ruta Tenerife 2.

**Fuente:** Elaboración propia.

Se puede observar cómo tanto la Ruta Tenerife 1 y la Ruta Tenerife 2 cumplen las condiciones en los tres tramos (urbano, interurbano y autopista), ya que se encuentran todos ellos por debajo en el caso de “v\*a+” y por encima en el caso de “RPA”, respecto a los valores establecidos.

Por un lado, cabe destacar que a pesar de que ambas rutas propuestas son representativas según el criterio mencionado, los valores “v\*a+” se sitúan en un grado de agresividad medio-bajo, ya que existe una gran diferencia entre los datos calculados en cada tramo y los valores límites. Al contrario, en la representación gráfica del parámetro RPA, se observan como los valores calculados de las rutas propuestas se encuentran próximos a los límites indicados. Por ello, de forma general se intuye que la agresividad no es la particularidad principal en las Rutas Tenerife. Sin embargo, para comprobar dicha sentencia sería necesario realizar un análisis de variabilidad a la hora de realizar las rutas propuestas.

Aunque estos parámetros se emplean en la evaluación de rutas RDE, interesa calcularlos para los ciclos de homologación en laboratorio a fin de obtener una visión global. Esto se muestra en la Figura 26.



**Figura 26:** Representación gráfica de “RPA” frente a la velocidad de los ciclos NEDC, WLTP, Ruta Tenerife 1 y Ruta Tenerife 2.

**Fuente:** Elaboración propia.

Se observa según la condición establecida por la UE para determinar la pasividad de un ciclo RDE, como los valores de los dos ciclos realizados en el laboratorio se encuentran por debajo de las condiciones límites mínimas. Los datos del ciclo NEDC, tanto el tramo urbano como el extraurbano, están muy lejos de los valores limítrofes determinados. Mientras que, en el WLTP, a pesar de que ninguno de los tramos cumple con los requerimientos, el rango que refleja la conducción en autopista se encuentra bastante cercana a cumplir con la condición de contorno.

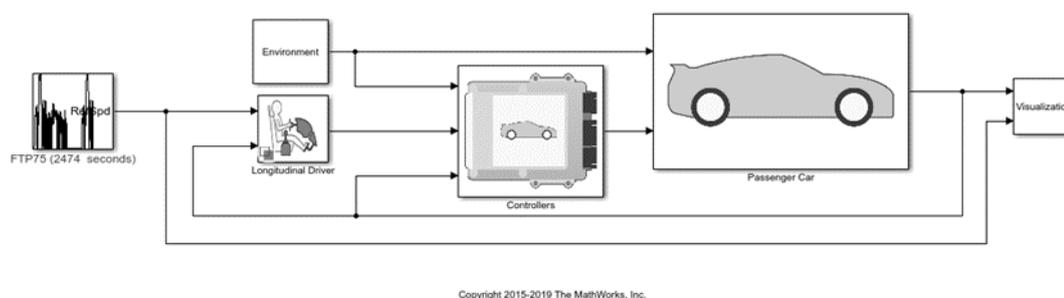
Por ello, en el caso de querer representar en carretera las rutas llevadas a cabo en los ciclos NEDC y WLTP, estas no podrían computar como rutas RDE debido a no cumplir los requerimientos establecidos por ser demasiado pasivas.

A modo de conclusión de este subapartado, cabe destacar que el principal objetivo se ha alcanzado de manera satisfactoria, ya que se han creado ciclos de conducción representativos en la Isla de Tenerife que cumplen con las especificaciones RDE, exceptuando la relacionada con la distancia mínima recorrida. Por lo tanto, al realizar estos ciclos se obtendrán valores cercanos a la realidad de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## 4 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE VEHÍCULO

Simulink es una herramienta paralela dentro del programa Matlab que sirve para simular el comportamiento de los sistemas dinámicos. Puede simular sistemas lineales y no lineales, modelos en tiempo continuo y tiempo discreto y sistemas híbridos de todos los anteriores. Es un entorno gráfico en el cual se facilita la interacción usuario-software. Los modelos Simulink se guardan en ficheros con extensión \*.mdl. [8].

En la Figura 27 se muestra el modelo de vehículo de Matlab Simulink. El modelo está constituido por 6 bloques: *Drive cycle source*, *Longitudinal driver*, *Controllers*, *Passenger car*, *Environment* y *Visualization*.



**Figura 27:** Modelo de vehículo Matlab Simulink.

**Fuente:** Librería Matlab Simulink 2017b.

Por defecto, el modelo de vehículo ejemplo de las librerías del Matlab Simulink, está configurado con estas variantes:

- Motor dinámico de encendido por chispa (SI) de 1.5 L (motor gasolina).
- Motor de cuatro cilindros sobrealimentado.
- Ciclo de cuatro tiempos (4T)
- Controlador de transmisión de modo de rendimiento (caja automática)

En la Tabla 5 se muestran los principales parámetros del modelo de vehículo.

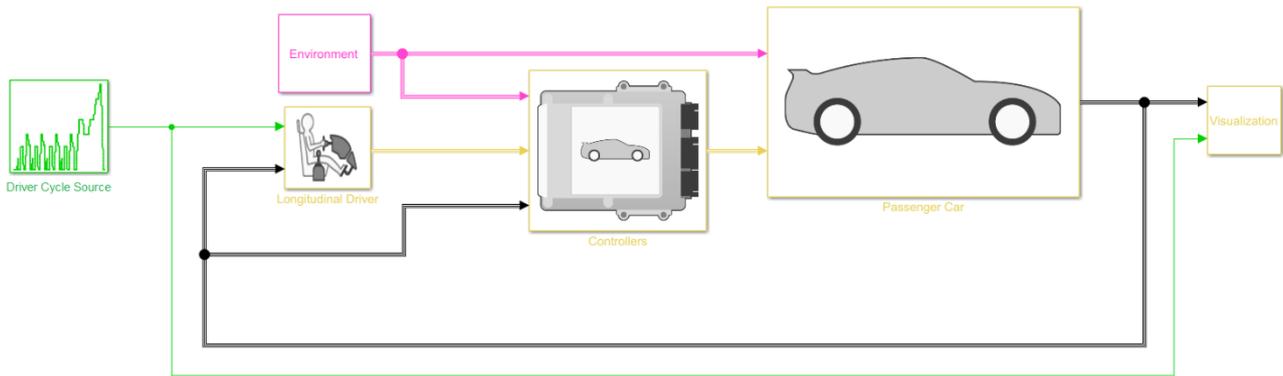
**Tabla 5: Parámetros longitudinales del modelo de vehículo del Matlab Simulink.**

<b>Masa</b>	1200 kg
<b>Distancia horizontal del CG al eje delantero</b>	1,4 m
<b>Distancia horizontal del CG al eje trasero</b>	1,8 m
<b>Distancia vertical del CG sobre los ejes</b>	0,35 m
<b>Área frontal</b>	2 m <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de resistencia con el aire (Cd)</b>	0,3

Cabe destacar que las características mencionadas anteriormente pueden ser modificadas en el propio modelo dependiendo de cuál sea el caso: el número de cilindros, la cilindrada total, la presión y temperatura de entrada del aire a la cámara de combustión, los parámetros longitudinales del vehículo, etc.

Los *inputs* al modelo de las librerías de Matlab Simulink son la velocidad del vehículo, el gradiente de la carretera y la duración del trayecto en segundos, con una frecuencia constante.

En la Figura 28 se muestra la conexión entre los diferentes bloques del modelo de vehículo. Primero, indicado mediante el color verde, se observa como los *inputs* del perfil de velocidades y la duración del ciclo, los cuales se introducen en el bloque *Drive Cycle Source*, se conecta tanto con el *longitudinal driver*, para generar el perfil de conducción del modelo de conductor, como con el bloque de *visualization*. Por otro lado, el *input* del gradiente de la carretera se encuentra indicado mediante el color rosa, se observa como se conecta tanto con el bloque *controllers* como con el *Passenger car*, los cuales indican las características del vehículo. Finalmente, los *outputs* generados por el modelo (régimen de giro, par motor y consumo de combustible) se indican a partir del color amarillo, los cuales conectan los bloques *Longitudinal Driver*, *Controllers*, *Passenger Car* y *Visualization*.



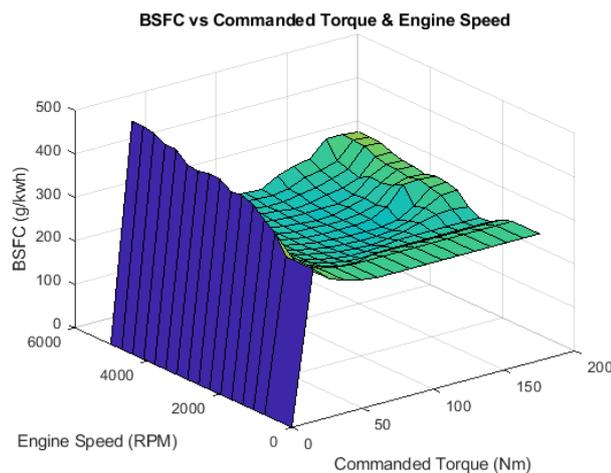
**Figura 8:** Modelo de vehículo Matlab Simulink. Conexión entre bloques en colores.

**Fuente:** Liberia Matlab Simulink 2017b.

Por lo que respecta a la descripción del modelo, consta de 6 bloques:

- ✓ *Drive Cycle Source*: Genera un perfil de velocidad de ciclo de conducción estándar o especificado por el usuario en función del tiempo. En este caso, se introduce el documento generado previamente por la aplicación GPS móvil, en formato .mat o .xlsx, reflejando la velocidad del vehículo en metros por segundo y el tiempo transcurrido en una frecuencia constante. La salida del bloque es la velocidad longitudinal del vehículo seleccionado [9].
- ✓ *Longitudinal Driver*, cuya función es leer el ciclo de conducción (estructura tiempo-velocidad, obtenido por la app) y dependiendo del ciclo, el conductor seguirá el perfil de velocidades (accionando más o menos el pedal), para generar comandos de aceleración y frenado normalizados. La variante Open Loop le permite configurar los comandos de aceleración, desaceleración, marcha y embrague con entradas constantes o basadas en señales [9].
- ✓ *Controllers*: Implementa un módulo de control del tren motriz (PCM) que contiene un módulo de control de transmisión (TCM) y un módulo de control del motor (ECM) [9].
- ✓ *Passenger Car*: Implementa un automóvil de pasajeros que contiene transmisión y subsistemas modelo de planta de motor. En este bloque se introducen todas las características del motor sujeto a estudio: número de cilindros, cilindrada total, etc [9].

En lo que respecta al tren de potencia (MCIA), está representado en el modelo de vehículo a partir de tablas extraídas de datos experimentales. En el caso que nos ocupa, el consumo del motor queda representado por un mapa específico en función del par y régimen de giro. Estos datos son obtenidos a través de ensayos de caracterización en banco motor, como se muestra en la Figura 29.



**Figura 29:** Representación gráfica en 3D del consumo específico frente al régimen de giro y al par motor.

**Fuente:** es.mathworks.com.

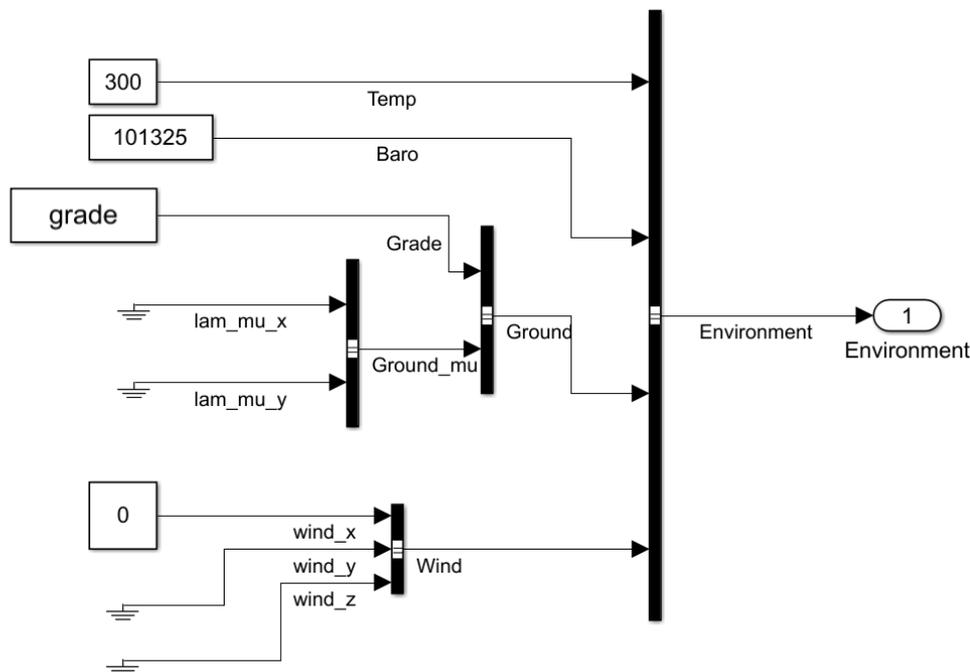
El consumo específico de combustible se indica en función del régimen de giro y del par motor,  $BSFC = f(T_{cmd}, N)$ , donde:

- BSFC es el consumo específico de combustible en g/kwh.
- $T_{cmd}$  es el par motor en Nm
- $N$  es el régimen de giro en RPM.

A partir del consumo específico se calcula la tasa horaria de combustible que será mostrado posteriormente en el bloque de visualización.

- ✓ *Environment*: Crea las variables de entorno, incluida la pendiente de la carretera, la velocidad del viento y la temperatura y presión ambiente. En este caso se introduce, en forma de vector, el documento del gradiente de la carretera “*grade*”, el cual debe ser cargado previamente en el espacio de trabajo. En este documento .mat se debe reflejar la pendiente en radianes y el tiempo transcurrido en segundos en una frecuencia constante.

Para más información, consultar el módulo *vehicle Body 3DOF Longitudinal* en la guía de Matlab Simulink [10].



**Figura 30:** Bloque *Environment* del modelo de vehículo Matlab Simulink.

**Fuente:** Liberia Matlab Simulink 2017rb.

- ✓ *Visualization*: Se muestran los valores de las variables obtenidas en el cálculo colocando un bloque “*scope*”, con el objetivo de visualizar las señales de salida del modelo. En este caso, se medirán el régimen de giro, el par motor y el consumo de combustible a lo largo del ciclo [9].

## 5 SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Una vez procesada la información adquirida durante el ensayo y obtenidos los datos de las rutas propuestas en la Isla de Tenerife, se realizará el modelado de dichas rutas con el modelo de vehículo de gasolina convencional de las librerías del Matlab Simulink. Posteriormente, se procederá al procesado de la información obtenida y a la posterior comparación de los diferentes ciclos sujetos a estudio, observando de esta forma las características de cada uno de ellos.

### 5.1 Consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> en las rutas de Tenerife

Tomando como parámetro de entrada el perfil de velocidades y gradiente de los ciclos estudiados, el modelo explicado en detalle ha sido usado para analizar la operación del motor de combustión interna alternativa a lo largo de los mismos. Esto permitirá adquirir los datos relacionados con el régimen de giro, el par motor y el consumo de combustible, donde, con este último, se calcularán las emisiones de dióxido de carbono a lo largo del ciclo. Se han tomado las siguientes simplificaciones:

- Todas las simulaciones se hacen en condiciones de motor calientes, es decir, la temperatura del refrigerante y aceite del motor alcanzan la temperatura de trabajo objetivo al inicio del ciclo.
- El MCIA queda representado como un mapa de consumo frente al régimen de giro y par. Aunque este procedimiento no representa de forma clara los transitorios de motor, es una práctica habitual a la hora de obtener datos globales de consumo de motor.
- El peso del vehículo es el mismo en todos los ciclos de simulados.
- El gradiente es solo considerado en las rutas de conducción reales.
- El modelado de vehículo no ha sido validado por carencia de información experimental. Si bien los resultados que se obtienen no pueden tener carácter de absolutos, resultan útiles como medio de comparación entre los distintos ciclos de conducción.

A continuación, en las Figuras 31, 32, 33 y 34 se muestran los datos obtenidos a partir del modelado de los cuatro ciclos sujetos a estudio.

### NEDC



**Figura 31:** Representaciones gráficas obtenidas mediante la simulación del ciclo NEDC.

**Fuente:** Elaboración propia.

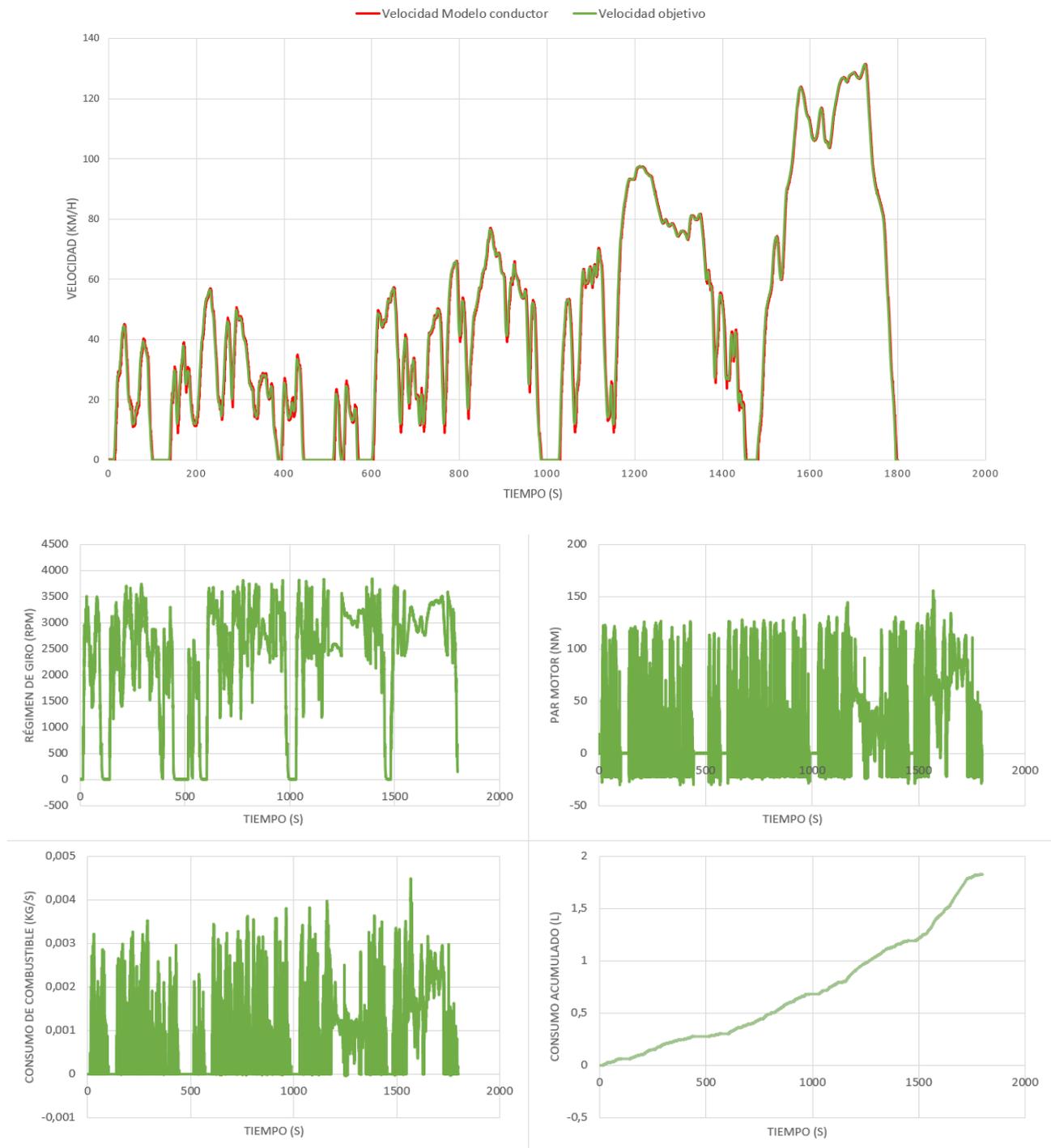
En la Figura 31 se muestran las representaciones obtenidas mediante la simulación del modelo de vehículo del ciclo NEDC. La ubicada en la parte superior representa la velocidad simulada del modelo de conductor y la velocidad real del ciclo frente al tiempo de duración total. La velocidad del modelo del conductor tiene como objetivo seguir de la forma más precisa la velocidad del ciclo (objetivo). Se puede observar cómo el modelo es capaz de seguir el perfil de velocidades con gran precisión, donde solo existen pequeñas discrepancias en los cambios bruscos de velocidades, al pasar del tramo de aceleración al tramo de velocidad de crucero, en donde la velocidad del modelo de vehículo tarda unos segundos en reaccionar y retomar el perfil indicado.

En las siguientes dos gráficas mostradas se observa el régimen de giro y el par motor, es decir, la operación del mismo a lo largo de todo el ciclo. En el caso del régimen de giro, se distingue cómo se mantiene de forma regular en la parte urbana (UDC) del mismo, mientras que en el tramo extraurbano (EUDC) se encuentra en regímenes más altos, rondando los 3000 rpm. A lo largo del ciclo, posee un régimen medio de 1850 rpm. Por lo que respecta al par, cabe destacar que el ciclo NEDC alcanza un par máximo de 120 Nm.

En las dos gráficas situadas en la zona inferior, se representa el consumo del combustible a lo largo del ciclo en kilogramos por segundo y el combustible acumulado en litros. De estos dos, destaca el aumento más pronunciado del combustible acumulado en el tramo de conducción extraurbana, donde se observa una mayor pendiente en comparación con el resto de la ruta. Este aumento se debe a la mayor demanda de potencia.

En el Figura 32 se muestran las representaciones obtenidas mediante la simulación del modelo de vehículo del ciclo WLTP.

### WLTP



**Figura 32:** Representaciones gráficas obtenidas mediante la simulación del ciclo WLTP.

**Fuente:** Elaboración propia.

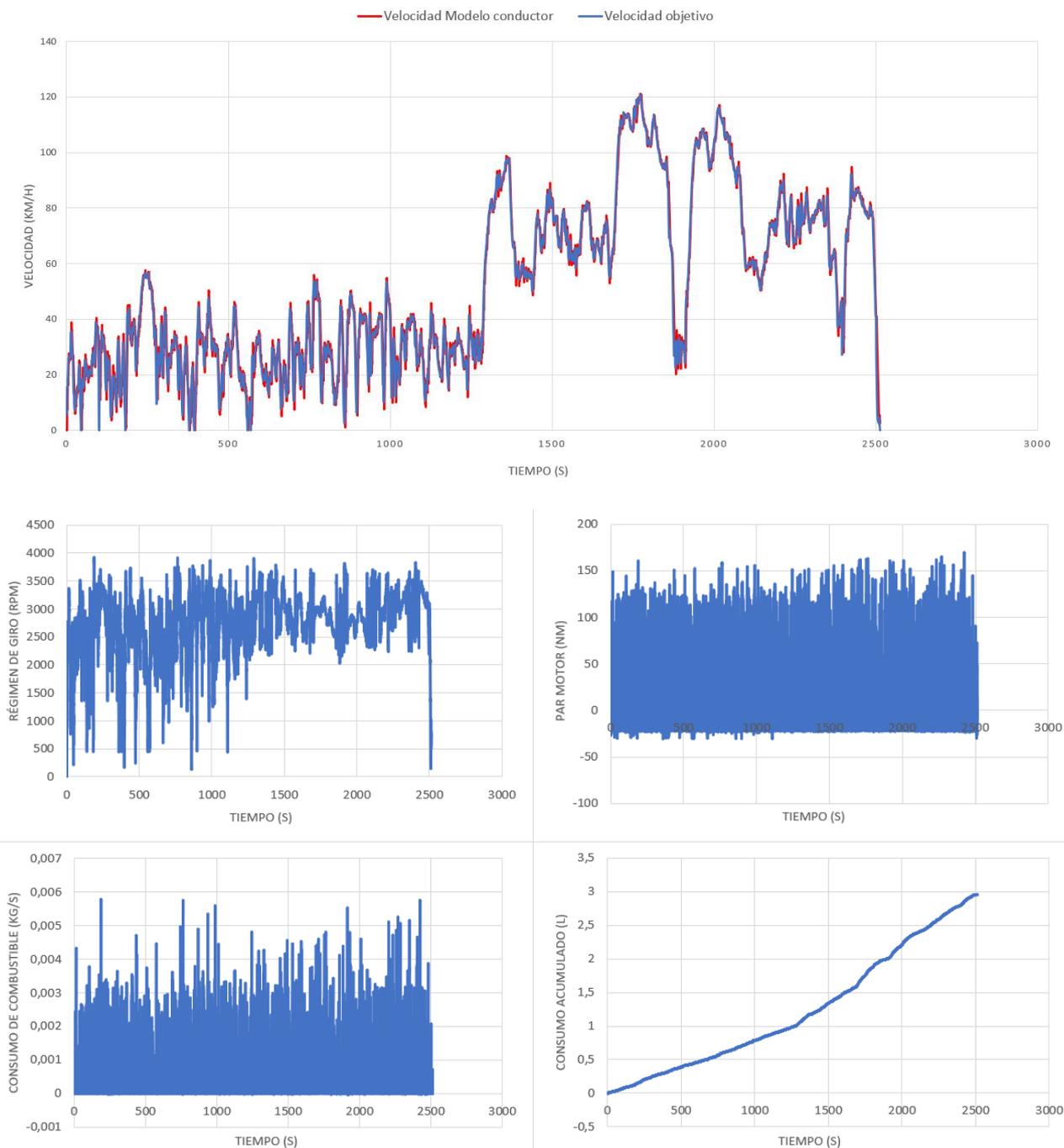
En este caso se observa cómo la velocidad del modelo sigue el rastro de la velocidad objetivo a lo largo de la ruta con exactitud, al igual que en el caso anterior, aunque existen una mayor discrepancia con los valores reales en comparación con el NEDC, especialmente en las desaceleraciones y aceleraciones agresivas en el perfil de velocidades.

En el caso del régimen de giro, al tratarse de un perfil de velocidades creado a partir de los datos recogidos basados en la experiencia y hábitos diarios de los conductores, las revoluciones del motor no son regulares como era en el caso del NEDC. El ciclo en general, especialmente en sus dos últimos tramos de autopista (fase de velocidad alta y muy alta), se mantiene un mayor tiempo de residencia en regímenes elevados. A lo largo del ciclo, posee un régimen medio de 2500 rpm. Por lo que respecta al par, cabe destacar que en el ciclo WLTP el motor alcanza un par máximo de 160 Nm.

En las dos gráficas situadas en la zona inferior, se representa el consumo de combustible a lo largo del ciclo en kilogramos por segundo y el combustible acumulado en litros. En este último, se observa un aumento pronunciado del consumo de combustible a lo largo de sus cuatro fases de conducción, al contrario que en el ciclo NEDC, en el cual destacaba de forma clara el cambio de pendiente entre el tramo urbano y extraurbano.

En las Figuras 33 y 34 se muestran las representaciones obtenidas mediante la simulación del modelo de vehículo de la Ruta Tenerife 1 y la Ruta Tenerife 2 respectivamente.

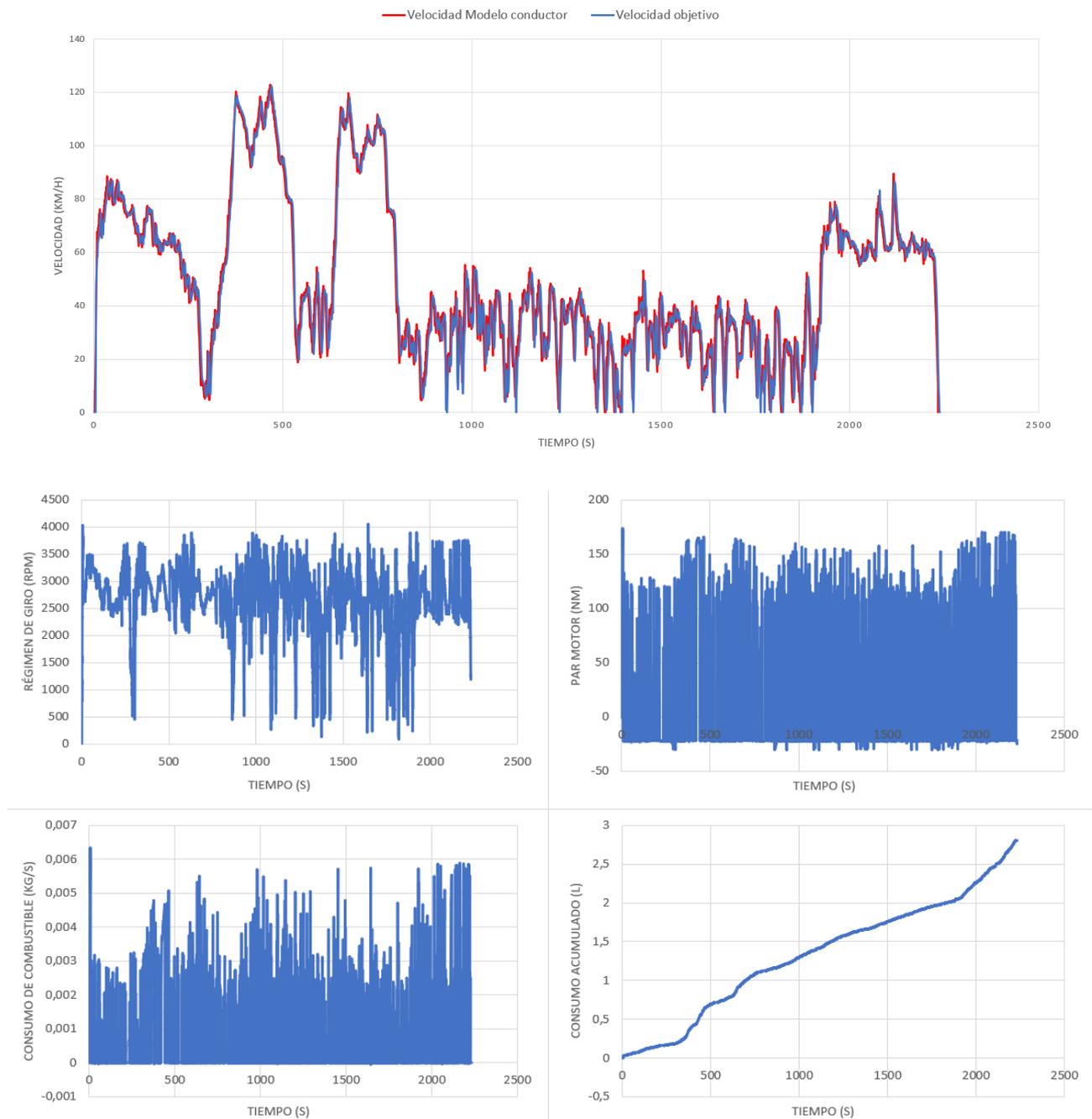
### RUTA TENERIFE 1



**Figura 33:** Representaciones gráficas obtenidas mediante la simulación de la Ruta Tenerife 1.

**Fuente:** Elaboración propia.

### RUTA TENERIFE 2



**Figura 34:** Representaciones gráficas obtenidas mediante la simulación de la Ruta Tenerife 2.

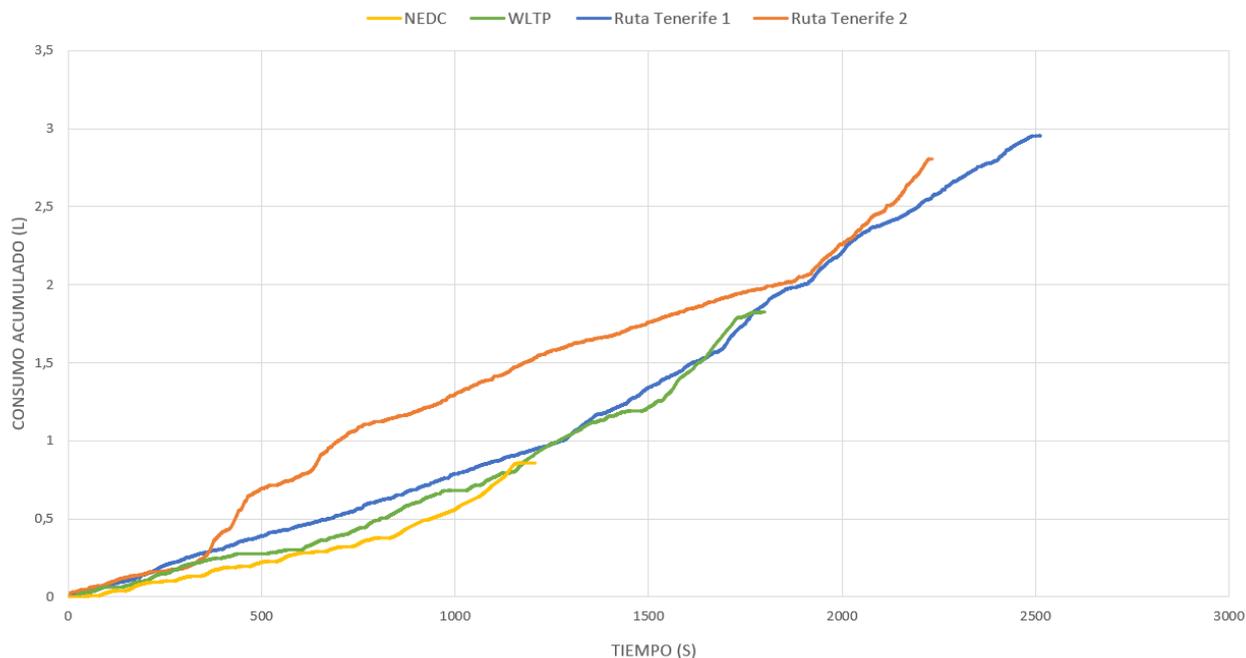
**Fuente:** Elaboración propia.

Se observa como en ambos casos existe una mayor diferencia entre la velocidad objetivo y la velocidad simulada. Al ser las rutas de conducción real más dinámicas, la velocidad del modelo del conductor tiene una mayor dificultad para seguir de forma exacta la velocidad objetivo de los ciclos Tenerife.

En las gráficas relacionadas con el régimen de giro, se observa como en la Ruta Tenerife 1 se mantiene de forma variable en el tramo de conducción urbana, mientras que en los tramos de conducción interurbana y autopista el régimen de giro se mantiene en regímenes altos. En el caso de la Ruta Tenerife 2, ocurre la misma situación, lo que en este caso el tramo interurbano y autopista se encuentran al comienzo del ciclo, y en mitad de este bajan las revoluciones en el tramo urbano. En los dos casos, su régimen de giro máximo ronda los 4000 rpm, mientras que el régimen medio se encuentra próximo a los 3000 rpm. Por otro lado, en la representación gráfica del par motor, los ciclos de conducción real de Tenerife llegan a alcanzar un par máximo de 180 Nm.

En las gráficas donde se representa el consumo del combustible, se aprecia como en la Ruta Tenerife 1 los valores son semejantes a lo largo del ciclo, mientras que en la Ruta Tenerife 2 se observan variaciones más dispares. En cuanto al combustible acumulado, en el primer caso el consumo aumenta de forma prácticamente lineal, exceptuando el cambio de pendiente entre el tramo de conducción urbana e interurbana, mientras que en la Ruta Tenerife 2 se observa como aumenta de forma significativa en dos sectores conocidos: al comienzo de la fase de autopista y en la entrada de la segunda parte del tramo interurbano, en el cual se realiza el principal cambio de altitud del ciclo.

En la Figura 35 se muestra una comparativa del consumo de combustible acumulado, cuyo valor final queda recogido en la Tabla 6.



**Figura 35:** Consumo de combustible acumulado ciclos NEDC, WLTP, Ruta Tenerife 1 y Ruta Tenerife 2.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 6:** Consumo total de cada ciclo.

	NEDC	WLTP	RUTA TF1	RUTA TF2
Consumos	0,86 L	1,83 L	2,94 L	2,81 L

Comparando el consumo total de todos los ciclos en la Tabla 6, se observa que la Ruta Tenerife 1 es el que tiene un mayor consumo, alcanzando aproximadamente 3 Litros de combustible en total, mientras que el NEDC es el menor. Estos valores son los esperados debido a que son las rutas de mayor y menor recorrido respectivamente.

**Tabla 7:** Consumos de cada ciclo en L/100km.

	NEDC	WLTP	RUTA TF1	RUTA TF2
Consumos	7,79 L/100Km	7,85 L/100Km	8,03 L/100Km	9,46 L/100Km

De forma adicional, se calcula el consumo promedio a lo largo del ciclo, en este caso 100 kilómetros. Llama la atención que tanto el NEDC como el WLTP tengan valores de consumo muy próximos entre ellos, oscilando entre los 7,8 Litros de combustible por cada 100 kilómetros recorridos. La razón podría estar en que se utiliza el mismo peso del vehículo en esta simulación, mientras que, en los ensayos de laboratorio, la normativa dicta diferencias en el peso, lo que tiene un impacto en los coeficientes de rodaduras del banco de rodillos. Luego, la Ruta Tenerife 1, un poco superior, alcanzando los 8 Litros de consumo. Finalmente, superando los 9,40 Litros por cada 100 kilómetros la Ruta Tenerife 2. La diferencia entre los dos ciclos llevados a cabo en carretera abierta se debe principalmente a que en el ciclo Tenerife 2 existen pendientes locales más importantes, además de que en el ciclo Tenerife 1 aparecen desaceleraciones más largas que repercuten en un mayor tiempo en modo "fuel cut-off".

Por otro lado, se calculan las emisiones de dióxido de carbono emitidas en cada uno de los ciclos conociendo tanto el valor de la densidad de la gasolina (especificadas en el Real Decreto 1088/2010) [11] como el factor de emisión de CO<sub>2</sub> (obtenido a partir de distintas ediciones del Inventario Nacional de Emisiones de España y en las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero) [12]:

$$\rho_{gasolina} = 747.5 \text{ g/L}$$

$$FE_{gasolina} = 2157 \text{ g de CO}_2/\text{L}$$

**Tabla 8: Emisiones de dióxido de carbono de cada ciclo por kilómetro.**

	<b>NEDC</b>	<b>WLTP</b>	<b>RDE TF1</b>	<b>RDE TF2</b>
<b>Emisiones CO<sub>2</sub></b>	168,16 g de CO <sub>2</sub> /km	169,38 g de CO <sub>2</sub> /km	173,24 g de CO <sub>2</sub> /km	204,12 g de CO <sub>2</sub> /km

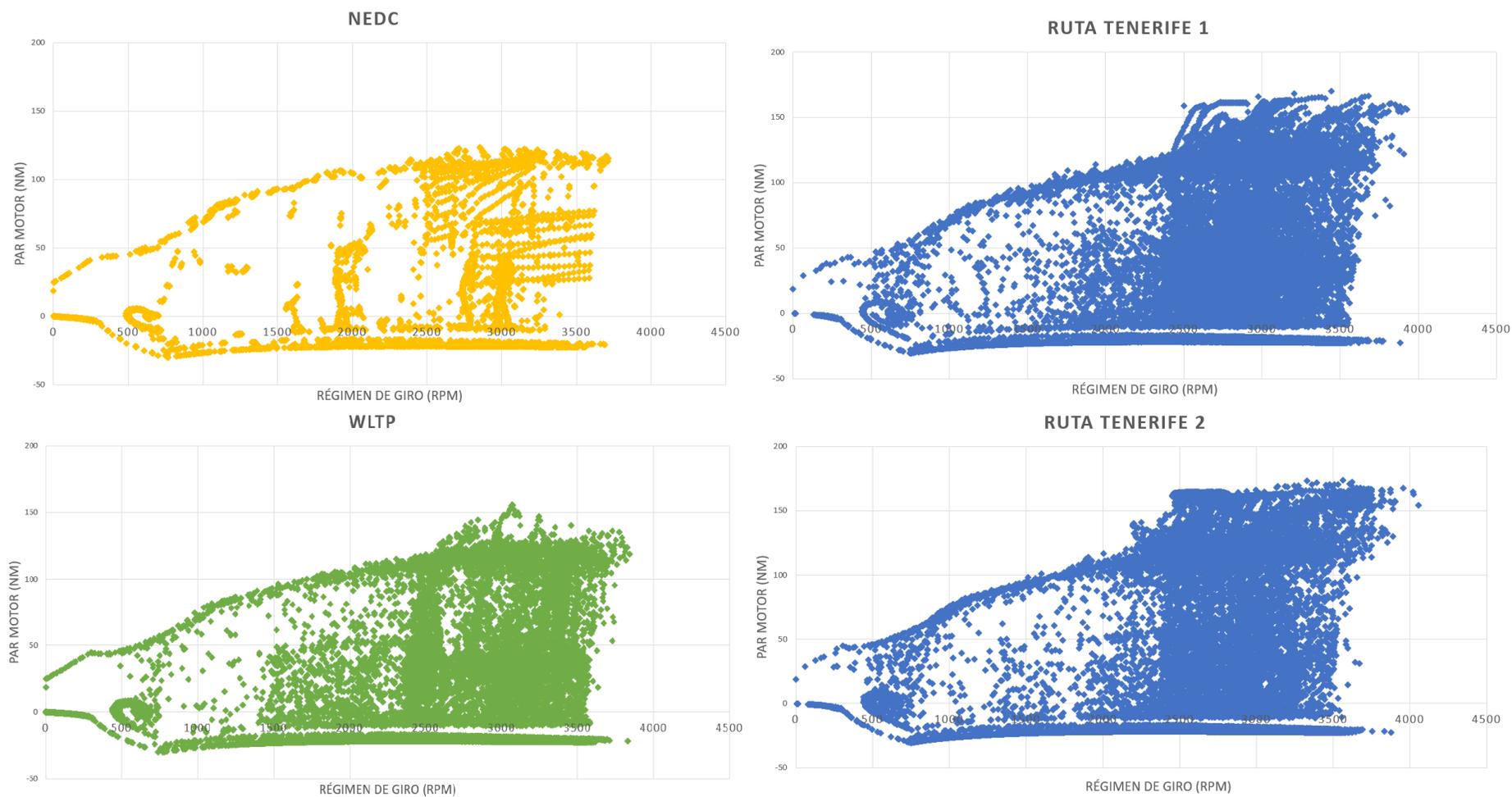
Se observa que los valores de las emisiones de dióxido de carbono mostrados en la Tabla 8 de cada ciclo son directamente proporcionales al consumo de los mismos. Los valores obtenidos tanto para el ciclo NEDC como el WLTP son bastante próximos entre ellos, y siendo las emisiones del ciclo Tenerife 1 un poco superior a los mencionados anteriormente. Por otro lado, existe una mayor diferencia con los valores de las emisiones del ciclo Tenerife 2, siendo aproximadamente 35g de CO<sub>2</sub> por cada kilómetro recorrido superior a los ciclos de laboratorio.

**Tabla 9: Incremento de las emisiones de dióxido de carbono frente al ciclo NEDC.**

	<b>WLTP</b>	<b>RUTA TF1</b>	<b>RUTA TF2</b>
<b>Incremento de las emisiones de CO2</b>	0,72 %	3,02 %	21,38 %

Finalmente, como se indica en la Tabla 9, se puede constatar que un vehículo poco eficiente como el sujeto a estudio (los valores de consumo son altos comparados con utilitarios modernos) realizando rutas representativas en la Isla de Tenerife puede llegar a incrementar hasta un 21,38 % la emisión de CO<sub>2</sub> con respecto a los valores de laboratorio.

Como análisis adicional para entender las diferencias en consumo, en la Figura 36 se muestra una comparativa del tiempo de residencia del motor a lo largo de los distintos ciclos simulados.



**Figura 36:** Mapa de operación ciclos NEDC, WLTP, Ruta Tenerife 1 y Ruta Tenerife 2.

**Fuente:** Elaboración propia.

Al comparar los puntos de operación de los diferentes gráficos se observa muchos más puntos operativos del motor en los ciclos WLTP, Ruta Tenerife 1 y Ruta Tenerife 2 en comparación con el ciclo NEDC, debido a que es el ciclo con menor recorrido por lo que existe una menor cantidad de datos.

Además, se observa como en comparación con los ciclos desarrollados en el laboratorio, en los ciclos de conducción real en carretera abierta los datos mostrados en la gráfica se desplazan a la derecha, manteniendo un mayor tiempo de residencia en regímenes altos, entre los 2500 rpm y 4000 rpm. Por otro lado, la Ruta Tenerife 1 y la Ruta Tenerife 2, como se ha mostrado anteriormente en la representación gráfica del par motor frente al tiempo, requieren un mayor par máximo, alcanzando aproximadamente los 180 Nm, mientras que los ciclos NEDC y WLTP obtienen un par inferior, llegando a los 120 Nm y 160 Nm respectivamente.

## 6 CONCLUSIONES

Este estudio ha tenido como principal objetivo la obtención de una ruta de conducción real en la Isla de Tenerife basada en la filosofía del ciclo RDE, de manera que se pueda evaluar la conducción en esta ruta y obtener posteriormente una representación más cercana a la realidad del consumo y de las emisiones de CO<sub>2</sub> del vehículo.

En primer lugar, se han estudiado los diferentes ciclos de homologación en Europa (NEDC, WLTP y RDE), adquiriendo conocimiento del desarrollo llevado a cabo en cada uno de ellos, sus características y requerimientos. Actualmente, el proceso empleado para la homologación de un vehículo es el ciclo de laboratorio WLTP, complementado por el RDE para la medición únicamente de NO<sub>x</sub>, HC, CO y partículas.

En segundo lugar, se ha realizado un estudio de las posibles rutas en la Isla de Tenerife que, aparte de cumplir con las condiciones impuestas por la UE acerca de los ciclos RDE, sean representativas en la conducción de la Isla. Por ello, se han seleccionado las dos rutas que se consideran más óptimas y las cuales son transitadas por un número notable de vehículos diariamente. La primera con un característico desplazamiento al sur de la Isla y la segunda con un desplazamiento a ciudad.

Luego, una vez conocidas las rutas seleccionadas, se ha recorrido el trayecto de las mismas, midiendo mediante una aplicación móvil GPS los datos de velocidad, tiempo, y altura con respecto al nivel del mar en cada segundo. Para ello, fueron necesarias varias iteraciones hasta alcanzar los requisitos de una ruta RDE. Tras esto, los valores han sido exportados al PC, donde a través del modelo de vehículo del Matlab Simulink se han obtenido los valores de consumo y emisiones de CO<sub>2</sub> reales de cada ruta.

A modo de conclusión, se demuestra que se trató de una adecuada y correcta decisión el sustituir en el año 2017 el ciclo de homologación vigente hasta la época NEDC por el WLTP, ya que es un ciclo poco exigente y poco realista. Sin embargo, el WLTP a pesar de ser más estricto que el anterior, se encuentra todavía lejos de ser representativo en términos de conducción real, debido a que existen factores que influyen en términos de consumo y emisiones que no son considerados, como el gradiente de la carretera o el comportamiento del conductor.

Además, se demuestra que el ciclo RDE no es solo válido para medir las emisiones contaminantes del vehículo (NO<sub>x</sub>, CO, HC y partículas), sino que también se puede emplear para obtener de forma más precisa las emisiones de dióxido de carbono. Por ello, cabe la posibilidad en un futuro que el ciclo RDE se utilice para homologar todo el vehículo completo en Europa, sustituyendo de esta forma al actual WLTP.

Finalmente, en cuanto a las dos rutas representativas seleccionadas se concluye que a pesar de que no se pueden computar como ciclos RDE, debido a que no cumplen con todo el conjunto de condiciones impuestas por la UE, son representativas en la conducción de la Isla de Tenerife. Por ello, se consideran válidas para el cálculo del consumo y las emisiones en la misma, siendo propuestas para posibles estudios en un futuro.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

### 7.1 Referencias

- [1] Sonja Schmidt, “Testing and Assessment Protocol Release 2.0”, EcoTest. URL: [«Testing and Assessment Protocol Release 2.0»](#) .
- [2] Dings, John, “Transport and Environment”, 2013. URL: [«Mind the Gap! Why official car fuel economy figures don't match up to reality»](#).
- [3] CTAG, “PEMS, un nuevo medio para el laboratorio de motor”. URL: <https://ctag.com/pems-portable-emissions-measurement-system/>.
- [4] “Commission regulation (EU) 2016/427”, 2017. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0427>
- [5] Europapress, “Los canarios son los que más usan el coche pero los que menos kilómetros recorren, con 134 kilómetros semanales”. URL: <https://www.europapress.es/islas-canarias/noticia-canarios-son-mas-usan-coche-menos-kilometros-recorren-134-kilometros-semanales-20080521131811.html>.
- [6] Businesswire, “Los españoles son los que más kilómetros recorren con el Nissan LEAF”. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20150122005912/es>.
- [7] Félix Sergio Rodríguez Hernández, “Intensidades de tráfico en las carreteras de la Isla de Tenerife en el año 2017”, 2018. URL: <https://www.tenerife.es/portalcabtfte/images/PDF/temas/carreteras/NAResumen2017.pdf>.
- [8] “ETSETB. MATLAB. Fundamentos y/o Aplicaciones. Curso 11/12b”. URL: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/192916/tema\\_5\\_simulink-5156.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/192916/tema_5_simulink-5156.pdf?sequence=7&isAllowed=y).
- [9] Centro de ayuda. Mathworks 2020. URL: [https://es.mathworks.com/help/index.html?s\\_tid=CRUX\\_lftnav](https://es.mathworks.com/help/index.html?s_tid=CRUX_lftnav)

- [10] Módulo *vehicle Body 3DOF Longitudinal*. Mathworks 2020. URL: <https://es.mathworks.com/help/autoblks/ref/vehiclebody3doflongitudinal.html>
- [11] “Real Decreto 1080/2010”, 2010. URL: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-13704>
- [12] “Inventario Nacional de Emisiones de España y en las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero “. URL: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/Inventario-GEI.aspx>

## 7.2 Artículos

- A Clenci, “Assessment of real driving emissions via portable emission measurement system”, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 252 012084, 2017. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/252/1/012084/pdf>
- Louis Sileghem, Dirk Bosteelsb , John Mayb , Cécile Favreb , Sebastian Verhelsta, “Analysis of vehicle emission measurements on the new WLTC, the NEDC and the CADC”, 2014. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920914000935?via%3Dihub>
- Teresa Donateo, Mattia Giovinazzi, “Building a cycle for Real Driving Emissions”, 2017. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/319994226\\_Building\\_a\\_cycle\\_for\\_Real\\_Driving\\_Emissions](https://www.researchgate.net/publication/319994226_Building_a_cycle_for_Real_Driving_Emissions)
- Peter Mock, “Real-driving emissions test procedure for exhaust gas pollutant emissions of cars and light commercial vehicles in europe”, 2017. Disponible en: <https://theicct.org/publications/real-driving-emissions-test-procedure-exhaust-gas-pollutant-emissions-cars-and-light>
- Timothy Bodisco, Ali Zare, “Practicalities and Driving Dynamics of a Real Driving Emmissions (RDE) Euro 6 Regulation Homologation Test”, 2019. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/333826703\\_Practicalities\\_and\\_Driving\\_Dynamics\\_of\\_a\\_Real\\_Driving\\_Emissions\\_RDE\\_Euro\\_6\\_Regulation\\_Homologation\\_Test](https://www.researchgate.net/publication/333826703_Practicalities_and_Driving_Dynamics_of_a_Real_Driving_Emissions_RDE_Euro_6_Regulation_Homologation_Test)



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIA**

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

**ANÁLISIS DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE  
CARBONO EN CONDICIONES REALES DE  
CONDUCCIÓN EN LA ISLA DE TENERIFE**

## **ANEXO I: PRESUPUESTO**

**Titulación:** Grado en Ingeniería Mecánica

**Autor:** Antonio Manuel Díaz Bethencourt

**Tutor:** Óscar García Afonso

**La Laguna, septiembre de 2020**

## 8 ANEXO I: PRESUPUESTO

En este apartado se presenta un presupuesto estimado de los costes para la realización de este Trabajo de Fin de Grado, dividiéndose en cuatro capítulos diferenciados: El combustible necesario para la realización de los ciclos, la instalación de los programas informáticos destinado para la toma de datos y el post-procesado, la amortización de los útiles empleados y, por último, el tiempo destinado al desarrollo y supervisión del estudio.

Tabla 10: Presupuesto estimado del análisis.

<b>CAPÍTULO 1: Combustible</b>	<b>Consumo de gasolina total</b>	<b>Precio gasolina L</b>	<b>Subtotal</b>
<b>Gasolina 95</b>	18,83 L	0,864 €/L	16,27 €
<b>CAPÍTULO 2: Programas informáticos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Subtotal</b>
<b>Licencia “Home” Matlab Simulink 2017r</b>	1	119,00 €	119,00 €
<b>APP GPS “Speed Tracker Pro”</b>	1	4,39 €	4,39 €
<b>CAPÍTULO 3: Amortización anual</b>	<b>Coefficiente lineal máximo</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Subtotal</b>
<b>Ordenador portátil</b>	40 %	799,99 €	319,99 €
<b>Vehículo</b>	16 %	16.998,20 €	2719,68 €
<b>CAPÍTULO 4: Tiempo empleado</b>	<b>Cantidad de horas empleadas</b>		<b>Subtotal</b>
<b>Tiempo de desarrollo ingeniero técnico</b>	300 h		-
<b>Tiempo de supervisión ingeniero industrial</b>	10 h		-
		<b>TOTAL</b>	<b>3.179,33 €</b>

Por lo tanto, el coste total de este Trabajo de Fin de Grado asciende a 3.179.33€.



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIA**

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

**ANÁLISIS DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE  
CARBONO EN CONDICIONES REALES DE  
CONDUCCIÓN EN LA ISLA DE TENERIFE**

## **ANEXO II: RESULTADOS ADICIONALES DEL GPS Y DEL MODELO DE VEHÍCULO**

**Titulación:** Grado en Ingeniería Mecánica

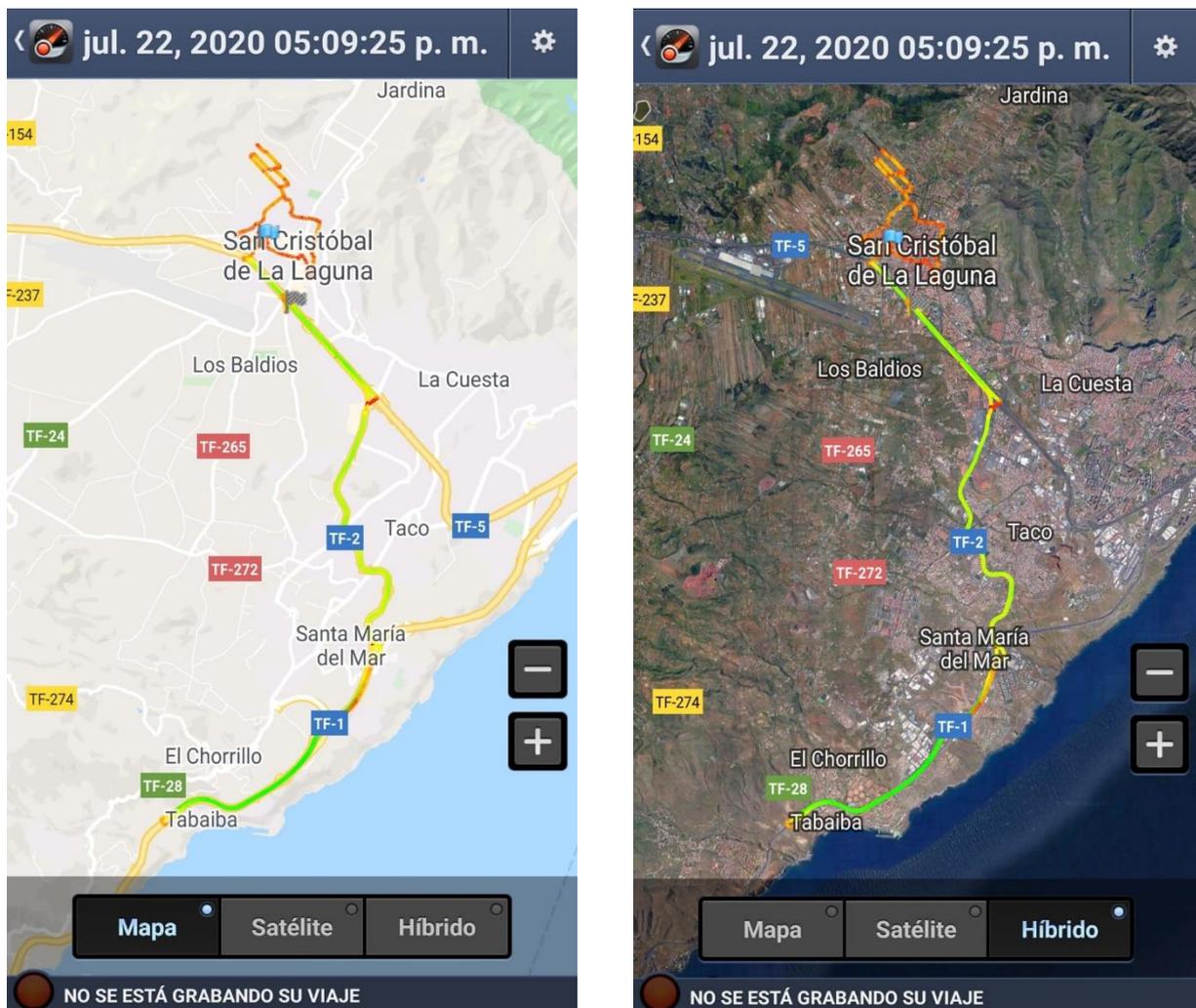
**Autor:** Antonio Manuel Díaz Bethencourt

**Tutor:** Óscar García Afonso

**La Laguna, septiembre de 2020**

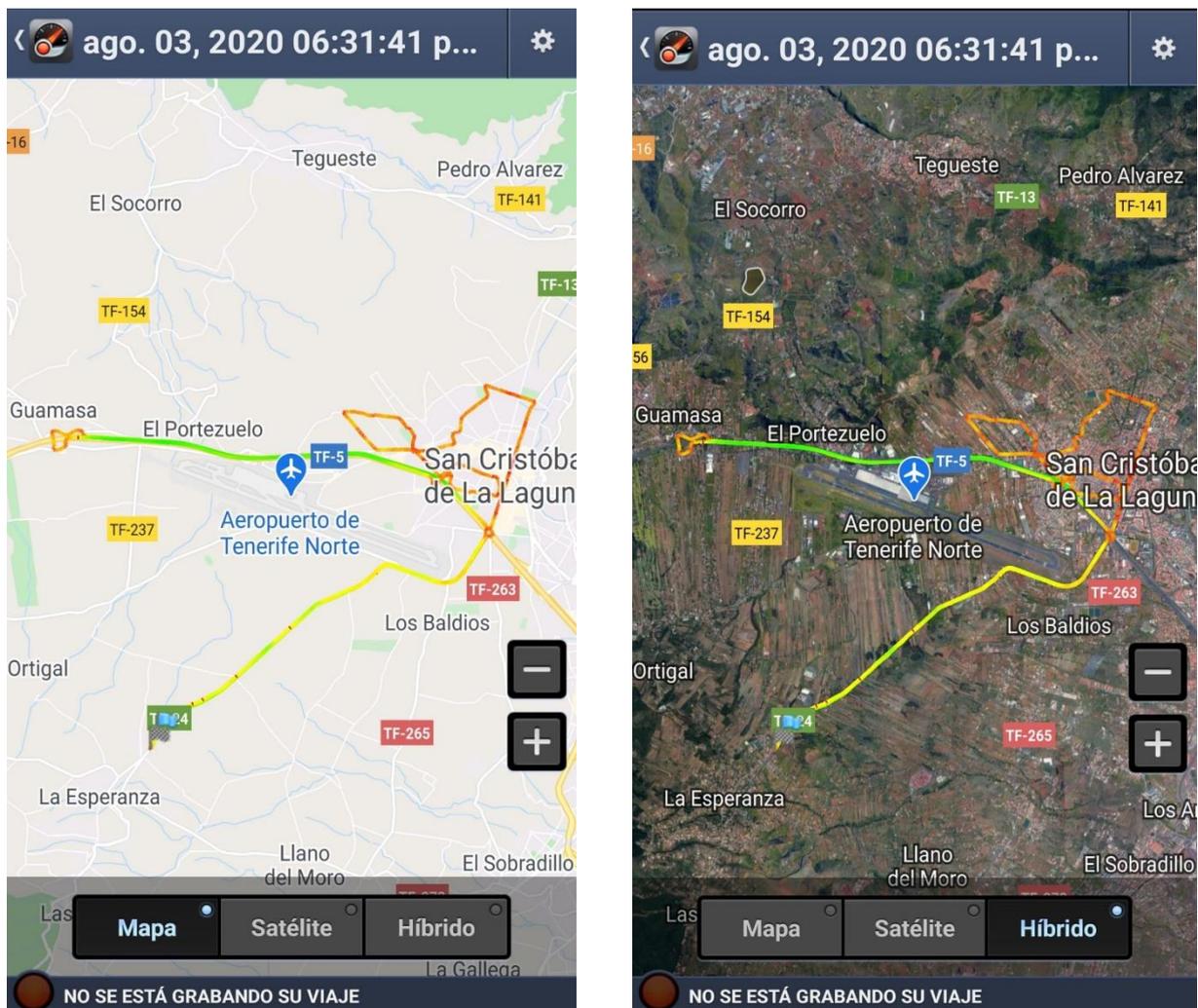
## **9 ANEXO II: RESULTADOS ADICIONALES DEL GPS Y DEL MODELO DE VEHÍCULO**

En este anexo se muestran en forma de capturas de pantallas los datos obtenidos tras realizar las rutas propuesta con la APP GPS móvil Speed Tracker Pro. Por otro lado, se exponen los gráficos originales obtenidos mediante la simulación de los diferentes ciclos sujetos a estudio con el modelo de vehículo del Matlab Simulink 2017b.



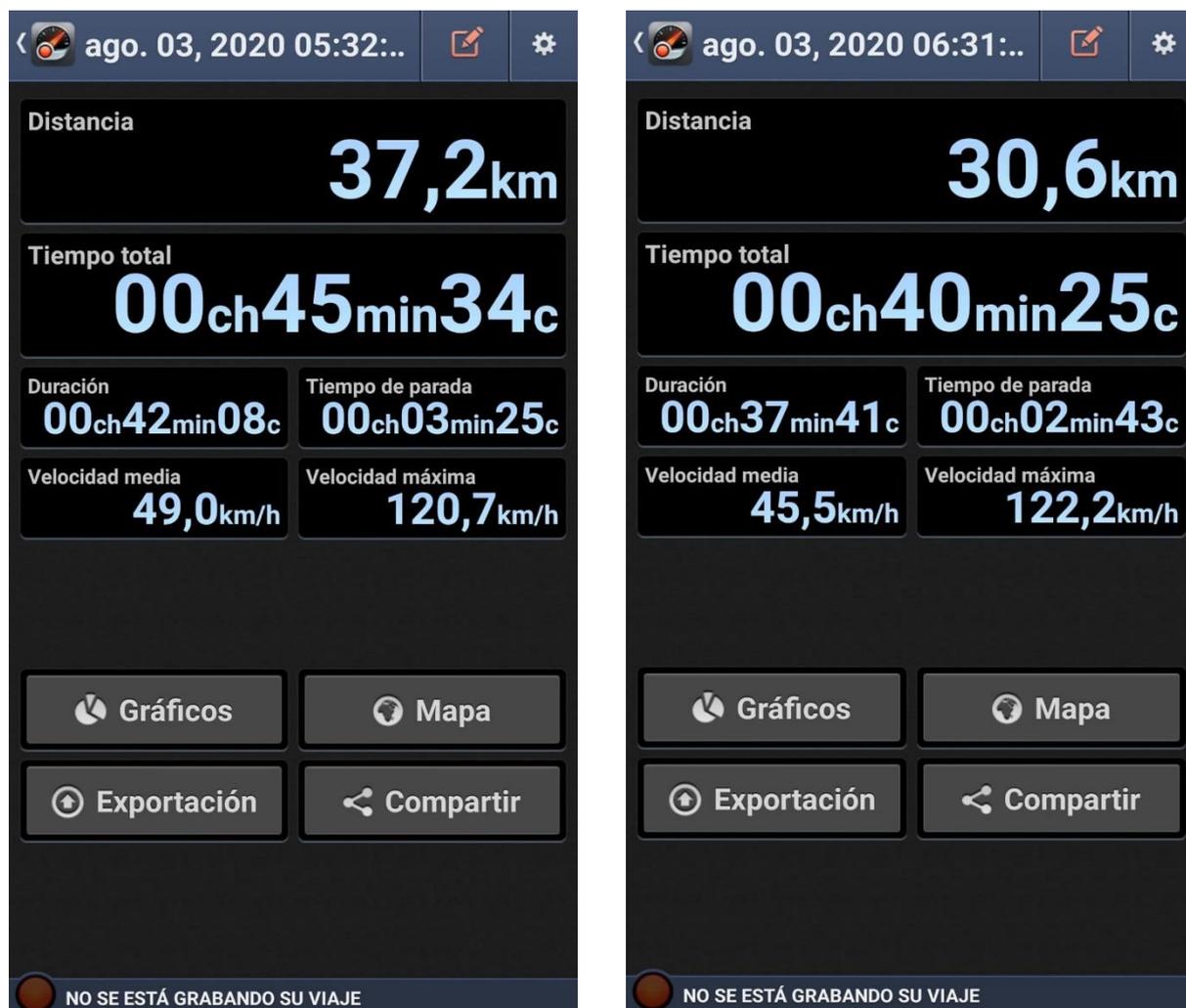
**Figura 37:** Recorrido Ruta Tenerife 1 representación “Mapa” e “Híbrido”.

**Fuente:** Speed Tracker Pro.



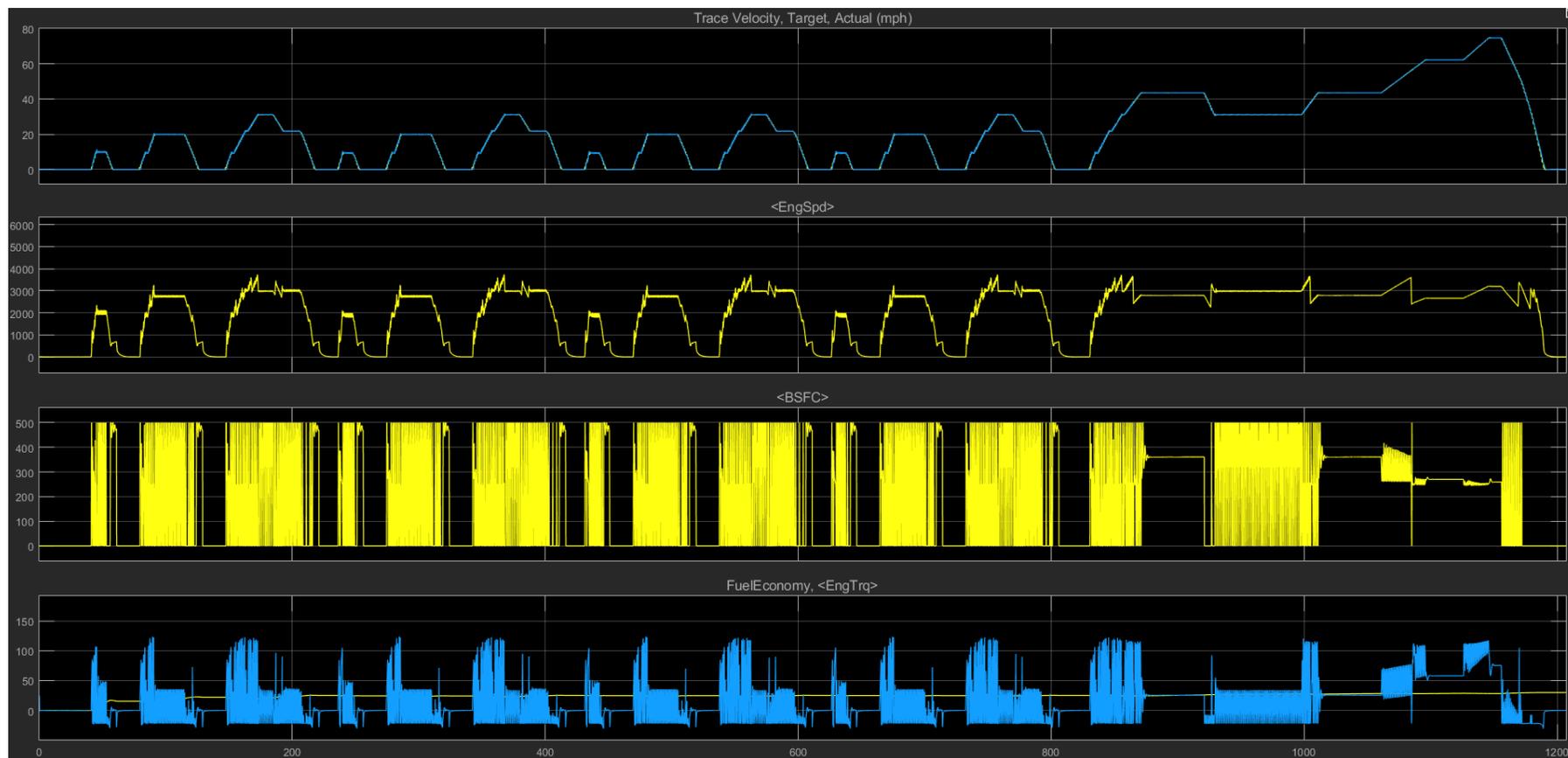
**Figura 38:** Recorrido Ruta Tenerife 2 representación “Mapa” e “Híbrido”.

**Fuente:** Speed Tracker Pro.



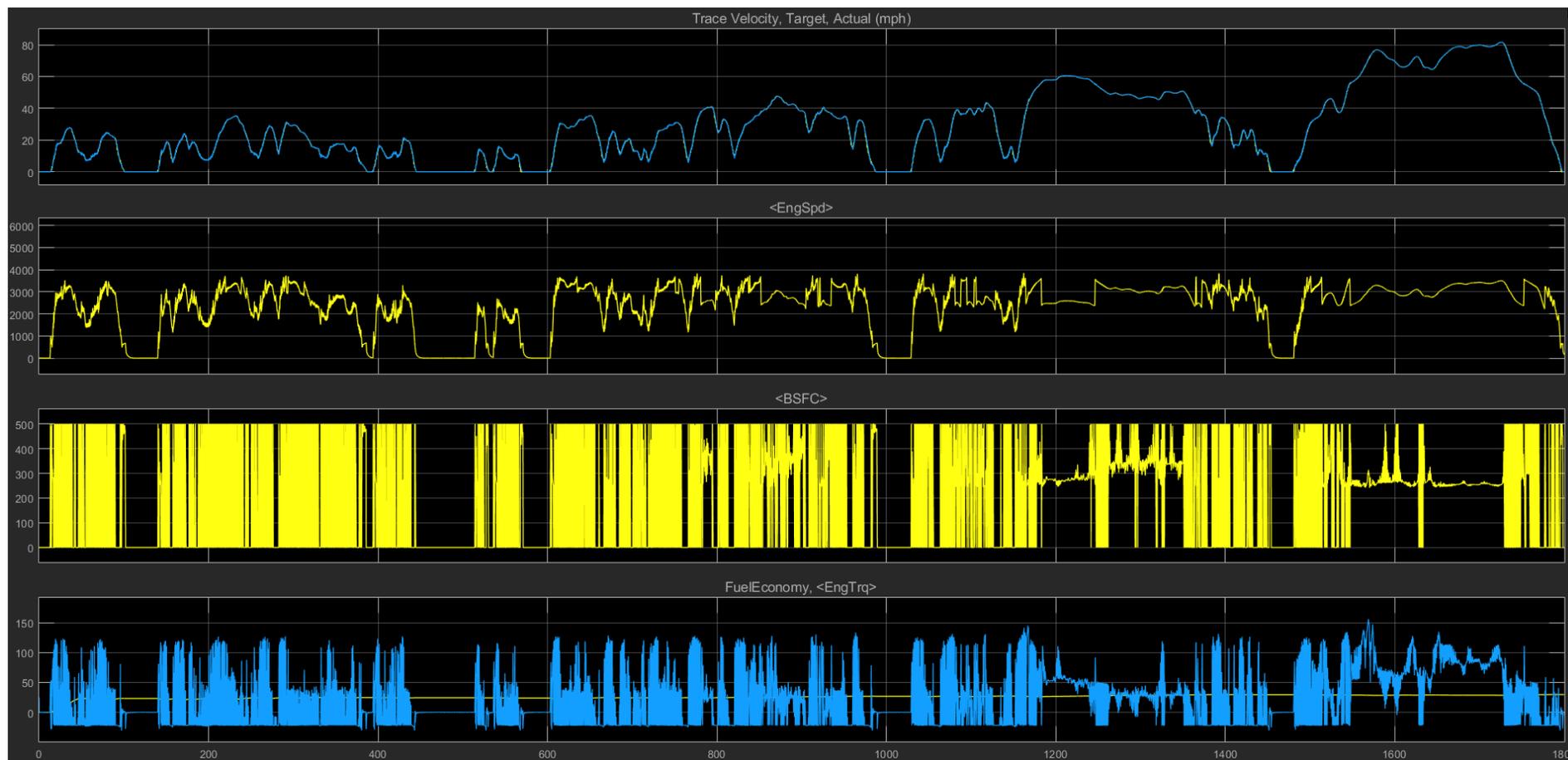
**Figura 39:** Tabla de valores Ruta Tenerife 1 y Ruta Tenerife 2.

**Fuente:** Speed Tracker Pro.



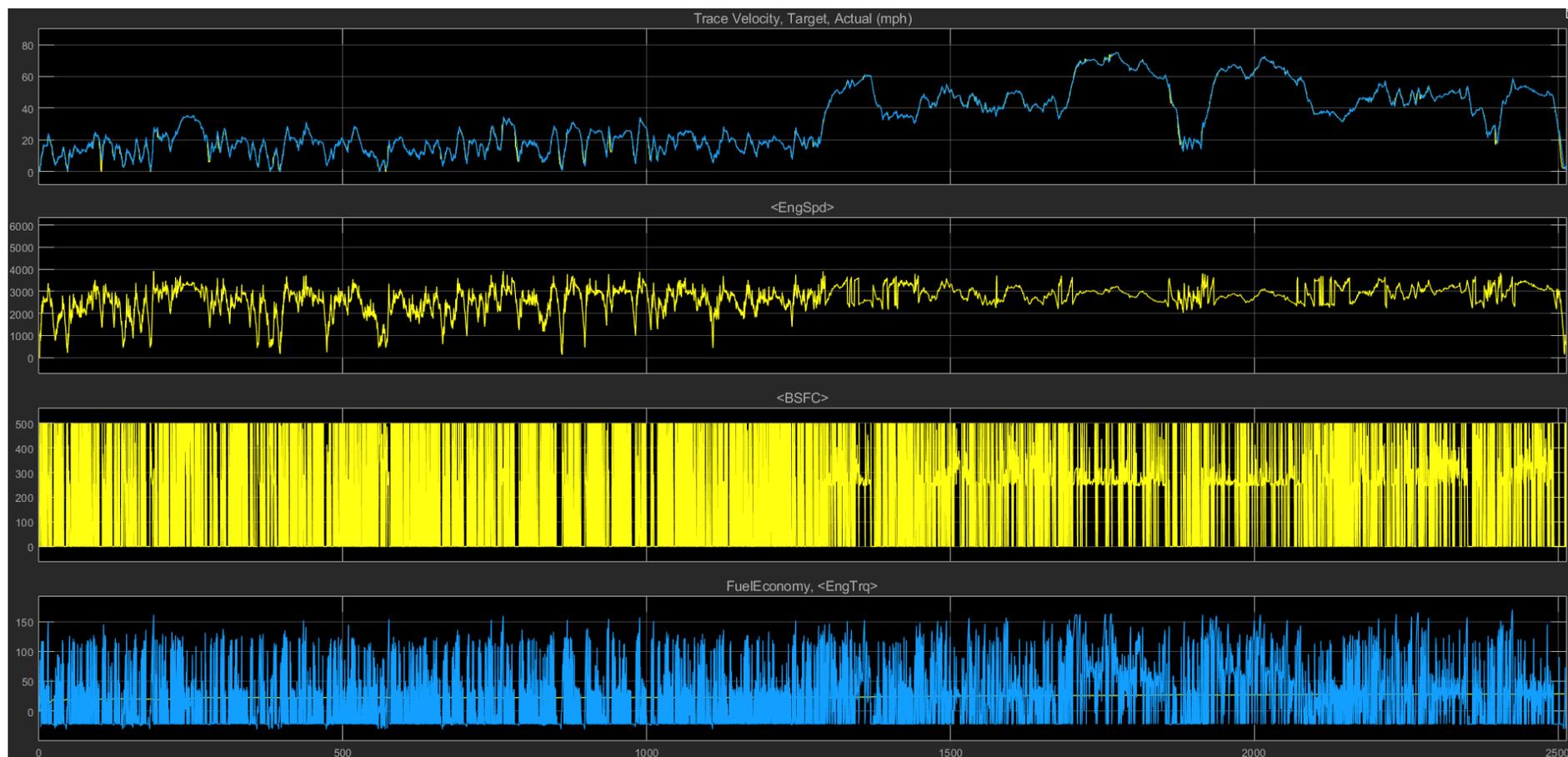
**Figura 40:** Representación gráfica de la velocidad del vehículo, régimen de giro, consumo de combustible específico y consumo de combustible frente al tiempo del ciclo NEDC.

**Fuente:** Simulación modelo de vehículo Matlab Simulink 2017b.



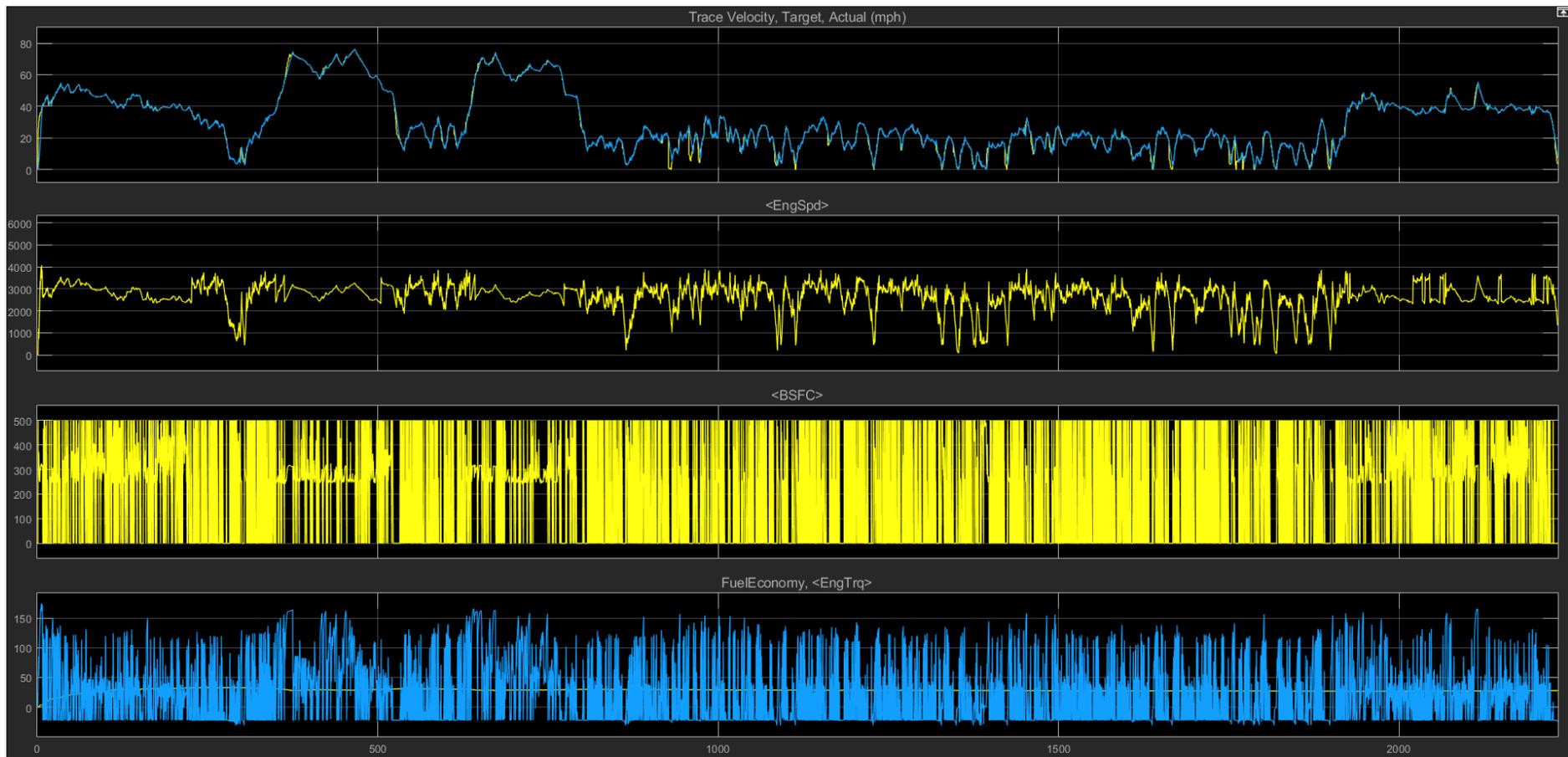
**Figura 41:** Representación gráfica de la velocidad del vehículo, régimen de giro, consumo de combustible específico y consumo de combustible frente al tiempo del ciclo WLTP.

**Fuente:** Simulación modelo de vehículo Matlab Simulink 2017b.



**Figura 42:** Representación gráfica de la velocidad del vehículo, régimen de giro, consumo de combustible específico y consumo de combustible frente al tiempo del ciclo Ruta Tenerife 1.

**Fuente:** Simulación modelo de vehículo Matlab Simulink 2017b.



**Figura 43:** Representación gráfica de la velocidad del vehículo, régimen de giro, consumo de combustible específico y consumo de combustible frente al tiempo del ciclo Ruta Tenerife 2.

**Fuente:** Simulación modelo de vehículo Matlab Simulink 2017b.

ANÁLISIS DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO EN CONDICIONES REALES DE CONDUCCIÓN EN LA ISLA DE TENERIFE  
 9.ANEXO II: RESUSLTADOS ADICIONALES DEL GPS Y DEL MODELO DE VEHÍCULO

RUTA Tenerife 1: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Date	Time	Elapsed time	Distance(km)	Speed (km/h)	Latitude	Longitude	Accuracy (meters)	Altitude
03/08/20	4:32:32	p. m. GMT+1, 00:00	0,00	5,5	28,480401	-16,318428	0,000000	602,000000
03/08/20	4:32:33	p. m. GMT+1, 00:01	0,00	6,7	28,480410	-16,318414	0,000000	601,000000
03/08/20	4:32:34	p. m. GMT+1, 00:02	0,00	15,6	28,480425	-16,318385	0,000000	601,000000
03/08/20	4:32:35	p. m. GMT+1, 00:03	0,01	15,6	28,480444	-16,318345	0,000000	601,000000
03/08/20	4:32:36	p. m. GMT+1, 00:04	0,01	18,4	28,480466	-16,318281	0,000000	600,000000
03/08/20	4:32:37	p. m. GMT+1, 00:05	0,02	23,3	28,480465	-16,318213	0,000000	596,000000
03/08/20	4:32:38	p. m. GMT+1, 00:06	0,03	26,0	28,480496	-16,318148	0,000000	597,000000
03/08/20	4:32:39	p. m. GMT+1, 00:07	0,04	26,2	28,480544	-16,318085	0,000000	596,000000
03/08/20	4:32:40	p. m. GMT+1, 00:08	0,04	25,8	28,480588	-16,318034	0,000000	597,000000
03/08/20	4:32:41	p. m. GMT+1, 00:09	0,05	25,7	28,480644	-16,317994	0,000000	597,000000
03/08/20	4:32:42	p. m. GMT+1, 00:10	0,05	26,5	28,480704	-16,317970	0,000000	596,000000
03/08/20	4:32:43	p. m. GMT+1, 00:11	0,06	26,2	28,480766	-16,317958	0,000000	596,000000
03/08/20	4:32:44	p. m. GMT+1, 00:12	0,07	26,2	28,480831	-16,317955	0,000000	596,000000
03/08/20	4:32:45	p. m. GMT+1, 00:13	0,08	35,3	28,480935	-16,317980	0,000000	597,000000
03/08/20	4:32:46	p. m. GMT+1, 00:14	0,09	35,6	28,481004	-16,318018	0,000000	596,000000
03/08/20	4:32:47	p. m. GMT+1, 00:15	0,10	35,6	28,481085	-16,318062	0,000000	596,000000
03/08/20	4:32:48	p. m. GMT+1, 00:16	0,10	30,9	28,481146	-16,318122	0,000000	594,000000
03/08/20	4:32:49	p. m. GMT+1, 00:17	0,11	30,9	28,481216	-16,318161	0,000000	594,000000
03/08/20	4:32:50	p. m. GMT+1, 00:18	0,12	27,9	28,481291	-16,318131	0,000000	593,000000
03/08/20	4:32:51	p. m. GMT+1, 00:19	0,13	27,1	28,481355	-16,318119	0,000000	594,000000
03/08/20	4:32:52	p. m. GMT+1, 00:20	0,13	23,7	28,481411	-16,318097	0,000000	594,000000
03/08/20	4:32:53	p. m. GMT+1, 00:21	0,14	16,8	28,481451	-16,318093	0,000000	594,000000
03/08/20	4:32:54	p. m. GMT+1, 00:22	0,14	13,4	28,481481	-16,318080	0,000000	594,000000
03/08/20	4:32:55	p. m. GMT+1, 00:23	0,14	12,7	28,481510	-16,318068	0,000000	594,000000
03/08/20	4:32:56	p. m. GMT+1, 00:24	0,14	9,5	28,481532	-16,318056	0,000000	594,000000
03/08/20	4:32:57	p. m. GMT+1, 00:25	0,15	7,3	28,481544	-16,318049	0,000000	594,000000
03/08/20	4:32:58	p. m. GMT+1, 00:26	0,15	8,0	28,481573	-16,318052	0,000000	594,000000
03/08/20	4:32:59	p. m. GMT+1, 00:27	0,15	9,3	28,481605	-16,318047	0,000000	594,000000
03/08/20	4:33:00	p. m. GMT+1, 00:28	0,15	9,4	28,481620	-16,318041	0,000000	594,000000
03/08/20	4:33:01	p. m. GMT+1, 00:29	0,15	11,6	28,481638	-16,318027	0,000000	594,000000
03/08/20	4:33:02	p. m. GMT+1, 00:30	0,16	13,3	28,481672	-16,318011	0,000000	594,000000
03/08/20	4:33:03	p. m. GMT+1, 00:31	0,16	13,9	28,481705	-16,317994	0,000000	594,000000
03/08/20	4:33:04	p. m. GMT+1, 00:32	0,16	14,3	28,481738	-16,317980	0,000000	594,000000
03/08/20	4:33:05	p. m. GMT+1, 00:33	0,17	14,9	28,481771	-16,317966	0,000000	594,000000
03/08/20	4:33:06	p. m. GMT+1, 00:34	0,17	14,8	28,481805	-16,317952	0,000000	594,000000
03/08/20	4:33:07	p. m. GMT+1, 00:35	0,18	15,2	28,481840	-16,317937	0,000000	594,000000
03/08/20	4:33:08	p. m. GMT+1, 00:36	0,18	15,7	28,481875	-16,317922	0,000000	594,000000
03/08/20	4:33:09	p. m. GMT+1, 00:37	0,18	19,6	28,481910	-16,317897	0,000000	593,000000
03/08/20	4:33:10	p. m. GMT+1, 00:38	0,19	23,0	28,481961	-16,317873	0,000000	593,000000
03/08/20	4:33:11	p. m. GMT+1, 00:39	0,20	23,6	28,482024	-16,317848	0,000000	593,000000
03/08/20	4:33:12	p. m. GMT+1, 00:40	0,20	20,6	28,482075	-16,317825	0,000000	594,000000

Figura 44: Captura de pantalla del archivo .txt generado por la APP GPS “Speed Tracker Pro”.

Fuente: Speed Tracker Pro.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	time s	speed m/s																
2		0	1,52777778															
3		1	1,86111111															
4		2	4,33333333															
5		3	4,33333333															
6		4	5,11111111															
7		5	6,47222222															
8		6	7,22222222															
9		7	7,27777778															
10		8	7,16666667															
11		9	7,13888889															
12		10	7,36111111															
13		11	7,27777778															
14		12	7,27777778															
15		13	9,80555556															
16		14	9,88888889															
17		15	9,88888889															
18		16	8,58333333															
19		17	8,58333333															
20		18	7,75															
21		19	7,52777778															
22		20	6,58333333															
23		21	4,66666667															
24		22	3,72222222															
25		23	3,52777778															
26		24	2,63888889															
27		25	2,02777778															
28		26	2,22222222															
29		27	2,58333333															
30		28	2,61111111															

Figura 45: Captura de pantalla del documento .xlsx para introducir en el modelo de vehículo.

Fuente: Elaboración propia

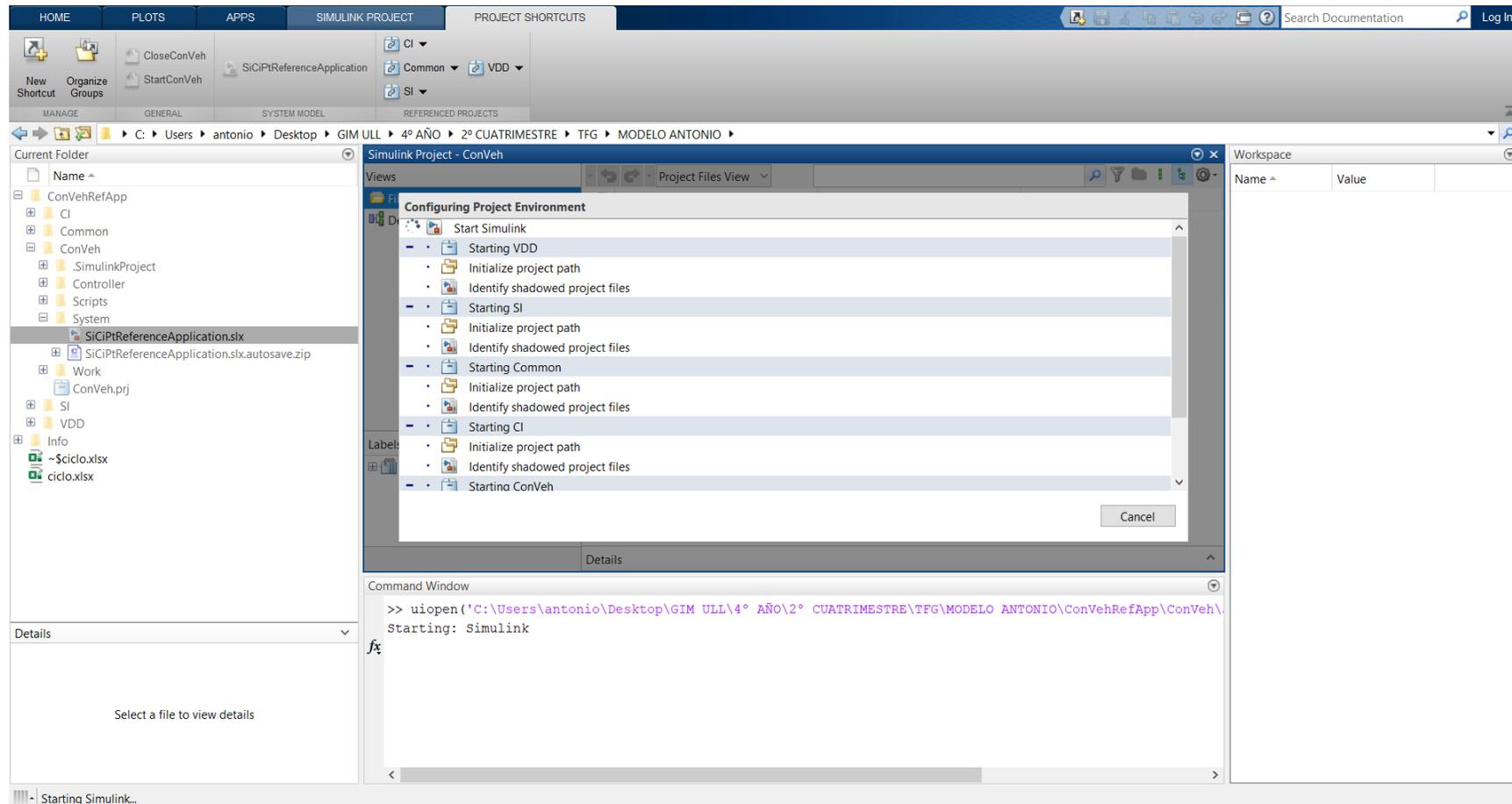
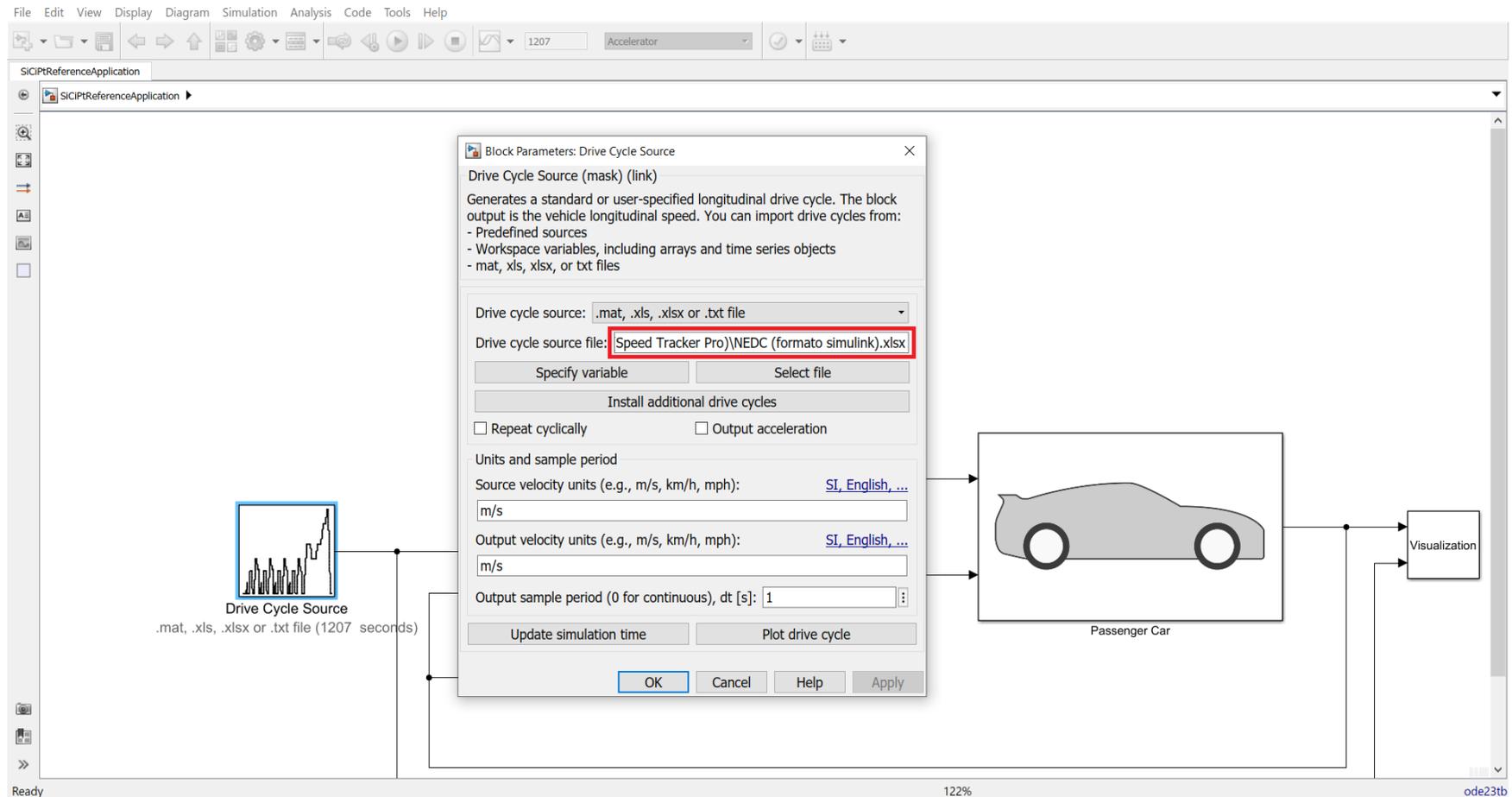


Figura 46: Captura de pantalla al ejecutar el modelo de vehículo.

Fuente: Matlab Simulink 2017b.



**Figura 47:** Captura de pantalla del cuadro del bloque *Drive Cycle Source* para la introducción del archivo .xlsx.

**Fuente:** Matlab Simulink 2017b.

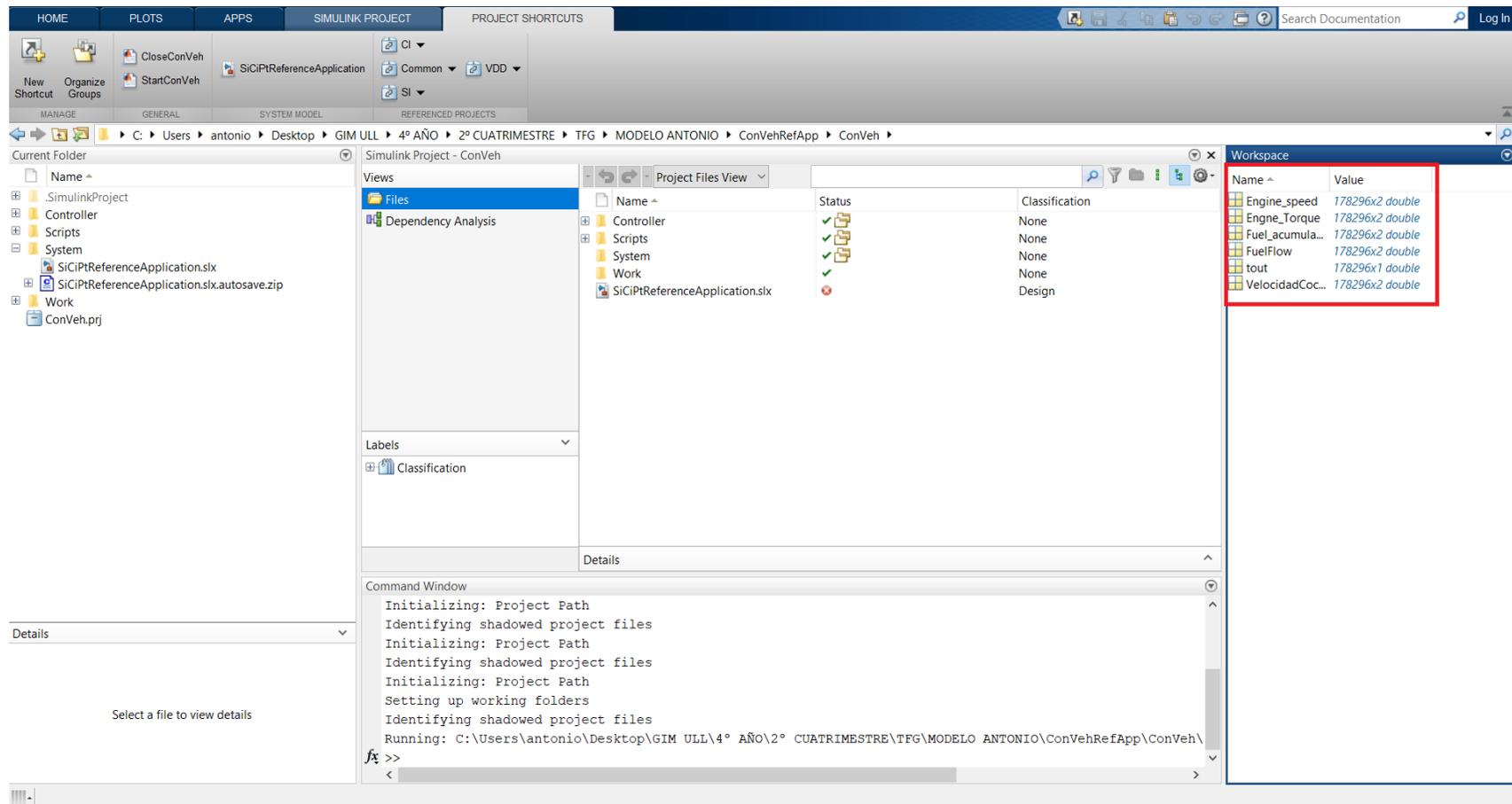


Figura 49: Captura de pantalla de los valores obtenidos a partir del modelo de vehículo.

Fuente: Matlab Simulink 2017b.