



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DEL VEHÍCULO TOYOTA  
COROLLA HÍBRIDO SEGÚN DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: JOEL ALEXANDER JUCA GUAMAN  
JONNATHAN ISMAEL ORTUÑO SAMANIEGO  
TUTOR: ING. NÉSTOR DIEGO RIVERA CAMPOVERDE, MSc.

Cuenca - Ecuador  
2023

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Joel Alexander Juca Guaman con documento de identificación N° 0105944193 y Jonnathan Ismael Ortuño Samaniego con documento de identificación N° 0107169724 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 26 de junio del 2023.

Atentamente,



---

Joel Alexander Juca Guaman

0105944193



---

Jonnathan Ismael Ortuño Samaniego

0107169724

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Joel Alexander Juca Guaman con documento de identificación N° 0105944193 y Jonnathan Ismael Ortuño Samaniego con documento de identificación N° 0107169724, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Análisis de la demanda energética del vehículo Toyota Corolla Híbrido según diferentes condiciones de manejo”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 26 de junio del 2023.

Atentamente,



---

Joel Alexander Juca Guaman

0105944193



---

Jonnathan Ismael Ortuño Samaniego

0107169724

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Néstor Diego Rivera Campoverde con documento de identificación N° 0103898995, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DEL VEHÍCULO TOYOTA COROLLA HÍBRIDO SEGÚN DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO, realizado por Joel Alexander Juca Guaman con documento de identificación N° 0105944193 y por Jonnathan Ismael Ortuño Samaniego con documento de identificación N° 0107169724, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 26 de junio del 2023.

Atentamente,



---

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, Msc.

0103898995

## **DEDICATORIA**

*El presente proyecto se lo dedico de manera muy especial a mis padres Giovanni Bueno y Martha Guaman y abuelita, Blanca Sancho, por su apoyo incondicional, tanto económico como emocional en estos 4 años de trayecto universitario, quienes creyeron en mis capacidades para completar este gran logro y siempre me motivaron a seguir adelante, dándome su confianza, sus consejos y su mano amiga para completar este logro en mi vida.*

*Con la misma importancia, dedico este proyecto a mis hermanos Dennis, Dayanna y Danna por acompañarme en este largo trayecto durante esta etapa de mi vida.*

*A su vez, a toda mi familia, por estar pendientes siempre y en cada ocasión presentada, darme ánimos y palabras de aliento para poder culminar mi carrera.*

**Joel Alexander Juca Guaman**

## **DEDICATORIA**

*El presente proyecto se lo dedico con todo mi cariño y amor a mis padres, Ángel Ortuño y Rosa Samaniego, quienes han sido el motor que me impulsa a alcanzar mis metas, quienes me han dado su inquebrantable apoyo, su paciencia, su confianza y todo el esfuerzo que han realizado por mí en todo este trayecto universitario y en mi vida.*

*De igual manera, se lo dedico a mis hermanos, quienes siempre me han apoyado y motivado a que siga adelante y no desfallezca en este duro camino que es la vida.*

*De igual manera, se lo dedico a mis sobrinos, quienes siempre han estado conmigo viendo y apoyando el esfuerzo que realizo cada día de mi vida.*

*Finalmente, a toda mi familia a mis tíos, a mis primos, quienes me han motivado a que siga adelante con mis estudios y que nunca me rinda.*

***Jonnathan Ismael Ortuño Samaniego***

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, dar gracias a Dios por dejarme culminar esta etapa universitaria y cumplir este objetivo.*

*A la Universidad Politécnica Salesiana por haberme abierto las puertas de la institución para cumplir con mis estudios universitarios.*

*A mi papá Giovanni, por apoyarme en todo este trayecto y creer en mis capacidades para culminar esta carrera y nunca dejar de estar pendiente de mí.*

*A mi mamá Martha, por su incondicional apoyo en el día a día, por sus consejos y su motivación diaria para culminar mis estudios mediante sus principios.*

*A mi abuelita Blanca que, con sus principios, en conjunto con mis padres, me incentivaron a completar de manera exitosa mi carrera universitaria y también, por sus palabras y consejos en el día a día que me motivaron a no rendirme.*

*A mis hermanos Dennis, Dayanna y Danna por acompañarme en este largo trayecto universitario.*

*De manera especial, al Sensei, el Ing. Néstor Rivera, por su tiempo, su amistad, su confianza y sus conocimientos compartidos para poder culminar este proyecto técnico con éxito.*

*A mis compañeros y amigos que me ayudaron con sus conocimientos en trabajos y tareas y por brindarme su apoyo.*

*Y a los docentes de la Universidad, por los conocimientos brindados para mi formación profesional.*

***Joel Alexander Juca Guaman***



## **AGRADECIMIENTO**

*Primeramente, a mis Padres por siempre apoyarme en las decisiones que tomo, por nunca dejarme solo y darme el abrigo que siempre necesito, por el apoyo incondicional que me han dado toda la vida, por enseñarme lo bueno y lo malo de la vida, por siempre confiar en mí, por todo esto y más les agradezco de todo corazón.*

*A todos mis amigos y personas que fui conociendo en esta etapa de mi vida, con quienes me he divertido y me han brindado su apoyo y amistad.*

*A nuestro tutor el Ing. Néstor Rivera por su asesoría y disposición, quien que con sus conocimientos y apoyo nos guio durante cada una de las etapas de este proyecto.*

***Jonnathan Ismael Ortuño Samaniego***

## RESUMEN

El presente proyecto técnico da a conocer la demanda energética del vehículo Toyota Corolla Híbrido en diferentes condiciones de manejo, como, rutas establecidas, conductor, modos de manejo del vehículo y condiciones de calzada. La finalidad se basa en el análisis de la energía consumida y el comportamiento del tren motriz híbrido en las distintas condiciones ya mencionadas. El documento presenta el proyecto con 3 fases de empleadas en la obtención de los resultados.

En primer lugar, la fase 1 se centra en la revisión e investigación bibliográfica como punto de partida del proyecto para conocer acerca de los conceptos que engloba la demanda energética de un vehículo con la finalidad de obtener resultados fiables.

En la fase 2, se procede con la obtención de los datos necesarios conocidos como parámetros de identificación (PID) en el puerto OBD-II del vehículo con el uso del escáner automotriz, posteriormente, serán analizados para la obtención de resultados. Se establecen tres rutas para la recolección de datos, la primera ruta se establece en la función de la extensión RDE de la EURO 6, una segunda ruta con parámetros aleatorios y la tercera ruta con parámetros aleatorios y otro conductor.

Finalmente, en la fase 3, se realiza el procesamiento de datos en el software de ingeniería para la obtención de resultados gráficos que denoten la demanda energética del vehículo Toyota Corolla Híbrido y el comportamiento de sus componentes según las diferentes condiciones de manejo para emitir una conclusión basada en la comparación de los resultados de las rutas establecidas. Finalmente, exponen las conclusiones del proyecto para resumir los principales hallazgos y resultados obtenidos.

***Palabras Claves:*** *Demanda Energética, Energía, Escáner.*

## ABSTRACT

This technical project reports the energy demand of the Toyota Corolla Hybrid vehicle under different driving conditions, such as, established routes, driver, vehicle driving modes and road conditions. The purpose is based on the analysis of the energy consumed and the behavior of the hybrid powertrain in the different conditions already mentioned. The document presents the project with 3 phases used to obtain the results.

First, phase 1 focuses on the literature review and research as the starting point of the project to learn about the concepts that encompass the energy demand of a vehicle to obtain reliable results.

In phase 2, we proceed with the collection of the necessary data known as identification parameters (PID) in the OBD-II port of the vehicle with the use of the automotive scanner, subsequently, they will be analyzed to obtain results. Three routes are established for data collection, the first route is established in the EURO 6 RDE extension function, a second route with random parameters and the third route with random parameters and another driver.

Finally, in phase 3, data processing is performed in the engineering software to obtain graphical results that denote the energy demand of the Toyota Corolla Hybrid vehicle and the behavior of its components according to the different driving conditions to issue a conclusion based on the comparison of the results of the established routes. Finally, they expose the conclusions of the project to summarize the main findings and results obtained.

**Keywords:** Energy Demand, Energy, Scanner.

## ÍNDICE GENERAL

<i>DEDICATORIA</i> .....	<i>V</i>
<i>DEDICATORIA</i> .....	<i>VI</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	<i>VII</i>
<i>RESUMEN</i> .....	<i>X</i>
<i>ABSTRACT</i> .....	<i>1</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	<i>11</i>
<i>PROBLEMA</i> .....	<i>12</i>
Antecedentes.....	<i>12</i>
Importancia y Alcances.....	<i>13</i>
Delimitación.....	<i>13</i>
<i>OBJETIVOS</i> .....	<i>15</i>
Objetivo General.....	<i>15</i>
Objetivos Específicos.....	<i>15</i>
<i>1. CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL Y ESTADO DEL ARTE</i>	<i>16</i>
1.1. Marco teórico referencial.....	<i>16</i>
1.1.1. Señales PID's.....	<i>16</i>
1.1.2. OBDLink MX.....	<i>16</i>
1.1.3. Vehículos híbridos.....	<i>17</i>
1.1.4. Vehículo híbrido mixto.....	<i>18</i>
1.1.4.1. Freno regenerativo.....	<i>19</i>
1.1.4.2. Baterías de alto voltaje.....	<i>20</i>
1.1.4.2.1. Batería níquel – metal hidruro.....	<i>21</i>

1.1.5. ISO 15765-4 .....	22
1.1.6. Euro 6 RDE 1154 .....	23
1.1.7. Combustibles en Ecuador.....	24
1.1.7.1. Propiedades de combustibles de los vehículos híbridos.....	24
1.1.8. Condiciones de manejo .....	26
1.1.8.1. Zona demográfica .....	26
1.1.8.2. Conductor designado .....	27
1.1.9. Vehículo Toyota Corolla Híbrido .....	27
1.1.9.1. Especificaciones del vehículo Toyota Corolla Híbrido .....	28
1.2. Estado del arte.....	29
<b>2. <i>CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS DEL VEHÍCULO TOYOTA COROLLA HÍBRIDO POR MEDIO DEL PUERTO OBD II CON EL USO DE SEÑALES PID'S</i></b> .....	<b>39</b>
2.1. Condiciones previo a la obtención de datos .....	39
2.1.1. Variables de entrada.....	40
2.1.2. Variables de ruido.....	41
2.1.3. Variables de bloqueo.....	41
2.1.4. Variables de salida .....	42
2.1.5. Rutas planteadas para la obtención de datos .....	42
2.1.6. Proceso del diseño experimental.....	45
2.2. Plataformas para la obtención y análisis de datos .....	46
2.2.1. APP OBDLink.....	46
2.2.2. Software de ingeniería Matlab.....	47

2.2.3. KANE LIVE .....	47
2.3. Identificación de datos del vehículo híbrido .....	47
2.3.1. Señales PID's recolectadas para el análisis de la demanda energética	48
2.4. Métodos estadísticos para el análisis de datos .....	69
2.4.1. Correlación .....	69
2.4.2. Random Forest .....	70
2.5. Dinámica del automóvil .....	71
<b>3. CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DEL VEHÍCULO</b>	
<b><i>TOYOTA COROLLA HÍBRIDO</i></b> .....	<b>74</b>
3.1. Ruta número 1: ruta basada en RDE.....	74
3.1.1. Parámetros de la batería en la ruta establecida .....	74
3.1.1.1. Estado de carga de la batería .....	74
3.1.2. Fuerzas actuantes en el vehículo.....	75
3.1.2.1. Fuerza aerodinámica .....	76
3.1.2.2. Fuerza de resistencia a la pendiente .....	77
3.1.2.3. Fuerza de resistencia a la rodadura .....	78
3.1.2.4. Fuerza de resistencia a la inercia.....	79
3.1.2.5. Fuerza tractora.....	80
3.1.2.6. Torque en la rueda.....	81
3.1.3. Parámetros de la demanda energética del vehículo híbrido .....	82
3.1.3.1. Potencia del motor eléctrico.....	82
3.1.3.2. Potencia del motor de combustión interna .....	83
3.1.3.3. Potencia del tren motriz híbrido.....	84

3.1.3.4.	Energía consumida del Toyota Corolla Híbrido .....	85
3.1.3.5.	Estado de carga vs estado de salud de la batería de alta tensión..	86
3.1.3.6.	Correlación de variables.....	87
3.2.	Ruta número 2: ruta aleatoria .....	89
3.2.1.	Estado de carga de la batería.....	89
3.2.2.	Fuerzas actuantes en el vehículo.....	90
3.2.2.1.	Fuerza aerodinámica .....	90
3.2.2.2.	Fuerza de resistencia a la pendiente.....	91
3.2.2.3.	Resistencia a la rodadura .....	92
3.2.2.4.	Resistencia a la inercia.....	93
3.2.2.5.	Fuerza tractora del vehículo .....	94
3.2.2.6.	Torque en la rueda.....	95
3.2.3.	Parámetros de la demanda energética del vehículo híbrido .....	96
3.2.3.1.	Potencia del motor eléctrico.....	96
3.2.3.2.	Potencia del motor de combustión interna .....	97
3.2.3.3.	Potencia del tren motriz híbrido.....	98
3.2.3.4.	Energía consumida del Toyota Corolla Híbrido .....	99
3.2.3.5.	Estado de Carga vs Estado de Salud.....	100
3.2.3.6.	Correlación de variables.....	101
3.3.	Ruta número 3: ruta aleatoria y segundo conductor .....	103
3.3.1.	Estado de carga de la batería.....	103
3.3.2.	Fuerzas que se oponen al movimiento.....	104
3.3.2.1.	Fuerza de resistencia aerodinámica .....	104

3.3.2.2.	Resistencia a la pendiente.....	105
3.3.2.3.	Resistencia a la rodadura .....	106
3.3.2.4.	Resistencia a la inercia.....	107
3.3.2.5.	Fuerza tractora del vehículo en la ruta 3.....	108
3.3.2.6.	Torque en la rueda.....	109
3.3.3.	Parámetros de la demanda energética del vehículo híbrido .....	110
3.3.3.1.	Potencia del motor eléctrico.....	110
3.3.3.2.	Potencia del motor térmico .....	111
3.3.3.3.	Potencia del tren motriz híbrido.....	112
3.3.3.4.	Energía consumida del vehículo Toyota Corolla Híbrido en la ruta 3	
	113	
3.3.3.5.	Estado de carga vs. Estado de salud de la batería de alta tensión	114
3.3.3.6.	Correlación de variables de la ruta 3 .....	115
3.4.	Consumos de combustible en g/s, de las tres rutas .....	117
	<i>CONCLUSIONES</i> .....	119
	<i>RECOMENDACIONES</i> .....	122
	<i>BIBLIOGRAFÍA</i> .....	123
	<i>ANEXOS</i> .....	127



## Tabla de Figuras.

<b>Figura 1.</b> Delimitación geográfica del proyecto. ....	14
<b>Figura 2.</b> OBDLink MX.....	17
<b>Figura 3.</b> Configuración Serie-Paralelo. ....	19
<b>Figura 4.</b> Freno regenerativo.....	20
<b>Figura 5.</b> Batería Ni-MH.....	21
<b>Figura 6.</b> Transmisión de datos.....	22
<b>Figura 7.</b> Zona demográfica de Cuenca. ....	27
<b>Figura 8.</b> Toyota Corolla Hybrid 2022. ....	28
<b>Figura 9.</b> Factores de inferencia.....	40
<b>Figura 10.</b> Primera ruta. ....	43
<b>Figura 11.</b> Segunda ruta. ....	44
<b>Figura 12.</b> Tercera ruta.....	45
<b>Figura 13.</b> Diagrama de flujo.....	46
<b>Figura 14.</b> Variable velocidad del vehiculo. ....	50
<b>Figura 15.</b> Variable valor de carga calculada. ....	51
<b>Figura 16.</b> Variable temperatura del refrigerante del motor. ....	52
<b>Figura 17.</b> Variable revolicion por minuto del motor.....	53
<b>Figura 18.</b> Variable temperatura del aire de admision.....	54
<b>Figura 19.</b> Variable flujo másico del aire. ....	55
<b>Figura 20.</b> Variable posicion absoluta de la mariposa de aceleracion. ....	56
<b>Figura 21.</b> Variable valor de carga abosluta. ....	57
<b>Figura 22.</b> Variable vida util restante de la bateria.....	58
<b>Figura 23.</b> Variable motor real - porcentaje de par.....	59

<b>Figura 24.</b> Variable par de referencia del motor. ....	60
<b>Figura 25.</b> Variable voltaje del sistema de batería híbrido/EV. ....	61
<b>Figura 26.</b> Variable corriente del sistema de batería híbrido/EV. ....	62
<b>Figura 27.</b> Variable velocidad del GPS. ....	63
<b>Figura 28.</b> Variable economía del combustible instantanea. ....	64
<b>Figura 29.</b> Variable economía total del combustible. ....	65
<b>Figura 30.</b> Variable velocidad de combustible. ....	66
<b>Figura 31.</b> Variable tasa de combustible del motor. ....	67
<b>Figura 32.</b> Variable tasa de combustible del vehiculo. ....	68
<b>Figura 33.</b> Variable relacion de equivalencia comandada por aire/combustible. ....	69
<b>Figura 34.</b> Random Forest. ....	71
<b>Figura 35.</b> Fuerzas opositorias al movimiento del vehiculo. ....	71
<b>Figura 36.</b> Estado de carga de la batería en la ruta RDE. ....	75
<b>Figura 37.</b> Fuerza de resistencia aerodinámica en ruta RDE. ....	77
<b>Figura 38.</b> Fuerza de resistencia a la pendiente de ruta RDE. ....	78
<b>Figura 39.</b> Fuerza de resistencia a la rodadura de ruta RDE. ....	79
<b>Figura 40.</b> Fuerza de resistencia a la inercia de ruta RDE. ....	80
<b>Figura 41.</b> Fuerza de tracción del vehículo en ruta RDE. ....	81
<b>Figura 42.</b> Torque del tren motriz híbrido del vehículo en ruta RDE. ....	82
<b>Figura 43.</b> Potencia del motor eléctrico en ruta RDE. ....	83
<b>Figura 44.</b> Potencia del motor de combustión interna en ruta RDE. ....	84
<b>Figura 45.</b> Potencia del tren motriz híbrido en ruta RDE. ....	85
<b>Figura 46.</b> Energía consumida por el vehículo en ruta RDE. ....	86

<b>Figura 47.</b> Estado de carga vs. estado de salud de la batería de alta tensión. ....	87
<b>Figura 48.</b> Correlación de variables en ruta RDE. ....	88
<b>Figura 49.</b> Estado de carga de la batería en ruta 2. ....	90
<b>Figura 50.</b> Fuerza de resistencia aerodinámica de ruta 2. ....	91
<b>Figura 51.</b> Fuerza de resistencia a la pendiente de ruta 2. ....	92
<b>Figura 52.</b> Resistencia a la rodadura de ruta 2. ....	93
<b>Figura 53.</b> Resistencia a la inercia de ruta 2. ....	94
<b>Figura 54.</b> Fuerza de tracción del vehículo en ruta 2. ....	95
<b>Figura 55.</b> Torque del tren motriz híbrido en ruta 2. ....	96
<b>Figura 56.</b> Potencia del motor eléctrico en ruta 2. ....	97
<b>Figura 57.</b> Potencia del motor de combustión interna en ruta 2. ....	98
<b>Figura 58.</b> Potencia del tren motriz híbrido en ruta 2. ....	99
<b>Figura 59.</b> Energía consumida en la ruta 2. ....	100
<b>Figura 60.</b> Estado de carga vs. Estado de salud de la batería de alta tensión. ....	101
<b>Figura 61.</b> Correlación de variables de ruta 2. ....	102
<b>Figura 62.</b> Estado de carga de la batería en ruta 3. ....	104
<b>Figura 63.</b> Fuerza de resistencia aerodinámica de ruta 3. ....	105
<b>Figura 64.</b> Resistencia a la pendiente de ruta 3. ....	106
<b>Figura 65.</b> Resistencia a la rodadura de ruta 3. ....	107
<b>Figura 66.</b> Resistencia a la inercia de ruta 3. ....	108
<b>Figura 67.</b> Fuerza de tracción del vehículo en ruta 3. ....	109
<b>Figura 68.</b> Torque del tren motriz híbrido en ruta 3. ....	110
<b>Figura 69.</b> Potencia del motor eléctrico de ruta 3. ....	111

<b>Figura 70.</b> Potencia del motor de combustión interna de ruta 3. ....	112
<b>Figura 71.</b> Potencia del tren motriz híbrido de ruta 3. ....	113
<b>Figura 72.</b> Energía consumida del vehículo en ruta 3.....	114
<b>Figura 73.</b> Estado de carga vs. Estado de salud de ruta 3.....	115
<b>Figura 74.</b> Correlación de variables en ruta 3.....	116
<b>Figura 75.</b> Consumo de combustible en tres rutas establecidas.....	118

## INTRODUCCIÓN

Dentro del marco de los últimos años, en el parque automotor del mundo, con el objetivo de reducir el impacto ambiental que provocan los vehículos al medio ambiente, se opta por adquirir nuevas tecnologías para el cumplimiento de este objetivo. De esta manera, han surgido como opciones los vehículos híbridos y eléctricos que buscan reducir notablemente las emisiones contaminantes y mejorar la eficiencia del consumo energético provocado por cada fuente de alimentación de acuerdo con las prestaciones requeridas por zonas demográficas o por un conductor.

En este contexto, el análisis de la demanda energética de un vehículo híbrido se ha vuelto un tema de interés para varios investigadores, con el fin de buscar explotar al máximo esta tecnología y aprovechar en su mayor porcentaje el trabajo generado por los dos motores que componen un tren motriz híbrido, es decir, el trabajo en conjunto de un motor eléctrico y un motor de combustión interna. A su vez, es tema de interés para fabricantes de vehículos que se centran en ámbitos económicos. El análisis de la demanda energética conlleva comprender la distribución y uso de energía del vehículo para optimizar diseños y maximizar la eficiencia de su trabajo.

El presente proyecto conlleva el analizar los parámetros de la demanda energética, partiendo desde una investigación teórica y recopilación de datos experimentales en diferentes eventos de conducción que consideran los siguientes parámetros: zona demográfica, conductor designado, condiciones ambientales y requerimiento de distintas prestaciones. Finalmente, el estudio presenta los factores más influyentes que servirán para optimizar y mejorar el rendimiento del vehículo híbrido y la maximización del sistema del tren motriz híbrido.

## **PROBLEMA**

El mercado automotriz amplía la venta de automotores con el comercio de los vehículos híbridos, los últimos años se ha incrementado la venta de estos vehículos, con un total de 1415 unidades vendidas en 2019, 1148 en 2020, 4269 en 2021 y 6367 de enero a noviembre de 2022. (AEADE, 2022). El motor eléctrico del automóvil híbrido asiste en condiciones de manejo moderadas, donde la batería cumplirá su rol de cargar y descargar conforme a condiciones y prestaciones requeridas, esto disminuye el consumo de combustible, contaminación y su tracción depende del motor eléctrico. (Zykov, 2004). Conocer el estado de la batería de un vehículo híbrido brinda información de la batería en valores porcentuales y energéticos. (Moyano, Pantoja, 2019). En un vehículo híbrido, se desconoce la información del sistema de batería de alto voltaje, por lo que, la toma de decisiones acerca de su sistema de alimentación se vuelve complejo en el marco de investigaciones, diagnósticos y soluciones para una batería. (Jerez, Ayala, Puente, 2018). Además, se debe tomar en cuenta condiciones como: geografía de la ciudad de Cuenca, calidad del combustible como condiciones que influyen en el estado de carga de la batería.

### **Antecedentes**

La evolución de la tecnología en el campo automotriz ha permitido el desarrollo de vehículos híbridos como una alternativa para reducir el consumo de combustibles a base petróleo y disminuir las emisiones de gases contaminantes. Este tipo de vehículos se caracterizan por tener una combinación de motor térmico y motor eléctrico, lo que permite una mayor confortabilidad y reducción de emisiones, aumentando su eficiencia en el consumo de energía (Šarkan et al., 2019).

Es fundamental comprender y evaluar el rendimiento energético de los vehículos híbridos ya que está es una de las variables que influyen directamente en la autonomía de estos vehículos. Por lo tanto, es importante realizar un análisis de la demanda energética de estos en diferentes

situaciones de manejo con el objetivo de tener resultados reales, puesto que toman en cuenta la zona demográfica de donde se realice el estudio (Shankar & Marco, 2013).

### **Importancia y Alcances**

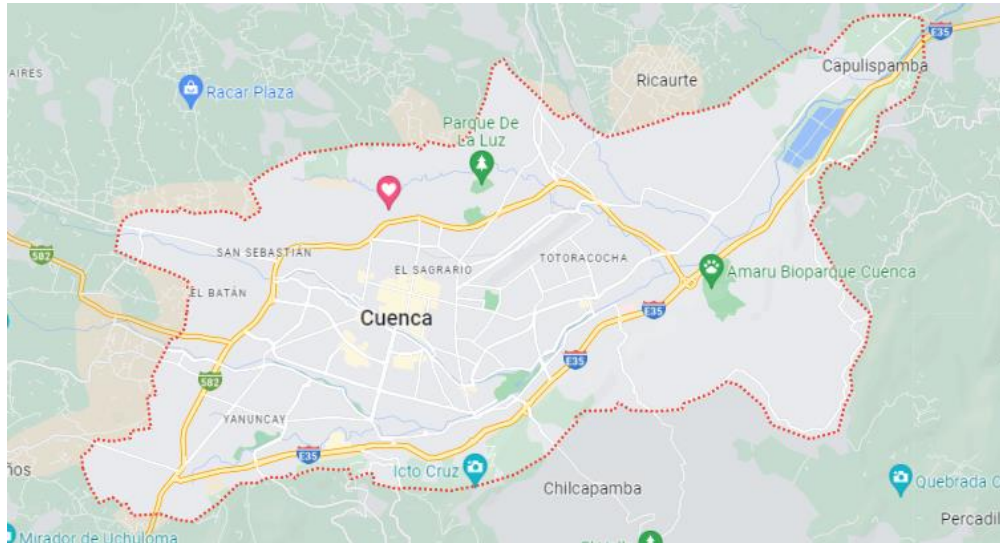
Con el incremento de la demanda de vehículos híbridos es importante realizar estudios con la finalidad de tener más conocimientos acerca de estos, por lo que, este proyecto basa su objetivo en un beneficio social, empleando un análisis del consumo energético de un vehículo híbrido en diferentes condiciones de manejo y zonas demográficas de la ciudad de Cuenca. Con este proyecto se adquirirá conocimientos acerca del consumo energético, con el cual se podrá realizar futuros estudios que contribuyan a la movilidad sostenible, cómo emisiones contaminantes y eficiencia del vehículo híbrido. Además, aporta con conocimientos acerca de este tipo de vehículos a la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana.

### **Delimitación**

El proyecto se desarrollará en su totalidad, en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, que se encuentra ubicada al sur del Ecuador, ciudad que posee una altitud de 2500 m.s.n.m y una extensión  $70.59 \text{ km}^2$  con una población de aproximadamente de 810000 habitantes.

**Figura 1.**

*Delimitación geográfica del proyecto.*



**Fuente:** (Google maps, 2023)



## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Analizar la demanda energética de un vehículo híbrido según diferentes condiciones de manejo mediante la utilización de señales PID's.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar el estudio del estado del arte del consumo energético de los vehículos híbridos por medio de investigaciones bibliográficas para la obtención de datos de estudio.
- Obtener datos mediante el puerto OBD II con el uso de señales PID's a través de diferentes rutas establecidas en el cantón Cuenca.
- Analizar los datos adquiridos y resultados obtenidos por medio de métodos gráficos mediante el software de ingeniería para la identificación la demanda energética del vehículo híbrido.

# **1. CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL Y ESTADO DEL ARTE**

## **1.1. Marco teórico referencial**

### **1.1.1. Señales PID's**

Las señales PID's son datos que se encuentran en la ECU, debido a que este se encarga de recolectar en tiempo real los valores analógicos o digitales que los sensores tienen como salida y entrada. Los PID's tienen como función informar a la ECU el estado de funcionamiento del vehículo a través de las diferentes señales que este pueda recibir. En el sistema OBD se encuentran diversos modos en los que se pueden cumplir diferentes funciones, siendo el modo 01 utilizado para la recolección de datos en tiempo real. Estos modos se encuentran estandarizados por la SAE J1979 donde define cada uno de los PID's (Simbaña, 2015).

### **1.1.2. OBDLink MX**

Este componente es utilizado para la recolección de datos para vehículos que cuenten con el protocolo de comunicación soportados por el OBDLink MX, siendo su función principal comunicarse con las unidades de control y recolectar datos del vehículo mediante las señales PID's. La comunicación del componente y las unidades de control se da a través del puerto DLC que posee la mayoría de los vehículos actuales. A más de ello, cuenta con comunicación con las unidades de control en base al protocolo MS-CAN, SW-CAN y todos los protocolos de OBD-II estandarizados. El algoritmo interno patentado hace que OBDLink MX posea una conexión directa mediante Bluetooth a un sistema para su posterior escaneo. Además, este equipo tiene la capacidad de enviar datos en tiempo real a un sistema Android, Apple iOS y Windows (OBDLink, 2014).

*Figura 2.*  
*OBDLink MX.*



*Fuente: (OCTech, 2023)*

### **1.1.3. Vehículos híbridos**

Los vehículos híbridos están compuestos por un motor de combustión interna y puede contar con uno o con varios motores eléctricos, debido a esta característica este tipo de vehículo puede tener diferentes configuraciones. Este tipo de vehículos al tener un motor de combustión interna y un motor eléctrico pueden llegar a generar más potencia que vehículos convencionales, estos pueden trabajar en conjunto o a su vez pueden trabajar independientemente según lo requiera el vehículo. El vehículo híbrido es eficiente puesto que tiene diversas maneras de cargar las baterías que alimentan al motor eléctrico, pueden recargarse mediante la frenada regenerativa o directamente con el motor de combustión interna (Caramillo, 2016).

Los vehículos híbridos presentan diferentes configuraciones las cuales se diferencian en la eficiencia y la autonomía entregada, dentro de las configuraciones se tiene:

- Vehículo híbrido paralelo
- Vehículo híbrido serie

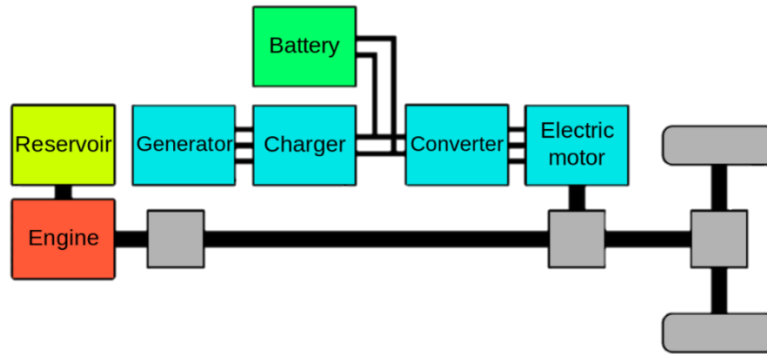
- Vehículo híbrido mixto
- Vehículo híbrido complejo

#### **1.1.4. Vehículo híbrido mixto**

Los vehículos híbridos mixtos o serie-paralelo dentro de su configuración cuentan con un motor de combustión interna, un motor generador (MG1) y un motor eléctrico (MG2). La disposición del motor generador (MG1) se encuentra conectado con el motor de combustión a través de un tren epicicloidal, mientras que el motor eléctrico (MG2) se encuentra conectado al eje de transmisión (Yang et al., 2020). Este tipo de vehículos son denominados híbridos completos, puesto que, el vehículo puede ser impulsado en modo de tracción eléctrico, modo de tracción solo motor y modo de tracción híbrido, al tener estos diferentes modos se considera a esta configuración más eficiente en comparación con los otros tipos de configuraciones pueden llegar a tener los vehículos híbridos, estos vehículos poseen un sistema de recuperación de energía conocido como freno regenerativo, este sistema entra en funcionamiento cuando el vehículo desacelera o frena lo que ocasiona que el consumo de combustible sea menor en comparación a un vehículo convencional, en la figura 3 se presenta la configuración serie-paralelo (Calispa & García, 2022). Las ventajas que se presentan en los vehículos híbridos serie-paralelo es la flexibilidad y funcionalidad en el accionamiento del tren propulsor (Stachura, 2011).

Figura 3.

Configuración Serie-Paralelo.



Fuente: (Calispa & García, 2022)

Los vehículos híbridos independientemente del tipo de configuración que se tenga pueden llegar a tener ciertas ventajas y desventajas las cuales se presentan en la tabla 1 (López, 2018).

Tabla 1

Ventajas y desventajas de los vehículos híbridos

Ventajas	Desventajas
Recuperación de energía con la ayuda del sistema de freno regenerativo	Mayor peso debido al sistema de batería de alta tensión y la implementación de los motores eléctricos
El motor de combustión presenta mayor potencia debido al ciclo Atkinson	Mayor costo de mantenimiento
Menor consumo de combustible	Costos más elevados por vehículo
Menor emisiones de CO2 generadas	Generan emisiones al momento de utilizar el motor de combustión interna

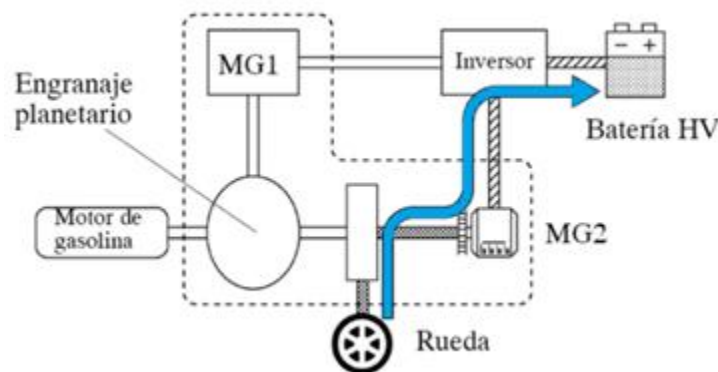
#### 1.1.4.1. Freno regenerativo

Los vehículos híbridos cuenta con un sistema de recuperación de energía el cual aprovecha la energía cinética a la que se encuentra sometido el vehículo para transformar en energía eléctrica, se logra generar energía eléctrica debido a que el motor eléctrico actúa como generador teniendo un giro opuesto del rotor, al generarse la energía eléctrica es enviada al inversor para que convierta

la corriente alterna a corriente continua y pueda ser almacenada en el paquete de batería (Calispa & García, 2022). Siendo este el funcionamiento del sistema de freno regenerativo tiene como beneficios la reducción del consumo de combustible en un 10 y 25%, con la implementación del sistema de recuperación se reduce el desgaste de los elementos de fricción del sistema de frenos, permite dar una mayor autonomía al vehículo al momento de recargar el paquete de batería (KIA, 2022), en la figura 4 se muestra el sistema de freno regenerativo.

**Figura 4.**

*Freno regenerativo.*



*Fuente: (Abad, 2017)*

#### **1.1.4.2. Baterías de alto voltaje**

Las baterías de alto voltaje de los vehículos híbridos es uno de los componentes más importantes dentro del mismo, puesto que estas son las encargadas de almacenar la carga generada por el motor de combustión interna y el generador. Además, estas baterías tienen como función suministrar tensión al inversor para que este pueda alimentar al generador y al motor eléctrico, logrando así cumplir con los diferentes modos de funcionamiento que se puede dar en el vehículo. La tensión nominal que la batería de alto voltaje puede llegar a tener es de 201.6 V, esta tensión que es almacenada por la batería es producto de la frenada regenerativa y la carga que puede llegar a dar el motor de combustión y el generador (Iza & Pozo, 2017).

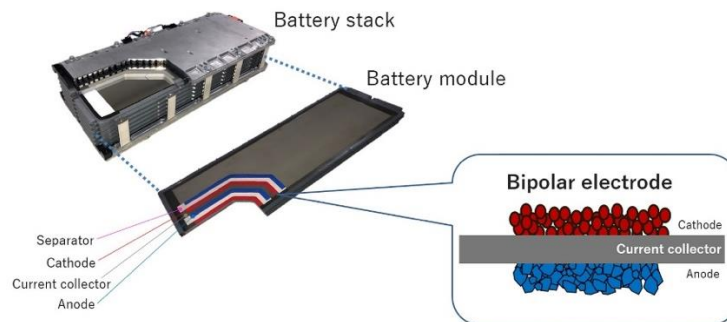
### 1.1.4.2.1. Batería níquel – metal hidruro

La tecnología de las baterías y las diferentes prestaciones que emiten a los usuarios, como, voltaje de alimentación, amperaje y capacidad, dependen del tipo de material que se haya empleado en la batería. Uno de los modelos más eficientes en las últimas implementaciones de los vehículos híbridos son la batería de níquel – metal hidruro (Ni-MH). Son utilizadas esencialmente en vehículos híbridos presentando ventajas como la densidad de energía, construcción robusta, una estabilidad del ciclo en descarga más profunda que las baterías de ion litio, mayor tolerancia al abuso de prestaciones y una construcción que representa un mayor respeto por el medio ambiente. (Chang et al., 2017)

Las baterías de níquel-metal hidruro emiten prestaciones en donde su rendimiento ha sido reivindicado esencialmente en la experimentación. La batería Ni-MH poseen características como tasa de descarga sobre la eficiencia energética y tasa de recuperación de energía, siendo esta su característica principal para destacar ante otros modelos.

**Figura 5.**

*Batería Ni-MH.*



**Fuente:** (Motorpasión, 2023)

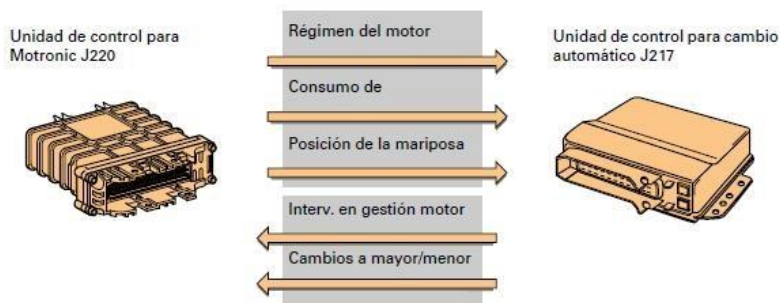
### 1.1.5. ISO 15765-4

Este protocolo de comunicación fue desarrollado por Bosch, conocido como Controller Area Network (CAN), este protocolo permite a los dispositivos de los vehículos comunicarse sin la necesidad de una computadora que comande a estos dispositivos. La velocidad de transferencia de datos que se puede dar con el protocolo CAN es de hasta 1 Mbit/s (Ortiz, 2014). Además, se debe tener en cuenta que para la transmisión de datos se puede dar de dos maneras, la primera posibilidad transfiere los datos a través de un cable, por lo que al momento de añadir más información consecuentemente se incrementa la cantidad de cables y los pines en las unidades de control. Sin embargo, la segunda posibilidad de transmisión de datos es a través de dos cables, los cuales permiten que la información de todas las unidades de control se transfiera a través del CAN-Bus (Guerra, 2018), el protocolo de comunicación utilizado en vehículos modernos y en todos los vehículos de la marca Toyota cuentan con el protocolo de comunicación CAN-Bus.

*Figura 6.*

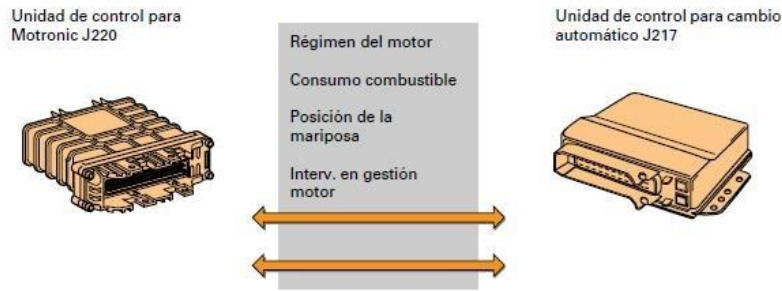
*Transmisión de datos.*

a)



b)





*Fuente: (Pañi & Pinos, 2007)*

### 1.1.6. Euro 6 RDE 1154

La normativa EURO 6 RDE (Real Driving Emissions) hace referencia a los estándares de emisión de gases permitidos por la Unión europea para los vehículos que cuenten con un motor térmico, incluyendo vehículos híbridos e híbridos enchufables (Unión Europea, 2017). Esta norma establece los parámetros a considerar al momento de plantear las rutas para el diseño experimental, en la norma EURO 6 RDE en el punto 6.4 establece:

El funcionamiento en zona rural se caracteriza por velocidades del vehículo superiores a 60 km/h e inferiores o iguales a 90 km/h. En el caso de los vehículos de la categoría N2 equipados con arreglo a la Directiva 92/6/CEE con un dispositivo que limite la velocidad del vehículo a 90 km/h, el funcionamiento en zona rural se caracteriza por velocidades del vehículo superiores a 60 km/h e inferiores o iguales a 80 km/h (p. 718).

Según la Unión europea (2017) en el punto 6.5, “El funcionamiento en autopista se caracteriza por velocidades del vehículo superiores a 90 km/h” (p. 718).

Además, la norma en el punto 6.11 establece:

La altitud sobre el nivel del mar de los puntos de partida y de llegada de un trayecto no diferirá en más de 100 m. Además, la ganancia de altitud positiva acumulada proporcional

de todo el trayecto y de la parte urbana del trayecto determinada de conformidad con el punto 4.3 será inferior a 1 200 m/100 km ... (p. 718).

### **1.1.7. Combustibles en Ecuador**

En el territorio ecuatoriano se comercializa dos tipos de combustibles derivados del petróleo, los cuales se diferencian de acuerdo con su densidad y nivel de octanaje, al tener estas diferentes características el precio de estos varía considerablemente. Los tipos de combustible varían en Gasolinas y Diesel, la gasolina se clasifica en dos, tales como, EcoPaís que tiene 85 octanos y Super de 92 octanos, mientras que el Diésel se clasifica en dos tipos como lo es Premium y Diesel agrícola estos pueden llegar a tener una cantidad mayor a 500 ppm de azufre en su composición (Romero, 2022). La consecuencia de utilizar los combustibles derivados del petróleo es la generación de emisiones de gases de efecto invernadero lo que es perjudicial para el medio ambiente y la salud (Calispa & García, 2022). Los vehículos híbridos pueden trabajar con cualquiera de los dos tipos de gasolinas, independientemente de que tipo se ocupe para el trabajo. Se debe tener en consideración que, al momento de que el vehículo híbrido funciona en modo de tracción eléctrico el consumo de combustible se ve reducido en comparación a un convencional, así como las emisiones de CO<sub>2</sub> serán menores (Waliño, 2020).

#### **1.1.7.1. Propiedades de combustibles de los vehículos híbridos**

En la tabla 2 se presentan las propiedades físicas y químicas de la gasolina súper.

*Tabla 2*

*Propiedades físicas y químicas de gasolina Súper*

<b>PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS</b>	
Estado físico:	Líquido a temperatura ambiente

Color y apariencia:	Amarillo y brillante
Olor:	Característico
% de volátiles por volumen:	N.D.
Calor de combustión:	192277 BTU/lb
Temperatura de Ebullición:	Inicial: 35°C Final: 210°C, aproximadamente
Presión de vapor a 20°C (mmHg)	6 a 10 kPa a 20°C
Densidad de vapor	(aire=1):3-4
Tasa de evaporación:	N.D.
Densidad relativa:	0.7174
pH:	No aplica
Solubilidad (ES):	
En agua	Solubilidad en agua 0.003-0.010 kg/m <sup>3</sup>
Coeficiente de reparto N-Octano/agua:	Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 2-7
Temperatura de autoinflamación:	>280°C
Temperatura de descomposición:	N.D.

*Fuente: (EP Petroecuador, 2014).*

En la tabla 3 se presentan las propiedades físicas y químicas de la gasolina EcoPaís.

**Tabla 3**

*Propiedades físicas y químicas de gasolina EcoPaís*

<b>PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS</b>	
Estado físico:	Líquido a temperatura ambiente
Color y apariencia:	Verde brillante
Olor:	Característico
% de volátiles por volumen:	N.D.
Punto de ebullición y rango de ebullición:	Inicial: 35°C Final: 210°C, aproximadamente
Punto de inflamación	-42°C

Temperatura de fusión:	N.D.
Presión de vapor:	6 a 10 kPa a 20°C
Densidad de vapor	(aire=1):3-4
Tasa de evaporación:	N.D.
Densidad relativa a 15°C	0.7643
pH:	N.P.
Solubilidad (ES):	
En agua	Prácticamente insoluble en agua (0.1 -1 %). Completamente soluble en éter, cloroformo, etanol y otros solventes del petróleo.
Coeficiente de reparto N- Octano/agua:	Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 2-7
Temperatura de autoinflamación:	200°C
Temperatura de descomposición:	N.D.

---

*Fuente: (EP Petroecuador, 2014).*

### **1.1.8. Condiciones de manejo**

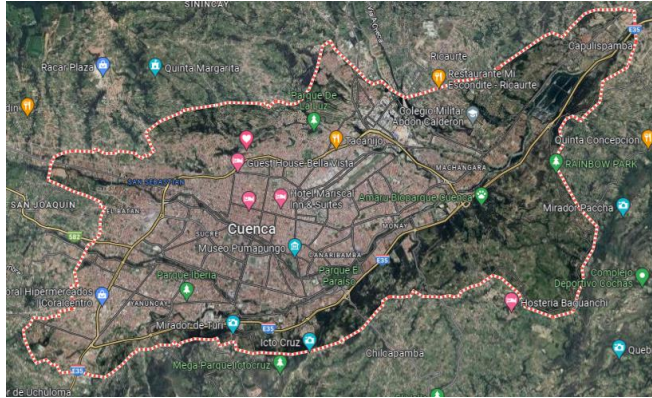
Las condiciones de manejo aluden a diversos factores tomados en consideración en el presente proyecto para la obtención de datos, teniendo:

#### **1.1.8.1. Zona demográfica**

La zona demográfica establece el territorio delimitado para un estudio establecido. Se trata de un área geográfica que posee diversos factores como: altitud, latitud, temperatura, densidad de aire, presión y sublevaciones de carretera. A ello se suma el factor de información de grupos de personas, factor que, dependiendo del tema de investigación, llega a ser despreciable.

**Figura 7.**

*Zona demográfica de Cuenca.*



*Fuente: (Google maps, 2023)*

### **1.1.8.2. Conductor designado**

El término hace referencia a la persona que conduce el vehículo en la ruta establecida para la obtención de datos teniendo el control de todos los mecanismos y sistemas presentes en el automóvil en un tiempo establecido o hasta cumplir una ruta designada dentro del campo de estudio.

### **1.1.9. Vehículo Toyota Corolla Híbrido**

El vehículo Toyota Corolla Híbrido posee un sistema de tracción híbrida en la que interactúan un motor eléctrico y un motor 1.8L de ciclo Atkinson para entregar las máximas prestaciones requeridas por el usuario.

**Figura 8.**

*Toyota Corolla Hybrid 2022.*



### 1.1.9.1. Especificaciones del vehículo Toyota Corolla Híbrido

*Tabla 4*

*Especificaciones del vehículo*

<b>Dimensiones Toyota Corolla Híbrido</b>	
Largo/ancho/alto (mm)	4630/1780/1435
Distancia entre ejes (mm)	2700
Radio mínimo de giro (m)	5.6
<b>Motor de combustión interna</b>	
Modelo	2ZR-FXE
Cilindrada (cc)	1.798
Distribución	16 válvulas, con cadena de distribución y sistema VVT-i
Relación de compresión	13:1
Potencia máxima (kW/rpm)	72/5200
Torque Máximo (Nm/rpm)	142/3600
<b>Motor eléctrico</b>	
Modelo	1 NM
Potencia Máxima (kW)	53

Voltaje (V)	600
Sistema híbrido	Autorecargable
<b>Batería</b>	
Tipo	Níquel Metal Hidruro
Voltaje (V)	201.6
Capacidad (Ah)	6.5

*Fuente: (Ficha técnica Toyota Corolla Hybrid, 2022).*

## 1.2. Estado del arte

Tianheng, Lin, Qing, Yanqing, Ting & Bin (2015) desarrollaron la investigación titulada “Estrategia de control para vehículos eléctricos híbridos enchufables eléctricos híbridos enchufables demanda de energía y la previsión de rutas”, realizada en China. Los autores del artículo realizaron una estrategia de control la cual se encarga de supervisar la demanda energética de los vehículos híbridos en diferentes rutas. Al presentar la estrategia el principal objetivo es reducir el consumo de combustible en tiempo real. La estrategia planteada consta de tres etapas, donde la primera etapa se realiza un modelo de red neuronal el cual predice la demanda energética de vehículo, además este modelo ayuda a reducir los datos a parámetros estadísticos lo que facilita el proceso de predicción. La segunda etapa consta de un modelo matemático donde se realiza la estimación del SOC de acuerdo con la demanda energética, al aplicar el modelo matemático se simplifica el método de programación del estado de carga (SOC). La tercera etapa plantea una estrategia adaptativa de reducción del consumo equivalente lo que permite determinar el estado del tren motriz. Con la estrategia planteada y con las simulaciones realizadas presentaron la reducción del consumo de combustible de un 7.6% comparando con la estrategia basada en reglas, además presenta mejora de 1.3% con respecto a la estrategia adaptativa de reducción del consumo equivalente. Se obtienen resultados donde se optimiza el funcionamiento del motor y reduciendo

la pérdida de energía eléctrica, lo que permite validar las propuestas en el artículo (Tianheng et al., 2015).

Jaworski, Madziel, Lew, Campisi, Wos, Kuszewki, Wojewoda, Ustrzycki, Balawender & Jakubowski (2021) desarrollaron a investigación titulada “Evaluación del efecto del ajuste de la carga del dinamómetro del chasis sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> y la demanda energética de un vehículo híbrido completo”. Los autores del artículo realizan estudios y ensayos con el objetivo de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y del transporte público en condiciones de los ciclos urbanos. Para el desarrollo de los ensayos se utilizó el ciclo de conducción europeo (NEDC) con el que se obtuvieron tres métodos para determinar las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo. Los resultados de los ensayos realizados presentaron que la emisión de CO<sub>2</sub> con el ciclo de conducción NEDC puede llegar a un 35% mientras que el ensayo realizado con el ciclo de conducción WLTP presentan valores más altos de emisiones de CO<sub>2</sub> concluyendo que el ciclo de conducción NEDC es más eficiente con menos emisiones de CO<sub>2</sub>. Los resultados que se obtienen mediante los ensayos pueden ser utilizados para optimizar la gestión de energía en los vehículos híbridos en los modelos de los ciclos urbanos (Jaworski et al., 2021).

Alaoui Chakib (2019) desarrollo la investigación titulada “Gestión de energía de vehículos híbridos mediante aprendizaje profundo”, realizada en la ciudad de Fez, Marruecos. El autor desarrolla un método de aprendizaje automático para gestionar la demanda energética de las baterías del vehículo híbrido con el objetivo de garantizar una mayor eficiencia de los componentes cómo la batería y los supercondensadores optimizando la transferencia de energía de la fuente de alimentación de un vehículo eléctrico e híbrido, para el desarrollo del artículo se realizan ensayos que utilizan los ciclos de conducción estándar para validar los resultados. El modelo de aprendizaje profundo se desarrolló a partir redes neuronales artificiales con el cual se facilita el control de la



fuentes de energía híbrida, los resultados que se presentaron a través del modelo fueron exitosos puesto que se logró dar mejoras en la eficiencia de la gestión de la demanda energética. Tales resultados se basan en los ciclos de conducción, en cada uno de estos la demanda energética difiere en algunas ocasiones, pero en todos los ensayos se presentó una mejora en la eficiencia (Chakib, 2019).

Saiteja & Ashok (2021) desarrollaron la investigación titulada “Revisión crítica sobre arquitectura estructural, estrategias de control de energía y proceso de desarrollo hacia una gestión energética óptima en vehículos híbridos”, realizado en la ciudad de Vellore, India. Los autores presentan estrategias para la optimización de energía del vehículo híbrido tales como el programa dinámico, modelo predictivo y redes neuronales, estas estrategias tienen como objetivo principal optimizar la economía del combustible y el consumo energético sin afectar el rendimiento del vehículo híbrido, además explorar un enfoque global para desarrollar la arquitectura de control del EMS. En la investigación realizada por los autores proporcionan el proceso que tiene la EMS en tiempo real presentando los parámetros de calibración de este, tales como el estado de carga SOC, velocidad del vehículo, división de potencia entre otros, estos parámetros de calibración son necesarios para mejorar las características del vehículo híbrido como la velocidad, SOC y la demanda de potencia (Saiteja & Ashok, 2022).

Orecchini, Santiangeli, Zuccari, Ortenzi, Genovese, Spazzafumo & Nardone (2018) desarrollaron la investigación titulada “Consumo de energía de un vehículo totalmente híbrido de última generación comparado con un vehículo convencional en condiciones reales de conducción”, realizada en Italia. Los autores presentan el análisis de datos recolectados en carretera en condiciones reales de conducción del vehículo Toyota Yaris híbrido, Toyota Yaris 1.5 a gasolina y Toyota Prius híbrido, dichos datos recolectados se dieron por medio de ciclos de conducción

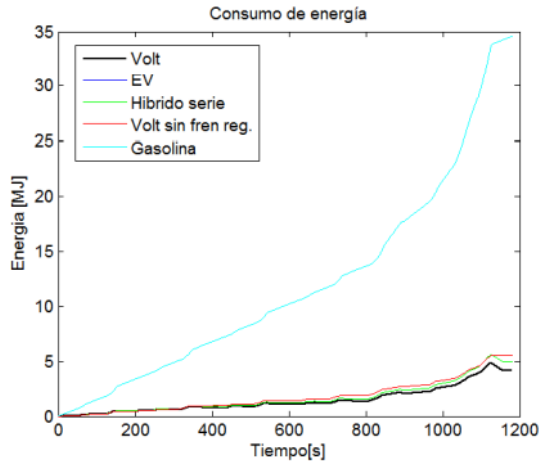
urbanos. Con la ayuda de los datos se logró cuantificar el consumo y los factores que intervienen en la reducción del consumo del vehículo híbrido, además se presenta el análisis cuando los vehículos se encuentran funcionando con el modo de vehículo cero emisiones ZEV, debido a que este modo presenta la reducción de emisiones contaminantes producidas por los vehículos en el entorno urbano. La comparación de las muestras obtenidas entre las dos versiones del Toyota Yaris se muestra una considerable reducción del consumo en el vehículo híbrido cuando se encuentra con velocidades bajas y medias aproximadamente 20 km/h alrededor de un 50%, pero al momento que los vehículos presentan condiciones de alta velocidad a 90 km/h el consumo es similar, la diferencia de consumo en velocidades bajas se debe al funcionamiento que tiene el vehículo híbrido en el modo ZEV, en este modo el motor de combustión permanece apagado el 63% del tiempo mientras que el motor eléctrico se encuentra dando toda la potencia. Los resultados en comparación entre los vehículos híbridos, se presenta que el vehículo Prius híbrido tiene un menor consumo debido a la eficacia del freno regenerativo lo que presentan parámetros importantes en el entorno urbano (Orecchini et al., 2018).

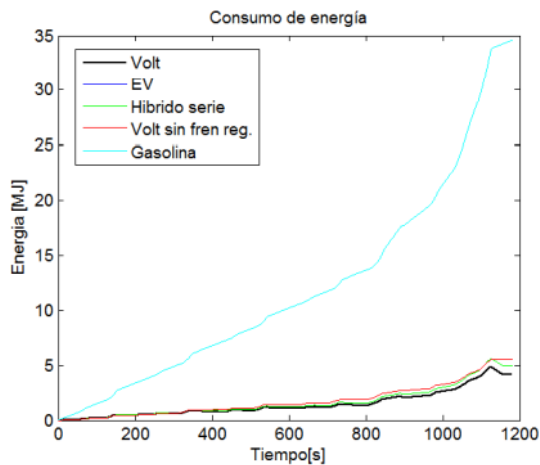
Juan Pablo Chamorro Aguado (2013) en el trabajo de titulación “Diseño de una estrategia para la gestión energética de un vehículo híbrido enchufable” desarrollo una estrategia de control de energía de un vehículo híbrido enchufable el cual buscara optimizar la energía del sistema sin despreciar el régimen de marcha y el rendimiento del vehículo en diferentes prestaciones requeridas. Para ello, el vehículo es simulado, en aspecto dinámico y prestaciones de potencia en el software de ingeniería MATLAB® y sumado a ello, diferentes ciclos de conducción en el vehículo seleccionado. Dentro de este trabajo, se obtuvieron resultados basados en el consumo de energía en Mega Julios, emisiones y autonomía del vehículo Chevrolet Volt para compararlo con 4 tipos de vehículos diferentes: un eléctrico puro, híbrido en serie, Volt sin freno regenerativo y

un vehículo a gasolina. Obteniendo como resultado, que un vehículo eléctrico puro (conocido como EV) es muy eficiente en circulaciones por carretera y área urbana, sin embargo, su problema, basado en el consumo de energía de la batería, es la autonomía, ya que, no es la misma que la de un motor de gasolina. Por ello, este trabajo de titulación presenta a la hibridación como la solución del abastecimiento de energía eléctrica para el motor eléctrico, donde se sacrifican emisiones y costos económicos con el objetivo de poder dar más autonomía al modelo de vehículo usando un motor de combustión interna a gasolina que cumpla la función de generador como fuente de energía auxiliar para el sistema (Chamorro, 2013). Para constatar estos datos, se presenta la siguiente tabla con datos extraídos del trabajo de titulación:

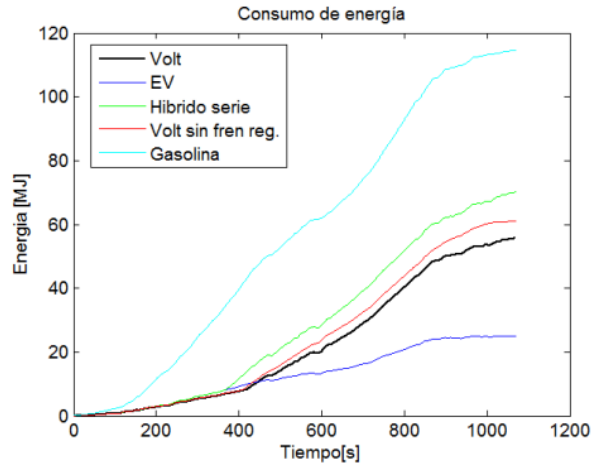
**Tabla 5**

*Consumo energético*

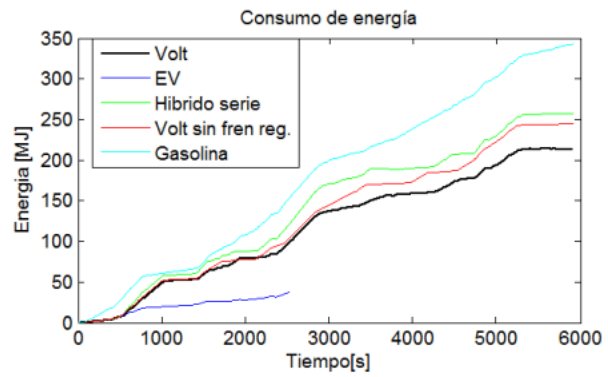
Contexto	Consumo energético en MJ
Consumo de acuerdo con el ciclo de conducción NEDC	



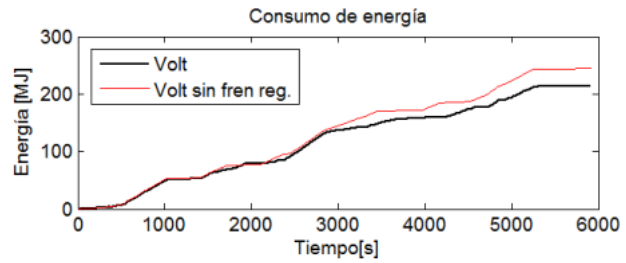
Consumo de acuerdo con el ciclo de conducción Artemis highway



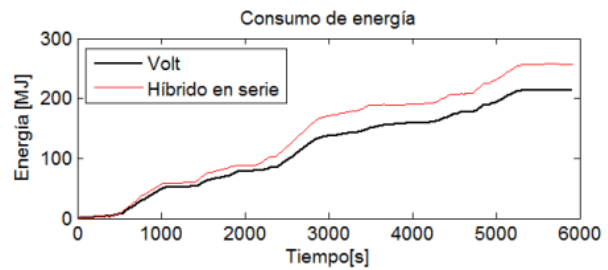
Consumo de acuerdo con el ciclo de conducción NREL



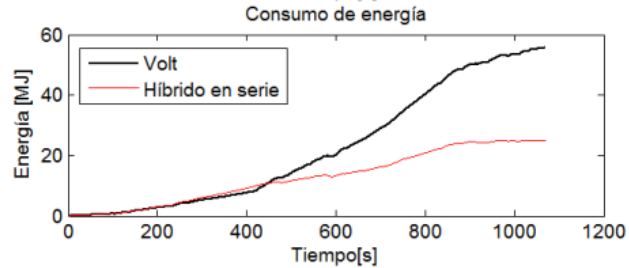
Consumo del Volt vs. Volt sin freno regenerativo



Consumo del Volt vs. Híbrido en serie



## Consumo del Volt vs. Eléctrico EV



*Fuente: (Chamorro J, 2013).*

Jihed Khiari y Cristina Olaverri-Monreal (2022) en el artículo “Uncertainty-Aware Prediction of Battery Energy Consumption for Hybrid Electric Vehicles” realizan mediante redes neuronales, un modelo que estima de manera predictiva el estado de carga de la batería para dar más información al conductor de la carga de esta, en base de la incertidumbre. A ello, el estudio le suma un conjunto de redes neuronales profundas, del inglés Deep Neural Networks (DNN), que minimiza la incertidumbre predictiva y emite un valor de estado de la batería confiable para el conductor para lograr un interfaz hombre-máquina para analizar el consumo en diferentes condiciones de manejo, como: viajes, diferentes rutas y pronósticos confiables de la batería en estados de: temperatura, voltaje de celda, estado de carga de la batería e intensidad. Dentro de este estudio, el uso de las redes neuronales son las más usadas, ya que estas, son herramientas más precisas de predicción con más éxito en el estudio predictivo. El artículo presenta resultados que han sido extraídos desde estudios de campo de simulaciones y estudios de campo reales, sin tomar en cuenta los valores de consumo que dan los fabricantes, ya que estos, no llegan a cumplirse en su totalidad por los hábitos de conducción y condiciones de manejo variables que se encuentran reflejado en los datos de conducción real. Luego de la realización de cada prueba de manejo, tanto simulada, como real, se obtiene un modelo donde se informa al conductor del estado de carga de la batería con valores de varianza y promedio de cada predicción. Con estos resultados, el artículo concluye que este método se puede producir ampliamente en diferentes modelos de vehículos prometiendo aumentar la viabilidad en sistemas de vehículos eléctricos e híbridos puros e híbridos

enchufables. Sumado a esta deducción, y como un paso al futuro, este método se puede emplear en más sistemas de plataformas con líneas de cómputo disponible en el campo automotriz. Este artículo cuenta con el apoyo y aprobación de Ministerio de Acción Climática, Medio Ambiente, Energía, Movilidad, Innovación y Tecnología de Austria (BMK) Dotado de Cátedra para Logística de Transporte Sostenible 4.0., IAV France SASU, IAV GmbH, Austrian Post AG y UAS Technikum Wien (Khiari & Olaverri-Monreal, 2022).

Roberta De Robbio, Maria Cristina Cameretti, Ezio Mancaruso (2022) en el artículo “Investigation by modelling of a plug-in hybrid electric commercial vehicle with diesel engine on WLTC” emiten los resultados de una investigación en la que se obtienen resultados de rendimiento de los vehículos híbridos cuando tienen un motor de combustión interna como generador, mismo que utiliza gasolina y diésel como combustibles y se conocen como motores con sistemas Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI), a su vez en español, Encendido Por Compresión Controlado por Reactividad, alcanzando una eficiencia del 60%. Es necesario acotar que dicho vehículo solo se encuentra en banco de pruebas, debido a que, es un prototipo usado solo en pruebas de laboratorio. Este artículo presenta una solución prometedora en el avance de los vehículos híbridos, ya que, nos demuestra que la incorporación de un motor RCCI a la batería del vehículo híbrido reduce el consumo eléctrico produciendo un ahorro de un 26,23% comparado a una batería con un motor ICE convencional. Este valor de ahorro de energía eléctrica se produce debido a que, la batería acoplada al RCCI emite una mayor corriente de alimentación al motor eléctrico de tracción. Se presentan valores de reducción de consumo eléctrico de 0.02 kWh sumado un 1% más de estado de carga (SOC) cuando la batería del vehículo híbrido se encuentra conectado al motor RCCI haciendo de esta configuración, una línea de funcionamiento óptimo de la batería y SOC comparado con una batería acoplada a un motor de inyección directa de combustible. La

batería del vehículo eléctrico híbrido (VEH) presenta pérdidas de energía menores con el motor RCCI mientras que con el motor D100 se obtienen pérdidas mayores. El motor RCCI tiene una salida de energía más alta que puede cargar y dar respaldo de energía a la batería en diferentes condiciones de manejo, sumando a este resultado, un flujo de calor menor en la batería, aumentando su eficiencia durante el manejo (De Robbio et al., 2022).

Jaroslav Mamala, Mariusz Graba, Andrzej Bieniek, Krzysztof Praznowski, Andrzej Augustynowicz, Michal Smieja (2021) en el artículo “Study of energy consumption of a hybrid vehicle in real-world conditions” presentan un análisis realizado del consumo de energía de un vehículo híbrido enchufable que ha sido utilizado en condiciones reales de manejo en carreteras y distintas zonas geográficas. Teniendo como recorrido total unos 5000 km, el análisis presenta una comparación entre el consumo de energía tomado de la batería del vehículo y el consumo de energía obtenido del combustible teniendo como respaldo, las curvas de comportamiento del consumo total del vehículo evaluado en un tramo de 100 km y dividido en dos secciones, una sección para el motor térmico y otra sección para el motor eléctrico. Se presenta información evaluada en modos reales de operación y corresponden a una prueba de un ciclo de conducción WLTP. Dentro de sus resultados, se encuentran especificaciones que han sido evaluadas en el ciclo de manejo, teniendo que: el consumo de energía depende mayormente de la condición del medio ambiente y el modo de manejo ejecutado por el conductor, el motor térmico eleva de manera significativa el consumo total de energía, el uso del motor eléctrico en la hibridación de los vehículos ayudan a reducir los costos de operación manteniendo un perfil económico para el cliente y las emisiones de dióxido de carbono producidas por el motor térmico se encuentran por debajo de los límites permitidos ayudando a recalcar la eficiencia de la hibridación. Con estas especificaciones, los resultados obtenidos dan a conocer que el motor de combustión interna

consume 3.7 veces más que el motor eléctrico en una distancia recorrida de 100 km como dato preliminar. Se denota que su consumo de energía en el tiempo de funcionamiento del sistema de propulsión conforme a los ciclos de conducción siendo el régimen eléctrico el dominante en la mayoría de las pruebas, sin embargo, este artículo presenta costos de operación en la que el vehículo tiene costos más elevados en condiciones de manejo real siendo el ICE 3.6 veces más costoso que el accionamiento eléctrico. Por último, al analizar la energía consumida del vehículo híbrido se estudia también el alcance de este, siendo la temperatura y la condición de manejo, los dos factores más influyentes en aumentar o disminuir el alcance, teniendo: que en condiciones normales de temperatura (18 °C) se tiene un alcance óptimo y consistente, pero con un valor de temperatura de -15 °C, el alcance llega a reducirse casi cuatro veces de su alcance original (Mamala et al., 2021).



## **2. CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS DEL VEHÍCULO TOYOTA COROLLA HÍBRIDO POR MEDIO DEL PUERTO OBD II CON EL USO DE SEÑALES PID'S**

En el capítulo se explicará el proceso que se utilizó para la obtención de información del vehículo Toyota Corolla híbrido previo al análisis. Para esto se emplearán diversas herramientas para la obtención y el análisis de datos, incluyendo una aplicación móvil para recopilar datos por medio del puerto DLC utilizando un escáner OBDLink MX, un software de recolección de datos que se conecta a un analizador de gases móvil y un software de ingeniería con el que se realizará el análisis de los datos recolectados, con el objetivo de analizar el comportamiento de las señales PID's del vehículo híbrido. Las señales PID's recolectadas se describirán en el capítulo 2.3.1. del proyecto.

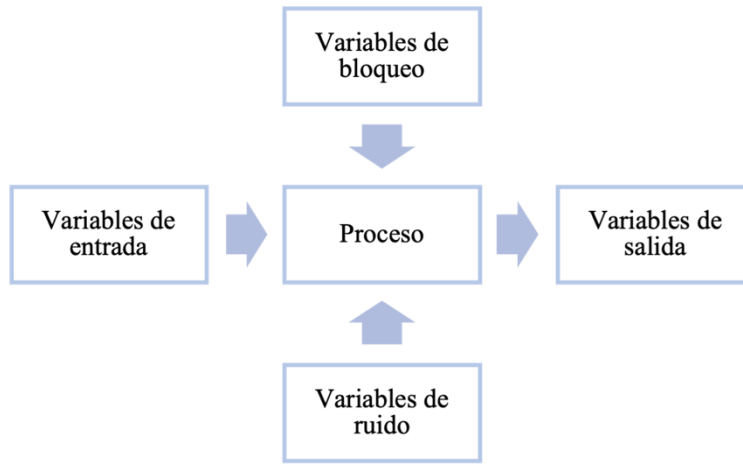
Durante el proceso de adquisición de datos, se consideraron las condiciones geográficas de la ciudad de Cuenca, así como la norma Euro 6 RDE 1154, que establece los parámetros para definir las rutas. La norma se detalla en el capítulo 1.1.6. del proyecto. Después de obtener las variables y sus datos correspondientes utilizando las herramientas mencionadas anteriormente, dichos datos se procesan con la ayuda del software de ingeniería para su posterior análisis.

### **2.1. Condiciones previo a la obtención de datos**

Previo a la obtención de datos se debe considerar los factores de inferencia que afectan a las señales PID's al momento de realizar los trayectos planteados. Estos factores que afectan a las señales se dividen en variables de entrada, variables de ruido, variables de bloqueo y variables de respuesta, dichas variables se presentan en la figura 9 (Aguilar & Tandazo, 2017).

**Figura 9.**

*Factores de inferencia.*



### **2.1.1. Variables de entrada**

Las variables de entrada son las que interfieren directamente en las variables de respuesta. Se debe tener en consideración que las variables de entrada deben actuar de manera independiente, es decir que si cambia una de ellas no debe afectar a las otras, si no cumple esta condición se causan complicaciones en el diseño experimental (Aguilar & Tandazo, 2017).

Las variables de entrada para el diseño experimental se presentan en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Variables de entrada*

<b>Variables de entrada</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>
Régimen de Giro	$\eta$	[RPM]
Velocidad	V	[km/h]
Flujo másico de aire	MAF	[g/s]
Posición de la mariposa de aceleración	TPS	[%]
Potencia del motor	$P_{motor}$	[kW]
Ruta	---	---

### 2.1.2. Variables de ruido

Las variables de ruido son aquellas variables que no se pueden controlar pero que pueden llegar a afectar las variables de respuesta, estas variables están presentes en el entorno de la zona geográfica de las rutas planteadas.

Las variables de ruido para el diseño experimental se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Variables de ruido*

<b>Variables de ruido</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>
Temperatura del aire	$T_{aire}$	[°C]
Humedad relativa del aire	$H_{rel}$	[%]
Presión atmosférica	$P_{atm}$	[Pa]

### 2.1.3. Variables de bloqueo

Las variables de bloqueo son aquellas que se pueden controlar para que no influyan en las variables de respuesta, estas variables se controlan y se colocan en un valor continuo para los posteriores análisis (Aguilar & Tandazo, 2017).

Las variables de bloque para el diseño experimental se presentan en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Variables de bloqueo*

<b>Variables de bloqueo</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
Temperatura del refrigerante	$T_{ref}$	92°C
Temperatura de la banda de rodadura	$T_{rod}$	30°C
Masa del vehículo	$m$	1645 Kg

#### 2.1.4. Variables de salida

Las variables de respuesta son aquellas que se utilizarán para el análisis siendo estas afectadas por las variables mencionadas anteriormente, la utilización de estas variables de respuesta cumple la función de dar mejoras continuas (Aguilar & Tandazo, 2017).

Las variables de respuesta para el análisis se presentan en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Variables de salida*

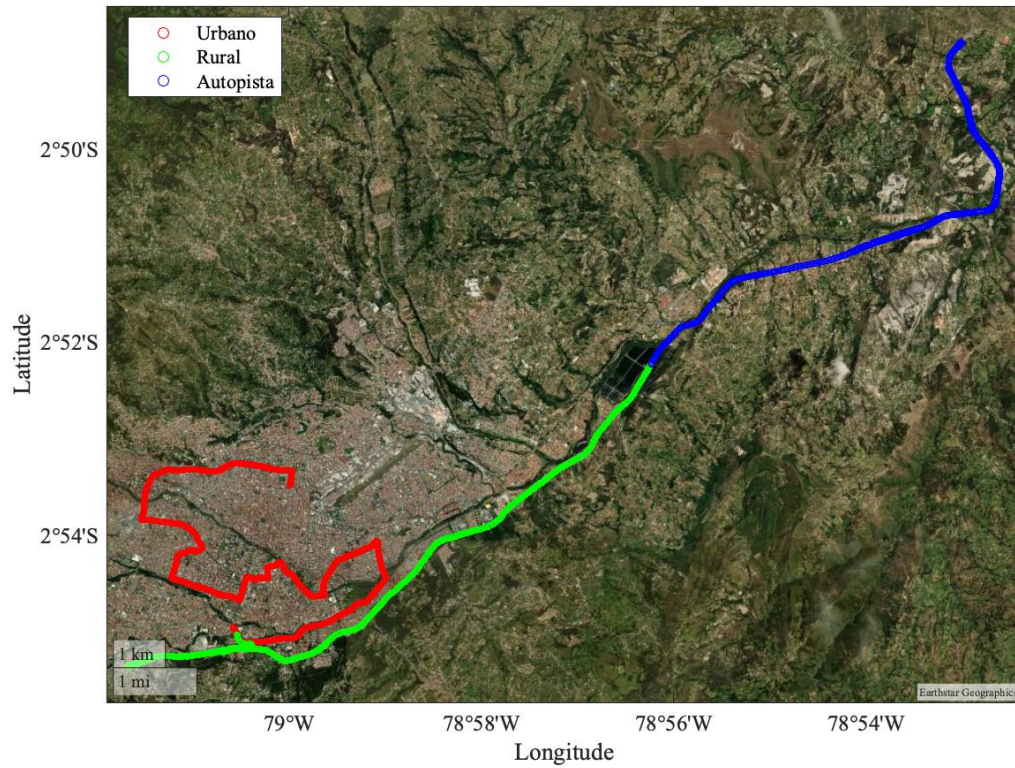
VARIABLES DE SALIDA	SÍMBOLO	UNIDAD
Voltaje de la batería	$V_{bat}$	[Volts]
Corriente de la batería	$A$	[Amperios]
Estado de carga de la batería	$SOC$	[%]
Estado de salud de la batería	$SOH$	[%]
Energía consumida	$E_{consumida}$	[kWh]

#### 2.1.5. Rutas planteadas para la obtención de datos

Previo a la obtención de datos se realizó una investigación basada en la norma Euro 6 RDE 1154 donde establece los parámetros para la elección de rutas, en el cual indica que la ruta debe establecerse en zonas urbanas, rurales y autopistas. Para esto la primera ruta establecida se divide en tres partes tal como se presenta en la figura 10, estas zonas deben tener la misma distancia de recorrido según la norma, por lo que se estableció 16 km aproximadamente en cada una de las zonas teniendo una distancia de recorrido total de # km desde el punto de partida hasta el punto de llegada (Unión Europea, 2017).

**Figura 10.**

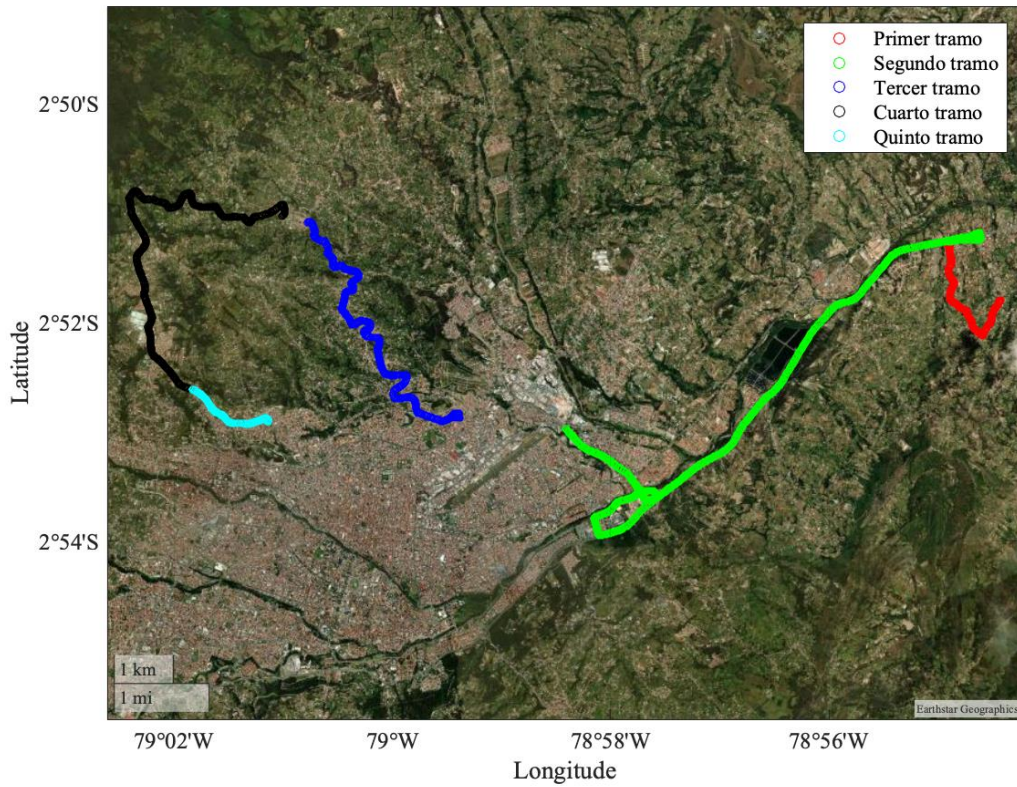
*Primera ruta.*



Para la segunda toma de datos se planteó una ruta diferente a la primera con el fin de observar el comportamiento de las variables de respuesta en cada una de las rutas, la ruta planteada se presenta en la figura 11, en esta se muestra que la segunda ruta tiene recorridos en cinco tramos.

**Figura 11.**

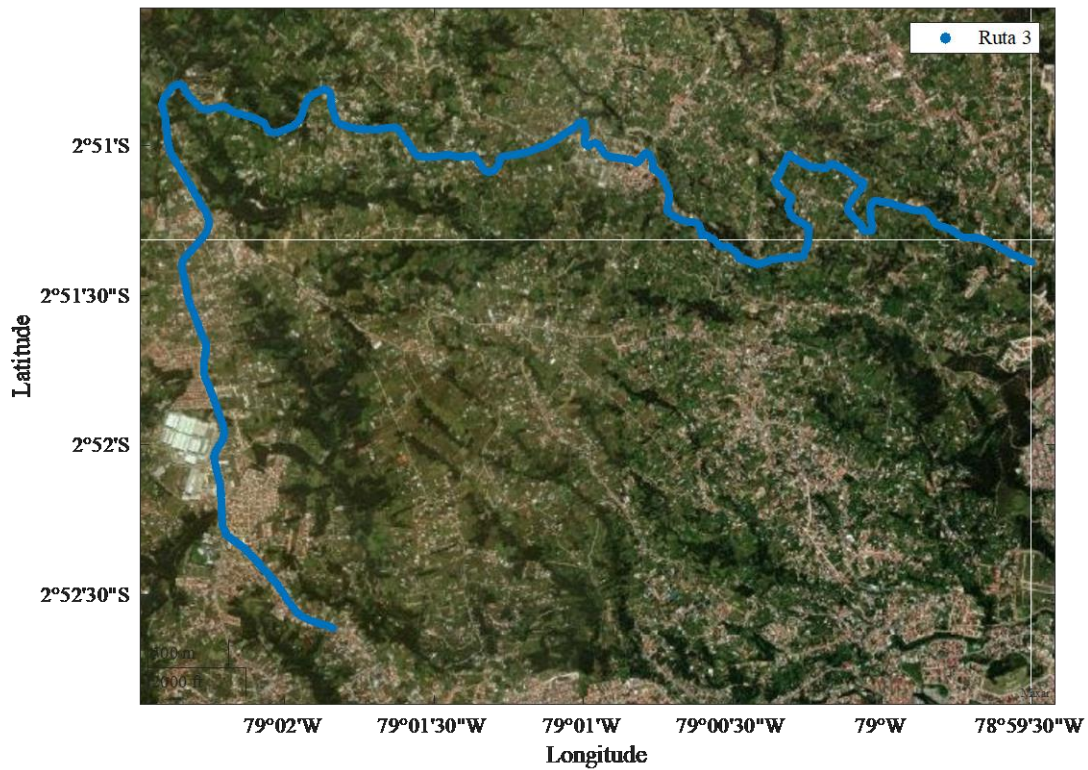
*Segunda ruta.*



Para la tercera toma de datos se planteó la misma ruta del cuarto y quinto tramo de la segunda ruta incluyendo un conductor diferente con objetivo de observar el comportamiento de las variables en las diferentes condiciones de manejo, la ruta planteada se muestra en la figura 12.

**Figura 12.**

*Tercera ruta.*

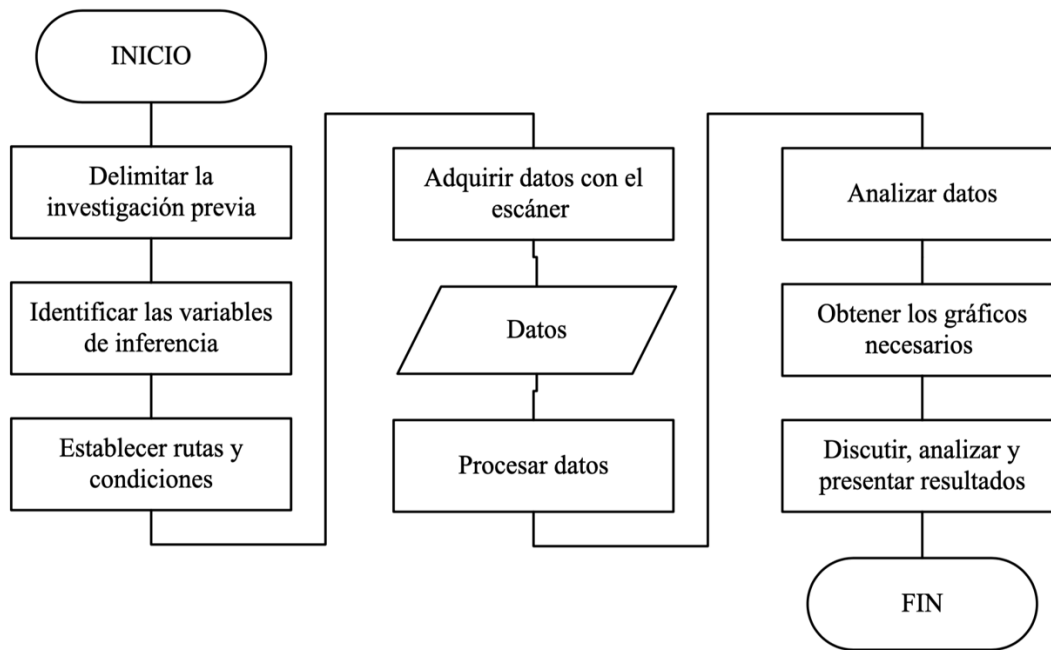


### **2.1.6. Proceso del diseño experimental**

El proceso del diseño experimental se lo realizará siguiendo los procedimientos establecidos en el diagrama de flujo presentado en la figura 13. El uso de esta herramienta permite comprender de manera más clara y sencilla el flujo de trabajo desde su inicio hasta el fin del diseño. Por lo que, se utilizará el diagrama de flujo para guiar el proceso del diseño experimental y asegurar su correcta implementación.

**Figura 13.**

*Diagrama de flujo.*



## **2.2. Plataformas para la obtención y análisis de datos**

Se utilizó un escáner OBDLink MX para obtención de los datos, sin embargo, para el almacenamiento de información se utilizó un dispositivo móvil mediante de la aplicación OBDLink, misma que almacena en archivos .CSV (González & Pesantes, 2022). En la configuración de la aplicación móvil se incluyeron 27 señales PID's las cuáles son las más importantes para el desarrollo del proyecto.

### **2.2.1. APP OBDLink**

Es una aplicación móvil que permite conectar el escáner OBDLink MX por medio de bluetooth a través de un dispositivo móvil, esta aplicación presenta una lista de PID's específicas para cada vehículo dependiendo del protocolo de comunicación que posea. Además, permite realizar un diagnóstico del vehículo, siendo esta aplicación accesible para los talleres automotrices. La



aplicación almacena los datos recolectados en archivos .CSV y presenta un informe del diagnóstico realizado en el vehículo (OBDLink, 2023).

### **2.2.2. Software de ingeniería Matlab**

El software de ingeniería MATLAB® es herramienta que facilita el desarrollo de cálculos simples y complejos a partir valores representados en matrices o escalares (Mathworks, 2023), esta herramienta permite interactuar de manera simple en la programación de códigos, además los resultados que este presentan son fáciles de visualizar con la utilización de graficas e histogramas. Este software contiene una gran variedad de funciones que son accesibles para el desarrollo de la programación requerida (García et al., 2018).

### **2.2.3. KANE LIVE**

El software KANE LIVE es una herramienta que permite conectar el analizador de gases por medio de un cable USB a la computadora, con el que se transmiten los datos recolectados y permite la lectura de los resultados en tiempo real, estos resultados es posible visualizarlos en forma de gráficos y digitalmente con el objetivo que se pueda detallar de mejor manera el cambio de los valores a medida que transcurre el tiempo, los datos recolectados pueden ser almacenar cómo archivo .CSV (KANE, 2023).

## **2.3. Identificación de datos del vehículo híbrido**

En la obtención de datos en las diferentes rutas especificadas en la ciudad de Cuenca. Se utilizó los diferentes modos de conducción que el vehículo posee, los cuales son: NORMAL, ECO y POWER, los datos obtenidos de los distintos modos se realizaron con velocidades variadas teniendo como máximo de 109 km/h basado en la norma Euro 6 RDE 1154.

### 2.3.1. Señales PID's recolectadas para el análisis de la demanda energética

Las señales PID's recolectadas a través del escáner OBDLink MX se presentan en la siguiente tabla, siendo estas 24 señales establecidas en la configuración de la aplicación móvil.

*Tabla 10*

*Señales recolectadas*

<b>ITEM</b>	<b>NOMBRES DE LAS SEÑALES</b>	<b>UNIDAD</b>
ITEM 1	Tiempo	Seg
ITEM 2	Latitud	Grados (°)
ITEM 3	Longitud	Grados (°)
ITEM 4	Altitud	m
ITEM 5	Velocidad del vehículo	Km/h
ITEM 6	Valor de carga calculada	%
ITEM 7	Temperatura del refrigerante del motor	°C
ITEM 8	Revolución por minuto del motor	RPM
ITEM 9	Temperatura del aire de admisión	°C
ITEM 10	Flujo másico del aire	g/s
ITEM 11	Posición absoluta de la mariposa de aceleración	%
ITEM 12	Valor de carga absoluta	%
ITEM 13	Vida útil restante de la batería híbrida	%
ITEM 14	Motor real - porcentaje de par	%
ITEM 15	Par de referencia del motor	N · m
ITEM 16	Voltaje del sistema de batería híbrido/EV	V
ITEM 17	Corriente del sistema de batería híbrido/EV	A
ITEM 18	Velocidad del GPS	Km/h
ITEM 19	Economía del combustible instantánea	l/100 km
ITEM 20	Economía total de combustible	l/100 km
ITEM 21	Velocidad de combustible	l/hr
ITEM 22	Tasa de combustible del motor	g/s
ITEM 23	Tasa de combustible del vehículo	g/s

**Tiempo (1)**

El tiempo es una de las variables con mayor relevancia, ya que, con esta última se puede observar el comportamiento de las variables en diferentes tiempos a lo largo del trayecto de las rutas planteadas. Además, esta variable es una de las que se utiliza mayormente para el procesamiento de los datos en el software de ingeniería, la unidad de medida de la variable que el OBDLink proporciona es en segundos (seg) (Michelena et al., 2022).

**Latitud (2)**

La latitud es una de las variables que permite encontrar la ubicación del vehículo en un momento determinado a través del GPS incorporado en el escáner OBDLink, la unidad de medida de la variable es en grados (°) (Montalvo & Rivera, 2018).

**Longitud (3)**

La longitud, al igual que la latitud, nos permite ubicar el vehículo a través del GPS, la unidad de medida que el OBDLink proporciona es en grados (°), esta variable permite observar el comportamiento de las señales PID's en todo el trayecto (Montalvo & Rivera, 2018).

**Altitud (4)**

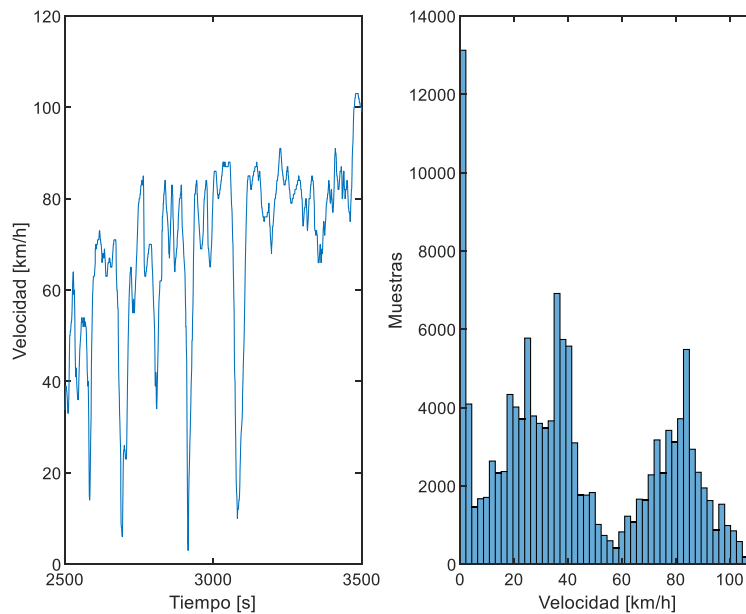
La altitud es otra de las variables que se mide a través del GPS, esta variable permite ubicar a que altura de la superficie del lugar se encuentra en el vehículo en un momento específico. La unidad de medida que el escáner proporciona es en metros (m), la altura medida se da desde el nivel del mar, los datos de la altitud dependen de la zona geográfica de la ciudad de Cuenca en donde se realizaron los ensayos experimentales (Montalvo & Rivera, 2018).

### Velocidad del vehículo (5)

Esta variable es una de las más utilizadas ya que permite realizar el análisis de la demanda energética del vehículo híbrido puesto que representa la distancia recorrida en un cierto tiempo en todo el trayecto, el cual es proporcionado por el escáner. La unidad de medida de la variable es en kilómetros sobre hora (km/h). Además, esta variable representa la dirección del desplazamiento del vehículo en las diferentes rutas establecidas (González & Pesantes, 2022).

**Figura 14.**

*Variable velocidad del vehículo.*



### Valor de carga calculada (6)

Esta variable indica la carga a la que está sometido el vehículo en un instante en tiempo real. Esta variable es calculada en consideración con las señales de otros sensores (SAE J1979, 2023), además se debe tener en consideración que para el cálculo de este se utiliza la siguiente formula:

$$\text{LOAD\_PCT} = [\text{current airflow}] / [(\text{peak airflow at WOT@STP as a function of rpm}) * (\text{BARO}/29.92) * \text{SQRT}(298/(\text{AAT} + 273))]$$

Donde:

STP = Standard temperature and pressure = 25 °C, 29.92 in Hg BARO

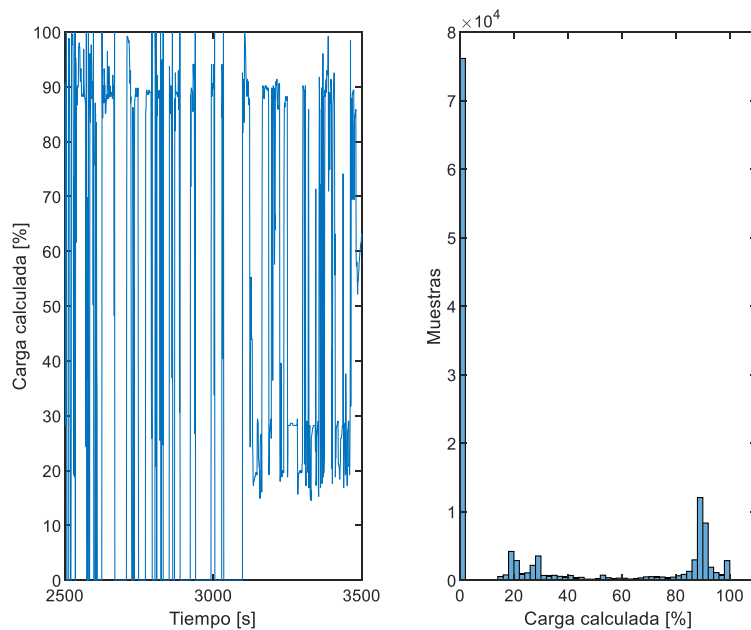
SQRT = square root

WOT = wide open throttle

AAT = Ambient air temperature and is in °C

**Figura 15.**

*Variable valor de carga calculada.*

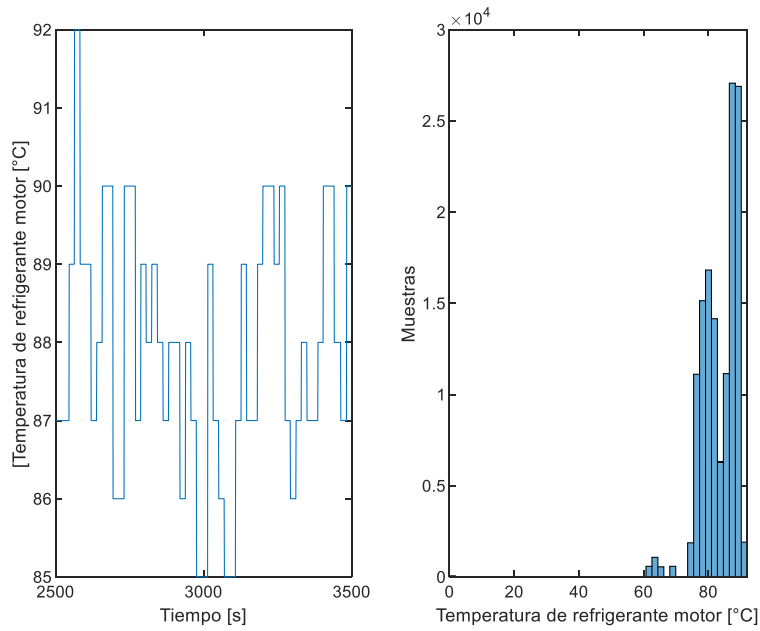


### **Temperatura del refrigerante del motor (7)**

Esta variable es proporcionada por el sensor ECT que se encarga de determinar la temperatura del refrigerante del motor, las señales del sensor son enviadas a la ECU lo que permite obtener los datos de la variable por medio del escáner. La unidad de medida de esta variable es en grados centígrados (°C) (González & Pesantes, 2022).

**Figura 16.**

*Variable temperatura del refrigerante del motor.*

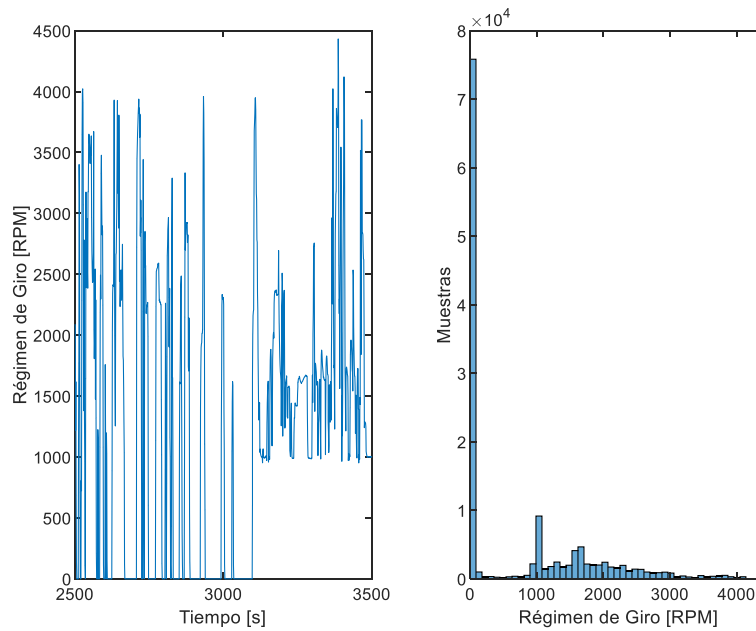


### **Revolución por minuto del motor (8)**

La variable de RPM es otra de las variables más utilizadas para el análisis de la demanda energética, debido a que, indica la velocidad angular a la que se encuentra el cigüeñal del motor de combustión interna en el recorrido en períodos de tiempo (González & Pesantes, 2022).

**Figura 17.**

*Variable revolución por minuto del motor.*

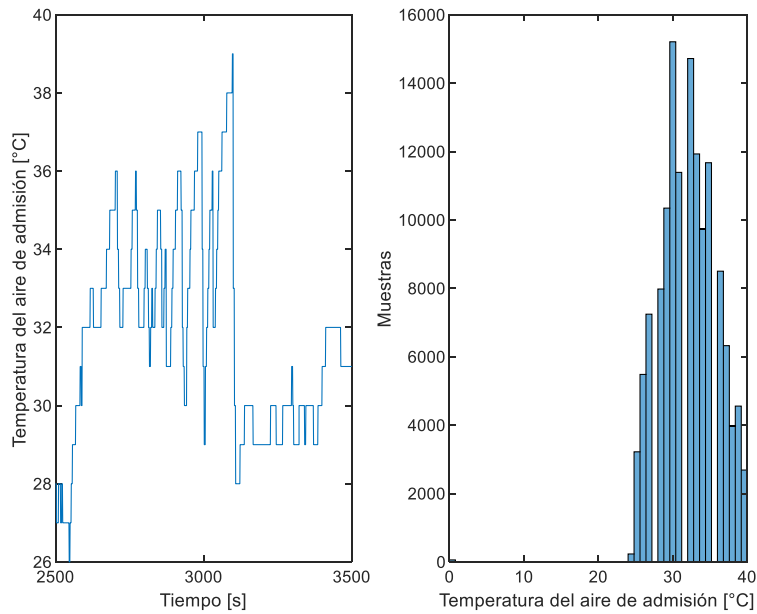


### **Temperatura del aire de admisión (9)**

La variable de temperatura del aire de admisión es dada por el sensor IAT, este sensor permite conocer la temperatura del aire, la señal del sensor es enviada a la ECU el cual por medio del escáner se obtiene los datos de la variable con unidad en grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ) (González & Pesantes, 2022).

**Figura 18.**

*Variable temperatura del aire de admisión.*



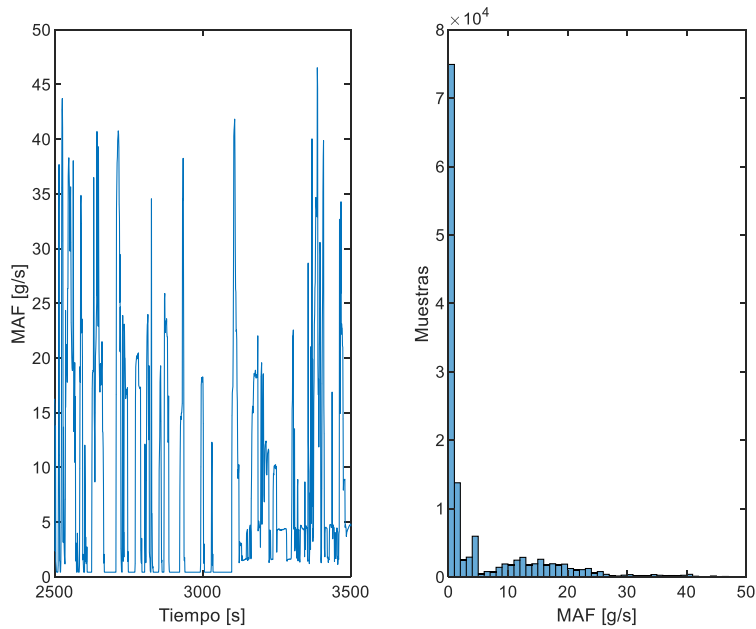
### **Flujo másico del aire (10)**

Esta variable es dada por el sensor MAF, este mide el flujo de aire y dependiendo del flujo que se tenga el sensor varía el voltaje que envía a la ECU, cuando no existe flujo de aire, el voltaje que este sensor envía a la ECU es de 0.7 a 1.3 voltios. La señal es adquirida por medio del escáner con unidad de gramos sobre segundo (g/s) (Paidá, 2007).



**Figura 19.**

*Variable flujo másico del aire.*

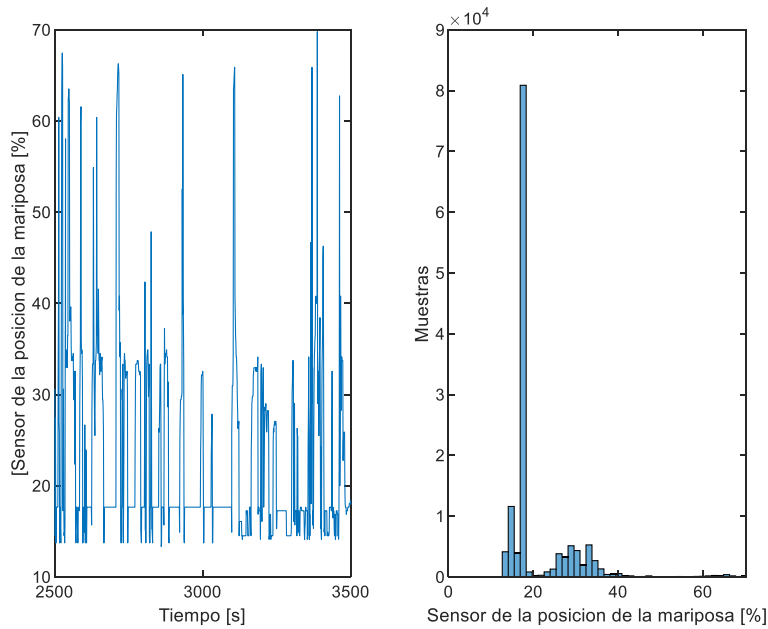


### **Posición absoluta de la mariposa de aceleración (11)**

Esta variable indica la posición de la mariposa del cuerpo de aceleración. La señal enviada a la ECU se da por el sensor TPS, la obtención de datos de la variable por medio del escáner viene dado en unidad de porcentaje (%), esta señal permite determinar la demanda energética ya que nos permite observar la carga a la que se está aplicando el motor (González & Pesantes, 2022).

**Figura 20.**

*Variable posición absoluta de la mariposa de aceleración.*



### **Valor de carga absoluta (12)**

Esta variable indica el valor de carga absoluta a la que se encuentra en el motor en los recorridos por periodos de tiempo siendo un máximo de 100%, esta variable puede ser calculada mediante la siguiente fórmula (SAE J1979, 2023):

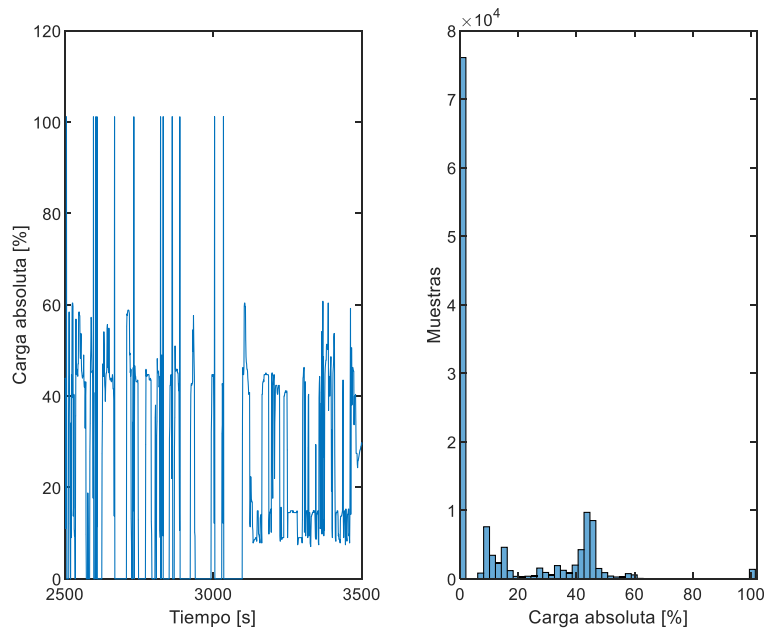
$$\text{LOAD\_ABS} = [\text{air mass}(\text{g})/\text{intake stroke}]/[\text{maximum air mass}(\text{g})/\text{intake stroke} \\ \text{at WOT@STP at 100\% volumetric efficiency}] *$$

STP = Standard temperature and Pressure = 25°C, 29.92 inHg (101.3 kPa) BARO,

WOT = wide open throttle

**Figura 21.**

*Variable valor de carga absoluta.*

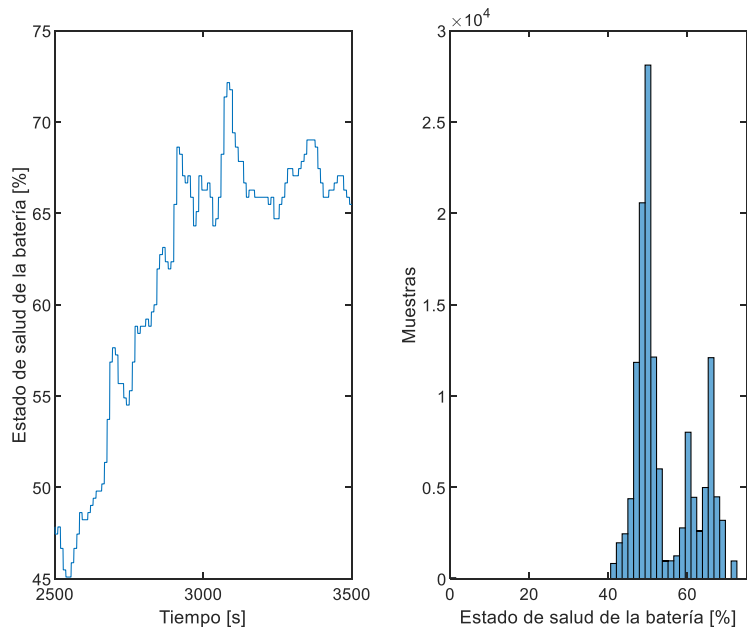


### **Vida útil restante de la batería híbrida (13)**

La vida útil restante de la batería es una de las variables utilizadas para determinar la demanda energética del vehículo, está toma en consideración las pérdidas que se tienen en la batería cuando alimenta al motor eléctrico y elementos auxiliares. La unidad de medida entregada por el escáner es en porcentaje (%) (Cusenza et al., 2019).

**Figura 22.**

*Variable vida útil restante de la batería.*

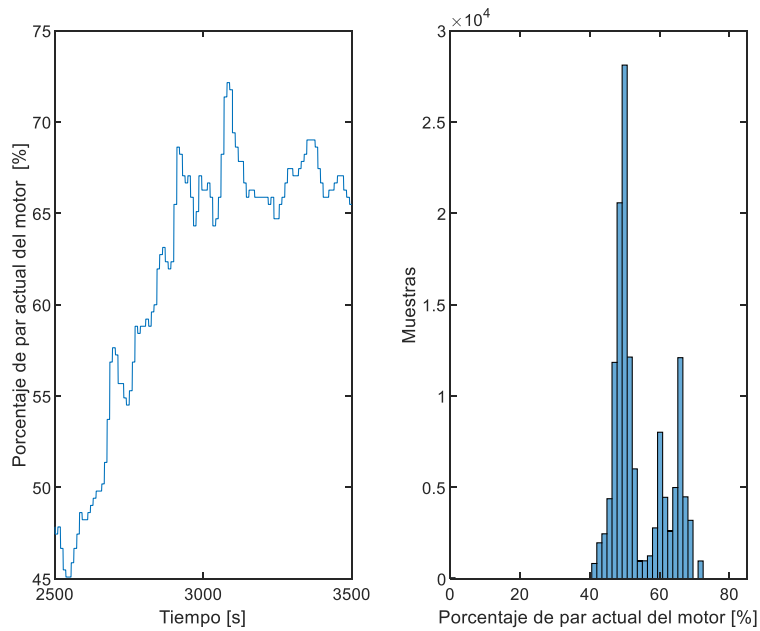


### **Motor real - porcentaje de par (14)**

Esta variable indica porcentaje de par del motor de combustión en las condiciones del recorrido, el escáner adquiere los datos con unidad en porcentaje (%) (BlueDriver, 2020).

**Figura 23.**

*Variable motor real - porcentaje de par.*

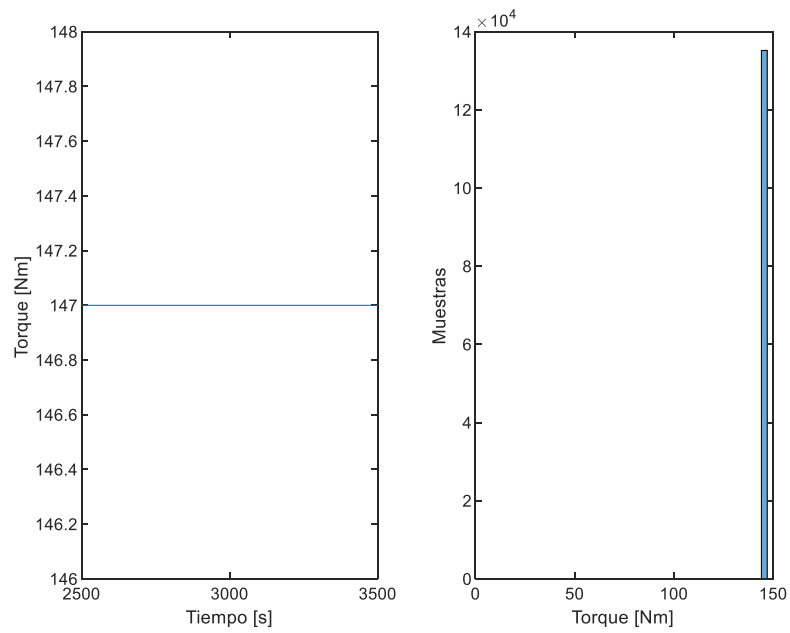


### **Par de referencia del motor (15)**

La variable del par de referencia del motor se adquiere mediante el escáner que da en unidad de Newton por metro ( $N \cdot m$ ), esta variable indica el par máximo que entrega el motor de combustión, el valor de este se mantiene constante, ya que, la ECU da el valor como referencia (González & Pesantes, 2022).

**Figura 24.**

*Variable par de referencia del motor.*

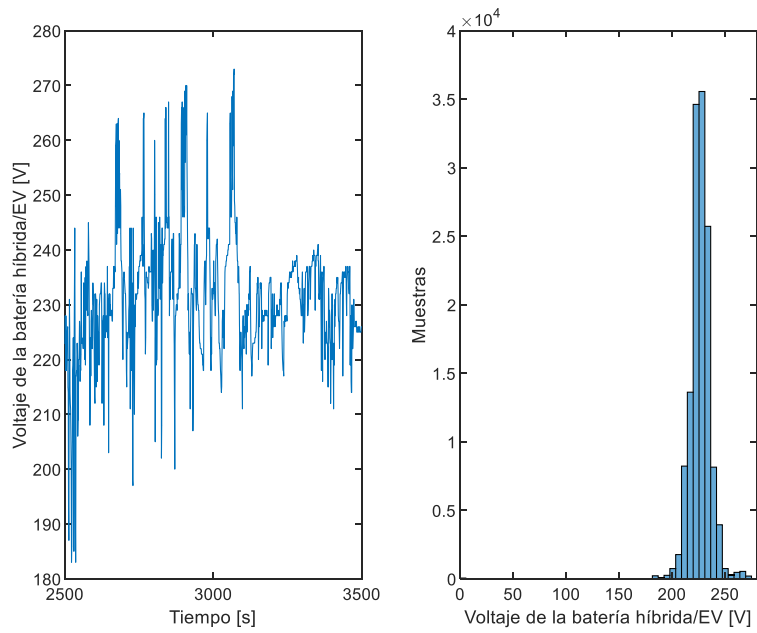


### **Voltaje del sistema de batería híbrido/EV (16)**

Esta variable indica el voltaje total de la batería en todo el trayecto de las rutas establecidas, donde se presenta reducción de voltaje cuando la batería es el encargado de alimentar al motor eléctrico para dar la tracción al vehículo.

**Figura 25.**

*Variable voltaje del sistema de batería híbrido/EV.*

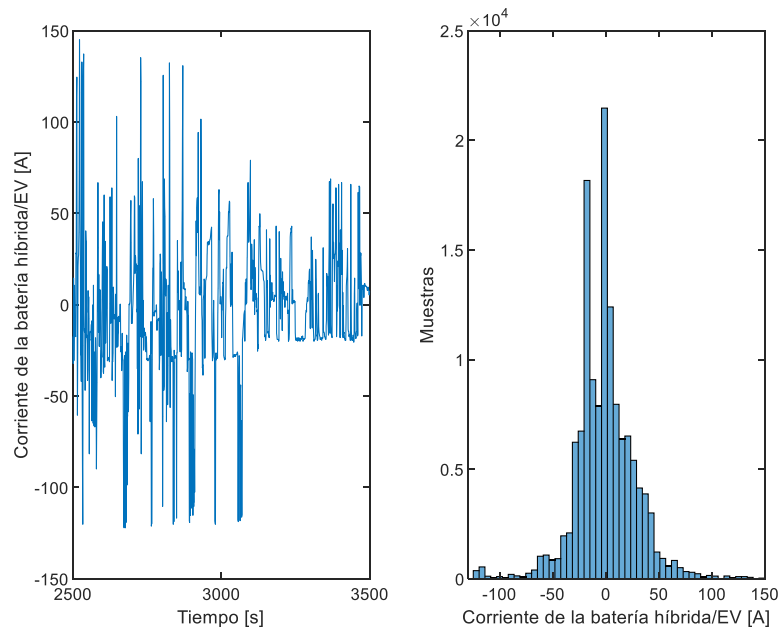


### **Corriente del sistema de batería híbrido/EV (17)**

Esta variable indica la corriente de la batería que tiene en todo el trayecto, los valores de corriente indican cuando este se está cargando y descargando.

**Figura 26.**

*Variable corriente del sistema de batería híbrido/EV.*



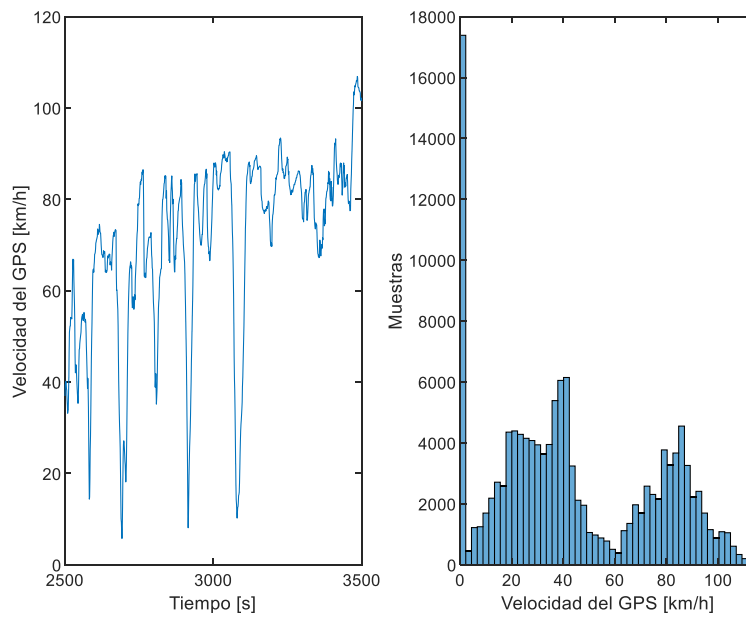
### **Velocidad del GPS (18)**

Esta variable indica la velocidad a la que se encuentra el vehículo en los instantes de todo el trayecto, los datos presentan una mayor precisión que la entregada por el sensor VSS, la unidad de medida que da el escáner es en kilómetros sobre hora (km/h).



**Figura 27.**

*Variable velocidad del GPS.*

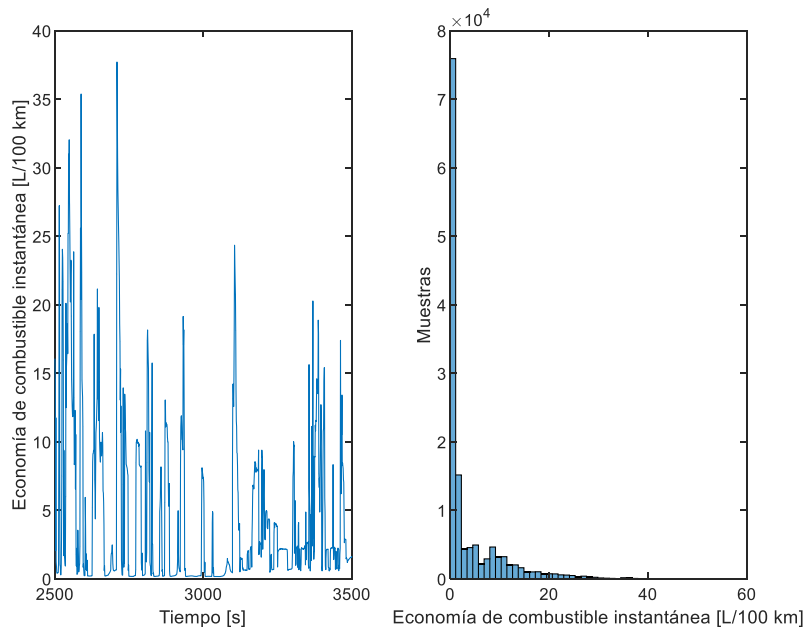


### **Economía del combustible instantánea (19)**

La variable de la economía del combustible instantáneo indica el consumo del motor de combustión al momento de que la mariposa de aceleración se encuentra abierta a cualquier porcentaje desde 0 a 100%, la unidad de medida que el escáner da es en litro sobre 100 kilómetros (l/100 km).

**Figura 28.**

*Variable economía del combustible instantánea.*

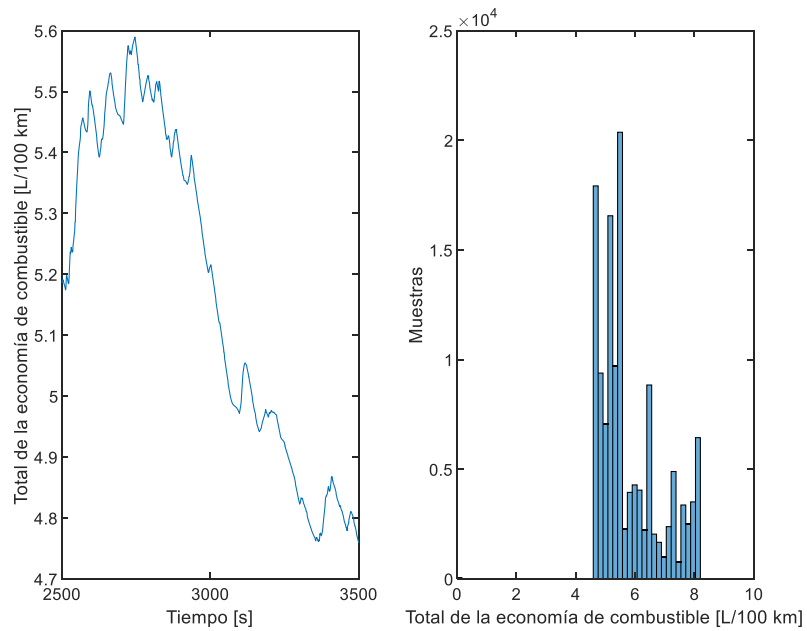


### **Economía total de combustible (20)**

La variable de economía total del combustible indica el consumo del motor de combustión en ciertas distancias en periodos de tiempo en el recorrido de las rutas establecidas, la unidad de medida de la variable que da el escáner es en litro sobre 100 kilómetros (l/100 km) (González & Pesantes, 2022).

**Figura 29.**

*Variable economía total del combustible.*

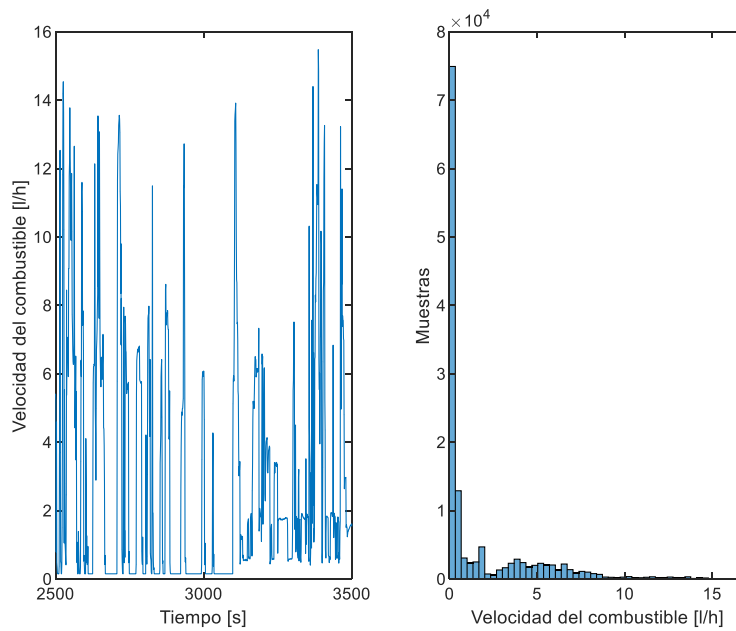


### **Velocidad de combustible (21)**

Esta variable indica el flujo de combustible que se tiene al momento del motor de combustión está funcionando, esta variable va de la mano con el consumo instantáneo, puesto que, depende de cuanto esté abierta la mariposa de aceleración, la unidad de medida de la variable es en litro sobre hora (l/hr) (González & Pesantes, 2022).

**Figura 30.**

*Variable velocidad de combustible.*

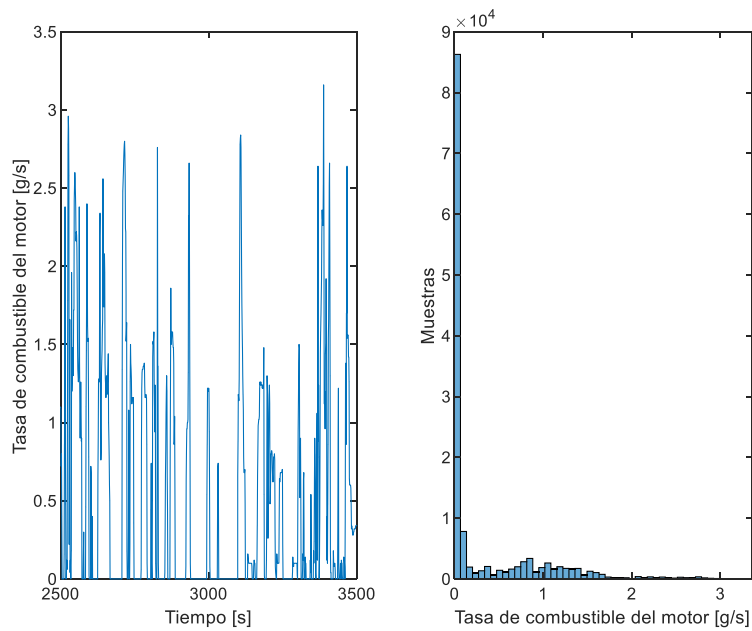


### **Tasa de combustible del motor (22)**

La variable de tasa de combustible del motor indica el consumo instantáneo, los datos son cálculos por medio del ECM, mismo que utiliza el volumen de combustible utilizado en un periodo de tiempo. La unidad de medida que el escáner da es en gramos sobre segundo (g/s) (González & Pesantes, 2022).

**Figura 31.**

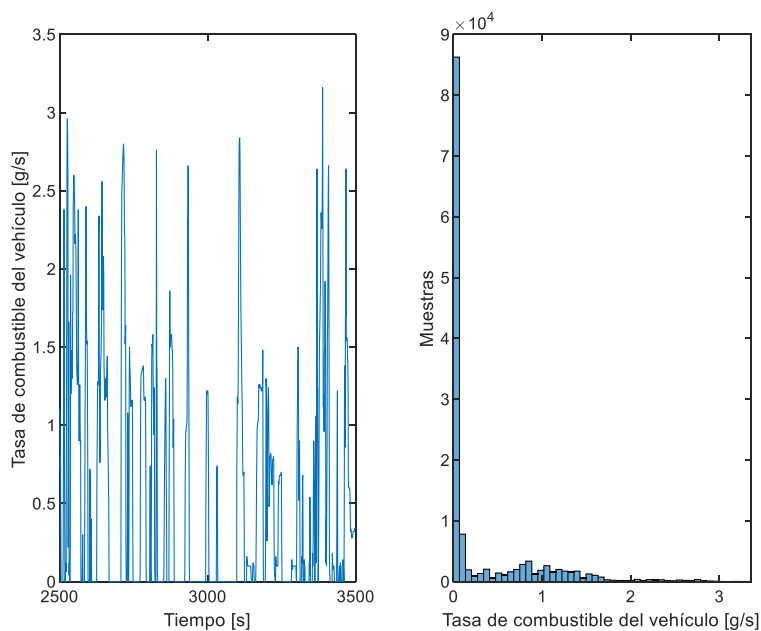
*Variable tasa de combustible del motor.*



### **Tasa de combustible del vehículo (23)**

Está variable de la misma manera que la tasa de combustible del motor indica el consumo instantáneo que se tiene cuando el motor de combustión interna está funcionando, puesto que, cuando este se encuentra apagado el valor de la tasa es igual a cero, la unidad de medida que el escáner da es de gramo sobre segundo (g/s).

**Figura 32.** Variable tasa de combustible del vehículo.

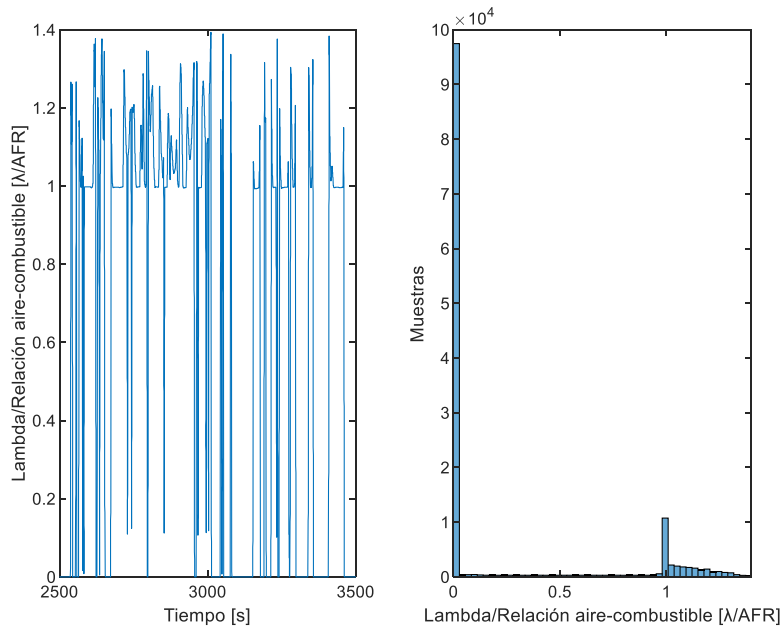


### **Relación de equivalencia comandada por aire/combustible (24)**

La variable indica el LAMBDA a la que se encuentra la mezcla teniendo datos menores y mayores a uno, los valores mayores indican cuando el vehículo está funcionando con una mezcla pobre, en cambio los valores menores a uno indican que el vehículo está funcionando con una mezcla pobre, la unidad de medida de esta variable es masa sobre masa (m/m), la mezcla ideal o estequiométrica es cuando se tiene un valor de lambda de 1 y un AFR de 14.7 (González & Pesantes, 2022).

**Figura 33.**

*Variable relación de equivalencia comandada por aire/combustible.*



## 2.4. Métodos estadísticos para el análisis de datos

### 2.4.1. Correlación

El método de correlación es indispensable en el análisis de datos, ya que, permite identificar la intensidad de la relación lineal entre dos variables. Si al utilizar el método no existe correlación entre las variables analizadas, no existe tendencia donde las variables incrementen o disminuyan en conjunto. No obstante, se debe tener en consideración que, si entre dos variables no existe correlación, no se debe concluir que son variables independientes, puesto que, estas pueden tener una relación no lineal (Mathworks, 2023).

Cuando se utiliza la correlación se puede obtener un coeficiente el cual puede variar entre -1 y 1 donde:

Los valores próximos a -1 indican que los datos presentan una correlación negativa, es decir, una relación lineal inversa o lo que se conoce como anti-correlación.

Los valores cercanos a 1 sugieren que los datos tienen una correlación positiva, lo que significa que existe una relación lineal directa en las variables de estudio.

Los valores próximos o son iguales a cero, indican que no existe una relación lineal entre las variables analizadas.

#### **2.4.2. Random Forest**

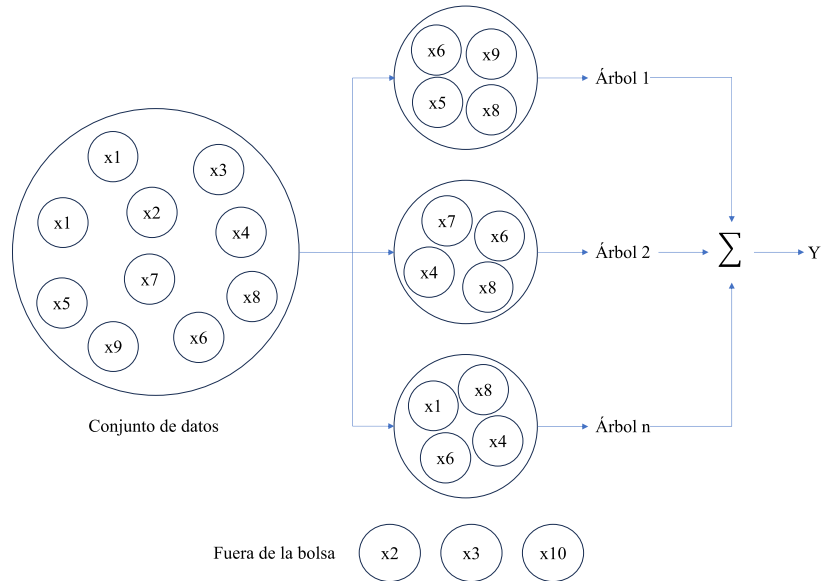
Para determinar la demanda energética del vehículo, se considera el método de Random Forest, debido a que, es una herramienta indispensable para el análisis de datos. Este método fue desarrollado por Brieman en el año 2001, esta técnica crea diversos árboles de decisión utilizando un conjunto de variables de entrenamiento. Los resultados obtenidos de cada uno de los árboles de decisión se combinan para construir un modelo más robusto que aquel que se podría obtener de manera individual con cada árbol. De esta manera, el método Random Forest permite realizar predicciones más precisas y confiables (Espinosa Zúñiga, 2020), para la creación de estos árboles se sigue dos etapas tales como:

- Cada árbol está compuesto por subconjuntos de las variables predictivas que se llaman  $(m)$ , por lo que  $(m)$  debe ser menor que el total de las variables predictivas  $(M)$ .
- Cada uno de los árboles creados se desarrollarán hasta su máxima extensión, es decir, hasta que no sea posible continuar la subdivisión de las ramas de decisión (Lizares, 2017).



**Figura 34.**

*Random Forest.*



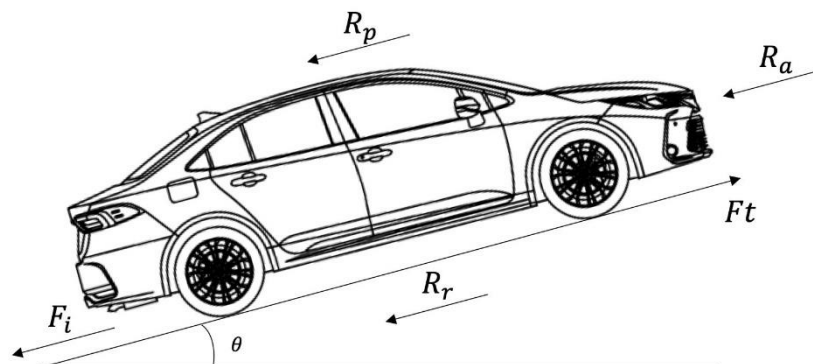
**Fuente:** (Lizares, 2017)

## 2.5. Dinámica del automóvil

En el recorrido de las rutas se presentan fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo, por lo que, se utilizó fórmulas de dinámica longitudinal del automóvil para estimar dichas fuerzas. Con estos valores es posible calcular el consumo energético del vehículo en las diferentes rutas.

**Figura 35.**

*Fuerzas opositoras al movimiento del vehículo.*



La fuerza de tracción está influenciada directamente de la aceleración, resistencia a las pendientes, fuerza de frenado, resistencia a la rodadura y aerodinámica (Rivera Campoverde et al., 2022), cómo se muestra en la siguiente ecuación.

$$ma_x = F_t - F_{res} - R_p - F_{brk}$$

$m$  = masa del vehiculo en kg.

$a$  = aceleración del vehiculo en  $\frac{m}{s^2}$

$F_t$  = Fuerza tractora del vehículo en N.

$F_{brk}$  = fuerza de frenado en N.

$F_{res}$  = suma de la resistencia a la rodadura y aerodinamica en N.

$R_p$  = fuerza de resistencia a la pendiente en N.

La aceleración puede ser calculada con la siguiente ecuación.

$$a_x = \frac{V_{i+1} - V_i}{t_{i+1} - t_i}$$

La suma de la resistencia a la rodadura y aerodinámica puede ser calculada con la siguiente ecuación.

$$F_{res} = mg(f + f_0V^{2.5}) + \frac{1}{2}\rho C_x A_f V_i^2$$

La resistencia experimentada en el ascenso en pendiente se muestra en la siguiente ecuación.

$$R_p = mg \sin\left(\frac{Alt_{i+1} - Alt_i}{S_{i+1} - S_i}\right)$$

La fuerza de frenado es aplicada cuando no existe fuerza de tracción, incluso la resistencia aerodinámica y la resistencia a la rodadura nunca serán negativas porque dependen directamente de la velocidad del vehículo (Rivera Campoverde et al., 2022).

La potencia requerida para vencer las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo se expresa por la fuerza tractora en función de la velocidad en unidad de Vatio, esta se presenta en la siguiente ecuación.

$$P_{rueda} = F_t \cdot V$$

Donde:

$$V = \text{velocidad en } \frac{m}{s}$$

### **3. CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DEL VEHÍCULO TOYOTA COROLLA HÍBRIDO**

El presente capítulo muestra los resultados obtenidos y análisis de la demanda energética del vehículo Toyota Corolla Híbrido, el cual fue evaluado a partir de la metodología bibliográfica en tres rutas establecidas. En el recorrido de las rutas determinadas con anterioridad, se determina que parámetros como la aceleración, porcentaje de apertura de la mariposa del acelerador y el estado de carga de la batería son fundamentales para entender la demanda energética del vehículo híbrido. Los resultados obtenidos y su posterior análisis dan a conocer el comportamiento que tienen estos parámetros en diferentes condiciones de manejo que incluyen velocidad, tipo de carretera, conductor y tránsito vehicular.

Adicional, se muestra una gráfica que da a conocer la correlación el nivel de incidencia que tienen los parámetros mencionados con las principales variables analizadas para mostrar que variables tienen más inferencia directa en los resultados obtenidos.

#### **3.1. Ruta número 1: ruta basada en RDE**

##### **3.1.1. Parámetros de la batería en la ruta establecida**

Para determinar la demanda energética del vehículo híbrido, empezamos por analizar valores del estado de carga de la batería y el estado de salud de la batería., ante ello se tiene:

###### **3.1.1.1. Estado de carga de la batería**

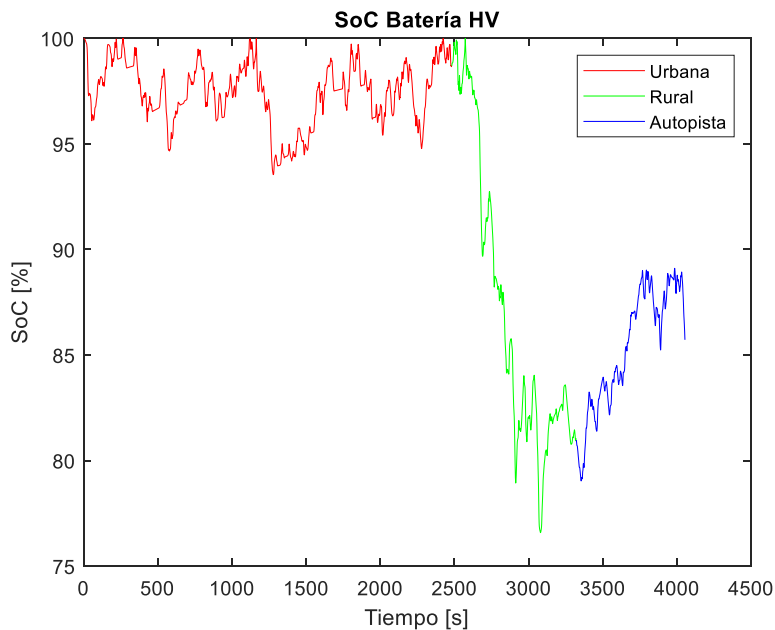
Al ser un sistema recargable, el estado de carga presenta incrementos y disminuciones de valores.

Se observa la figura 36, en donde el porcentaje de carga de la batería se encuentra por encima del valor de 75%, mismo que, es considerado un parámetro óptimo de funcionamiento de

la batería de alta tensión. En la zona urbana, se observa que el valor de carga de la batería no baja de un 93%, debido a que, en dicha zona no se requiere muchas prestaciones para el avance del vehículo, considerando también el encendido del motor térmico. En la zona rural, se tiene un descenso del 100% a valores cercanos de 75%, entendiéndose como un consumo de energía mayor al requerir mayores prestaciones para mantener una velocidad entre 60 a 90 km/h, cambio de las condiciones de rutas y estilo de conducción. En la ruta autopista, se debe mantener una velocidad mayor a 90 km/h, requiriéndose un mayor consumo de energía, por ende, la batería se encuentra en porcentajes de carga entre 80 a 90%.

**Figura 36.**

*Estado de carga de la batería en la ruta RDE.*



### 3.1.2. Fuerzas actuantes en el vehículo

Dentro de la ruta establecida, el vehículo Toyota Corolla Híbrido se encuentra sometido a distintas fuerzas o resistencias que se oponen al movimiento, mismas que deben ser vencidas por el tren

motriz del vehículo en cuestión. Ante ello, las fuerzas que se oponen al movimiento dependen de los siguientes factores:

- Zona geográfica de conducción.
- Superficie frontal del vehículo.
- Ángulo de inclinación de la carretera y tipo de carretera.
- Densidad del aire.
- Coeficiente aerodinámico (propio del vehículo).
- Velocidad y aceleración del vehículo.

Estos factores tienen influencia en la eficiencia del combustible y del tren motriz del vehículo, por tanto, la fuerza tractora del vehículo debe ser mayor a la suma total de las fuerzas que se oponen al movimiento.

#### **3.1.2.1. Fuerza aerodinámica**

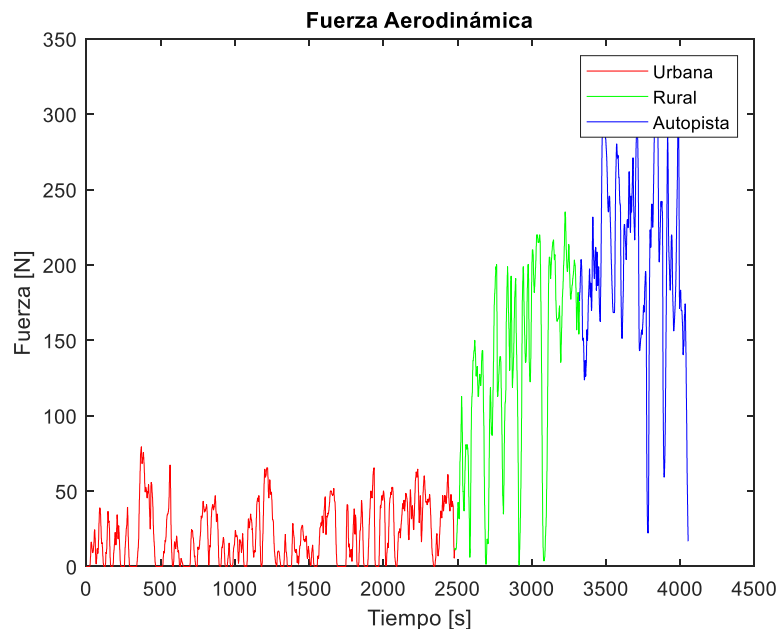
Es la resistencia presente producida bajo la fricción existente entre el aire y la superficie del vehículo, y la variación de sus valores será en función de parámetros de la velocidad.

En la figura 37 se observa la resistencia aerodinámica durante la ruta establecida y cada color representa el valor de esta, en las distintas etapas del recorrido: ruta urbana, ruta rural y ruta autopista. En el tramo de ruta urbana (color rojo) se observa valores inferiores a los 100 N, que corresponden a una baja velocidad de manejo, misma que se deriva como, una menor fricción existente entre el aire y el vehículo debido a factores como: tráfico, normas de seguridad vial y límites de velocidad establecidos. En el tramo rural (color verde) corroboramos un aumento de resistencia aerodinámica debido al incremento de velocidad establecido y menor factores de tráfico

existentes. Por último, en el tramo autopista se observa un incremento en el valor de la fuerza debido al aumento de la velocidad establecida por la extensión RDE de la Euro 6.

*Figura 37.*

*Fuerza de resistencia aerodinámica en ruta RDE.*



### **3.1.2.2. Fuerza de resistencia a la pendiente**

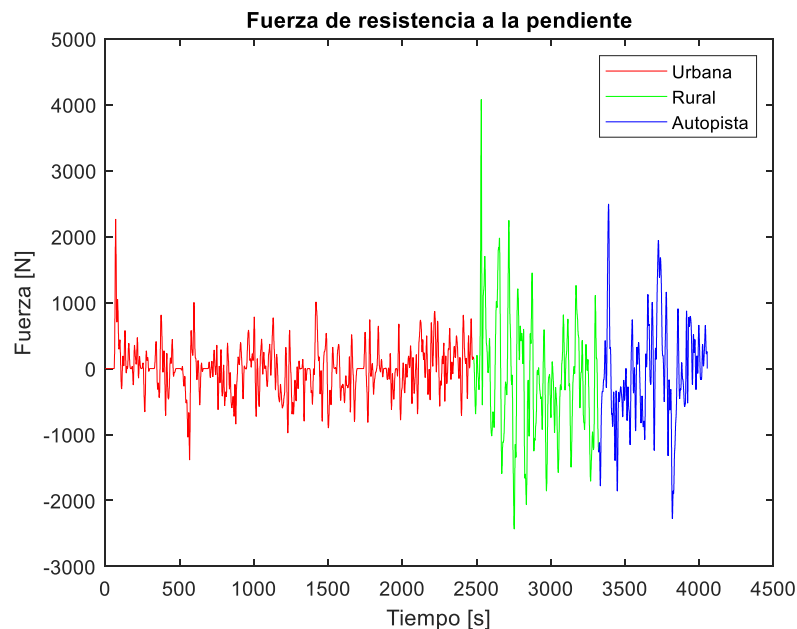
Fuerza de resistencia presente cuando el vehículo se encuentra en un tramo con un ángulo de inclinación mayor o menor a cero, a ello, se debe considerar factores como el peso del vehículo y condiciones ambientales.

Como se observa en la figura 38, los valores de la resistencia a la pendiente son más bajos en el tramo urbano, considerando que, en dicha zona, el valor de pendiente de la carretera tiene ángulos de inclinación muy bajos, pero no despreciables. En el tramo rural, se observa picos más elevados que indican que el vehículo utilizó mayor energía para superar una mayor inclinación de carretera, es decir, el ángulo de inclinación de la calzada era mayor, mientras que, los valores negativos se interpretan como una desaceleración o frenado en el descenso de la calzada. Al

analizar el tramo de autopista, se encuentra una variación de valores con valores de 2000 y -2000 N, como máximos y mínimos, respectivamente.

**Figura 38.**

*Fuerza de resistencia a la pendiente de ruta RDE.*



### **3.1.2.3. Fuerza de resistencia a la rodadura**

Presente debido al rozamiento del neumático del vehículo y la carretera de circulación. El aumento o disminución de valores depende de diversos factores durante la prueba de ruta como la presión de inflado de los neumáticos, el tipo empleado de neumático en el vehículo, la carretera de circulación y las condiciones climáticas como también, la temperatura del neumático.

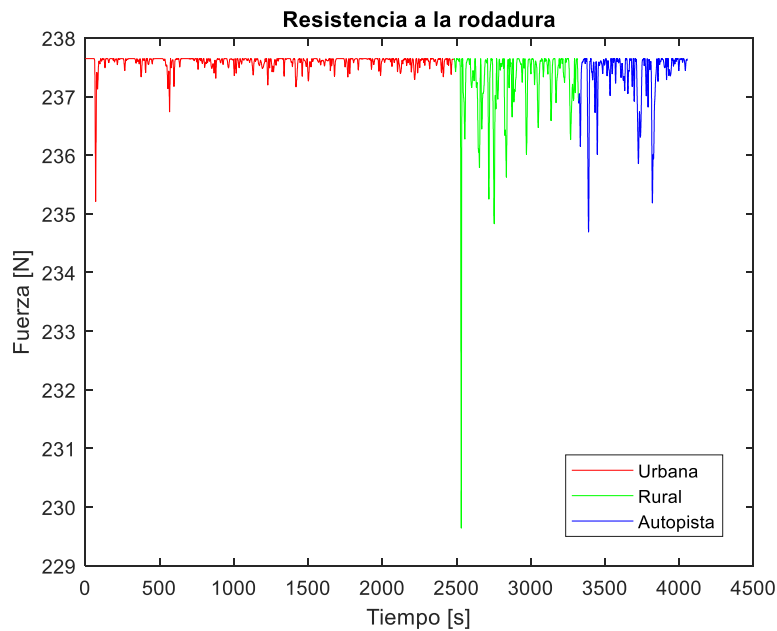
En la figura 39 podemos observar distintos valores de resistencia a la rodadura, mismos que tiene un valor máximo preliminar a 237,6 N que se interpreta como la fuerza necesaria para mover el vehículo en condiciones iniciales de operación considerando su peso, y el contacto del neumático con el suelo considerando una velocidad nula. Se observa que la fuerza a la rodadura en función de la ruta disminuye, debido a factores como la formación del neumático y la variación



de valores de resistencia aerodinámica. A medida que la velocidad aumenta, la deformación del neumático es más uniforme, este parámetro nos da a conocer que la fuerza aerodinámica tiene cierta influencia en la resistencia a la rodadura. Dado este caso, a mayor velocidad, menos resistencia a la rodadura, teniendo valores que presentan el siguiente comportamiento.

*Figura 39.*

*Fuerza de resistencia a la rodadura de ruta RDE.*



#### 3.1.2.4. Fuerza de resistencia a la inercia

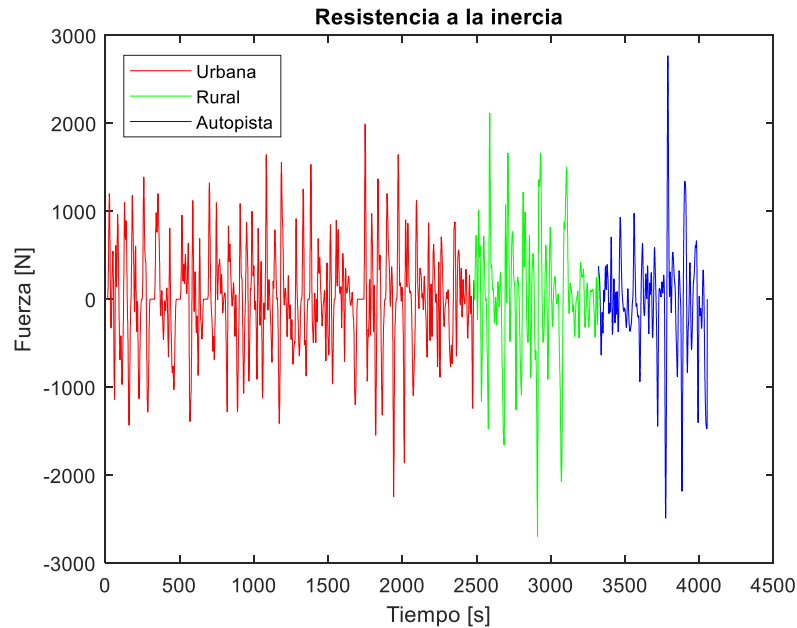
Presente por la existencia de un valor de masa del vehículo y su aceleración desde un punto respecto a otro.

En la figura 40 se observa las oscilaciones de la resistencia a la inercia, en donde se observa que las mayores oscilaciones se dan en zona urbana con valores máximos de 2000 N, indicando que tuvimos mayores aceleraciones en dicho tramo. Los picos positivos indican aceleraciones del vehículo en arranques o requerimiento de prestaciones para mayor velocidad o pendiente, mientras que, los picos negativos, indican desaceleraciones, cuando el vehículo ha recorrido pendientes de

bajada o frenado. En la zona rural, obtiene un valor máximo de 2000 y -2800 N indicando un valor promedio de fuerza de inercia. Por último, en la zona autopista, se requiere mayores prestaciones de velocidad, con un valor máximo de 2800 N.

**Figura 40.**

*Fuerza de resistencia a la inercia de ruta RDE.*



### 3.1.2.5. Fuerza tractora

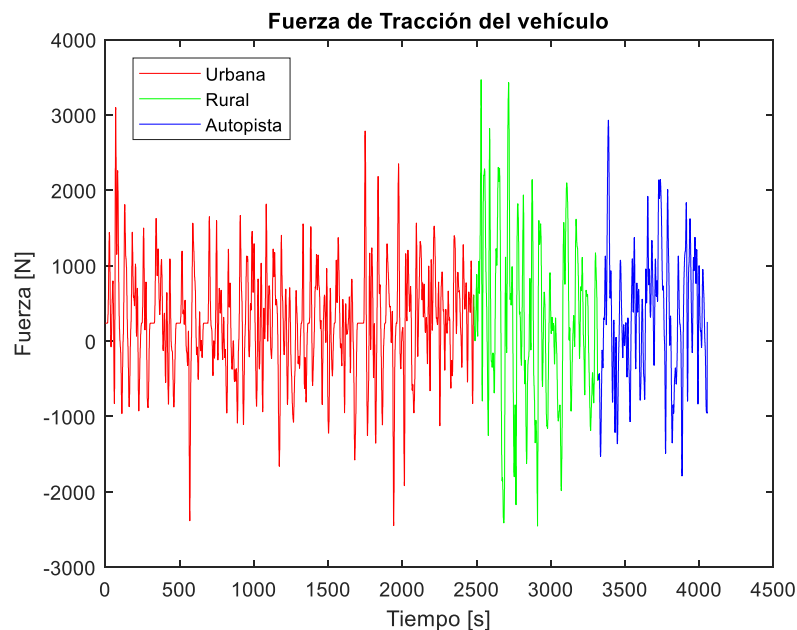
Denotada como  $F_t$ , es la fuerza necesaria que tiene el vehículo para vencer las fuerzas que se oponen al movimiento, esta es la fuerza que denota las prestaciones del vehículo y su variación depende del cambio de marcha, calzada de recorrido, estilo de conducción del conductor y posibles variaciones de condiciones climáticas como agua en la calzada. Dentro del ciclo urbano, se observa valores de fuerza mayores a los 1000 N, indicando que el vehículo hizo uso de las prestaciones de sus motores para superar varios obstáculos. Las curvas con valores negativos presentes en la gráfica denotan la desaceleración o frenado del vehículo, dando a conocer que intervinieron factores como frenado del vehículo por el tráfico o irregularidad de la calzada, inicio de ascenso

en pendiente del vehículo o el aumento de la fricción existente entre el neumático y la carretera. Se tiene valores máximos de fuerza de tracción, mismos que son:

- Para zona urbana: aproximado de 3100 N en aceleración, y -2500 N en desaceleración.
- Para zona rural: aproximado de 3400 N en aceleración y -3400 N en desaceleración.
- Para autopista: aproximado de 3000 N en aceleración y -2000 N en desaceleración.

**Figura 41.**

*Fuerza de tracción del vehículo en ruta RDE.*



### **3.1.2.6. Torque en la rueda**

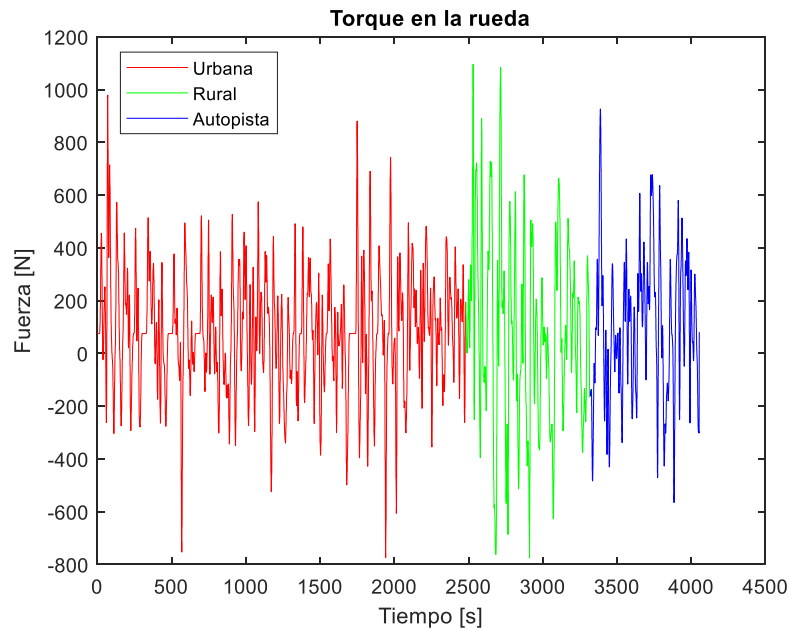
Hace referencia al torque de salida del tren motriz híbrido a las ruedas para generar el movimiento hacia adelante o hacia atrás, dependiendo de lo requerido por el conductor.

Se entiende que, los valores de torque positivo hacen referencia al valor de torque empleado para un avance hacia adelante, presente en aceleraciones o procesos de carga cuando el motor térmico se enciende. Los valores negativos, se interpretan como valores empleados en el frenado,

desaceleración presente en pendientes, freno regenerativo y cuando el motor térmico se apaga luego del proceso de carga de la batería.

**Figura 42.**

*Torque del tren motriz híbrido del vehículo en ruta RDE.*



### **3.1.3. Parámetros de la demanda energética del vehículo híbrido**

Dentro del conocimiento de la demanda energética del vehículo híbrido se deben analizar los parámetros pertenecientes al tren motriz híbrido, conociéndose la potencia demandada por cada motor. El motor eléctrico se mantiene encendido siendo el principal impulsor del vehículo mientras que el motor de combustión interna se enciende para dar asistencia al vehículo y recargar la batería, para esta última, el vehículo puede estar detenido.

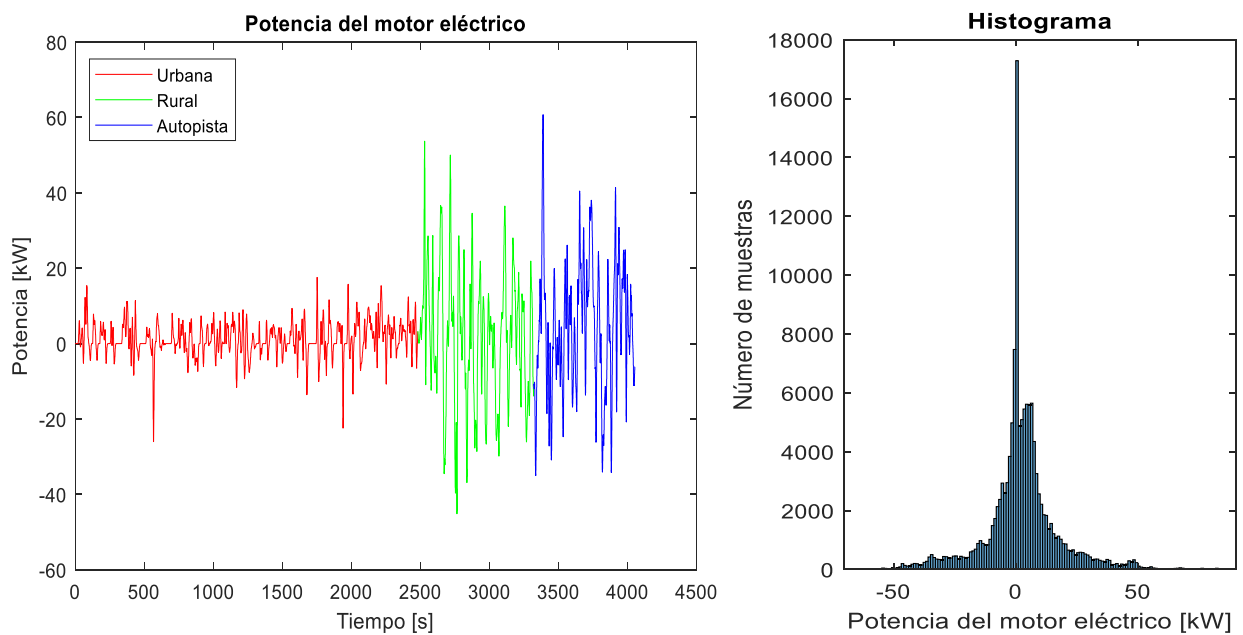
#### **3.1.3.1. Potencia del motor eléctrico**

El motor eléctrico presente en el vehículo denota una potencia variable visualizada en la figura 43. En la zona urbana se observa una menor demanda de potencia, debiéndose a una calzada con

menores pendientes y menor resistencia al avance. En la zona rural, el incremento se debe a cambio de calzada y requerimiento de mayores prestaciones como mayor velocidad y cambio de condiciones de calzada. Por último, en la zona autopista se requiere la mayor potencia consumida en la ruta, por requerimientos de mayor velocidad, superior a los 90 km/h, y las irregularidades en que presenten la calzada.

**Figura 43.**

*Potencia del motor eléctrico en ruta RDE.*



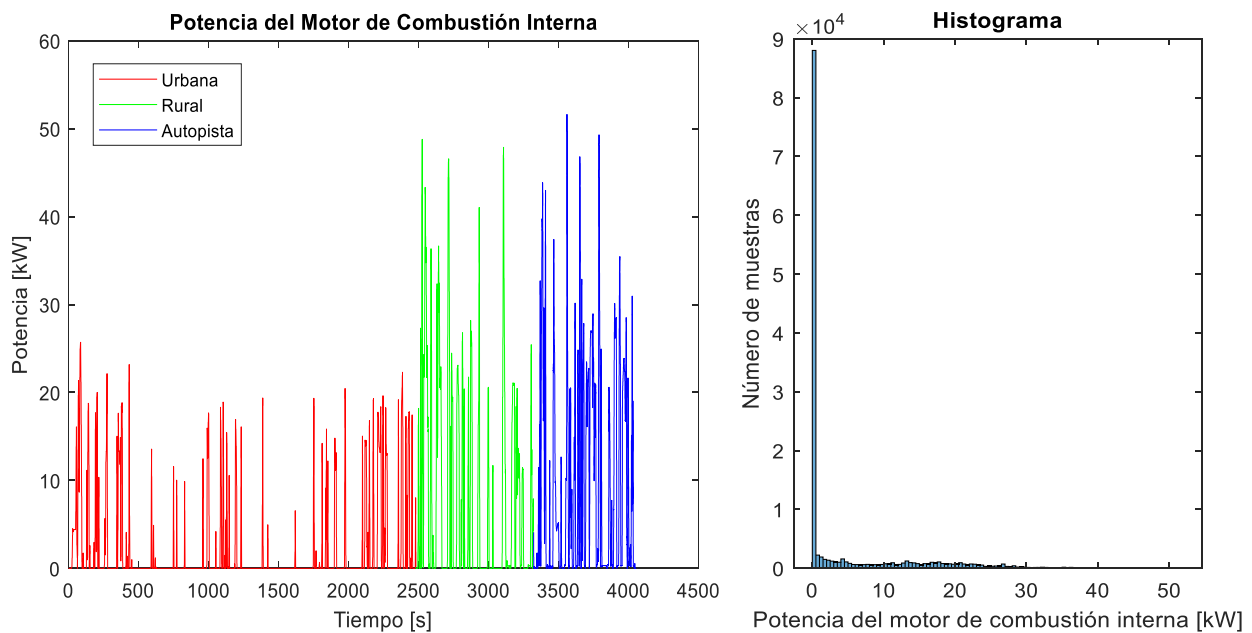
### 3.1.3.2. Potencia del motor de combustión interna

La potencia del motor de combustión interna se hace presente cuando se activa el motor térmico para dar asistencia al motor eléctrico o recargar la batería de alta tensión. En este contexto, el vehículo Toyota Corolla Híbrido posee un motor naftero de 1798 cc de cuatro cilindros en línea que entrega una potencia máxima de 72 kW a 5200 rpm. De acuerdo con la figura 44, la zona urbana no requiere mucha demanda de potencia del motor eléctrico, debido a que, la zona urbana se circula a bajas velocidades con mayor número de paradas en conjunto con los arranques y ciclos

que no requieren una mayor velocidad por periodos largos. La zona rural denota un crecimiento de valores de potencia debiéndose al incremento de velocidad del vehículo por periodos más largos e irregularidades en la calzada, aumentando la resistencia al avance y, por ende, demandándose mayor potencia del tren motriz híbrido. En la zona autopista, se observa valores similares a la zona rural, puesto que, de acuerdo con la extensión RDE de la EURO 6, el vehículo debe permanecer por valores mayores a 90 km/h por mayor tiempo, con estas indicaciones se requiere que el vehículo demande mayor potencia del tren híbrido.

**Figura 44.**

*Potencia del motor de combustión interna en ruta RDE.*



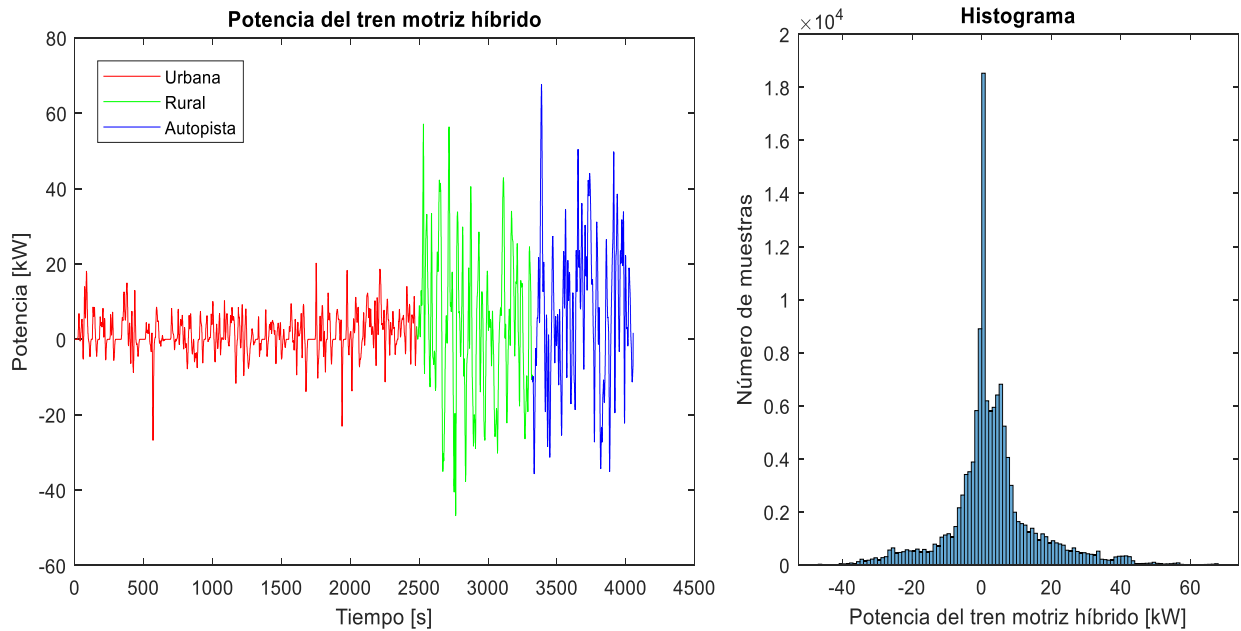
### 3.1.3.3. Potencia del tren motriz híbrido

En la figura 45, los valores positivos indican que se está entregando potencia a la rueda para el avance positivo y los valores negativos indican que la potencia está dirigida en sentido contrario, entendiéndose como valor de frenado regenerativo o desaceleración. En la zona urbana se observa una menor demanda de potencia debido a los factores mencionados como velocidades bajas y

menor resistencia de avance, en la zona rural se observa un incremento de potencia por el aumento de resistencia de avance y el cambio de la calzada. Y en la zona autopista, se observan valores similares al de la zona rural, debido a factores como velocidad mayor, aumento de pendientes de la calzada y aumento de la resistencia de avance por tipo de calzada.

**Figura 45.**

*Potencia del tren motriz híbrido en ruta RDE.*



### 3.1.3.4. Energía consumida del Toyota Corolla Híbrido

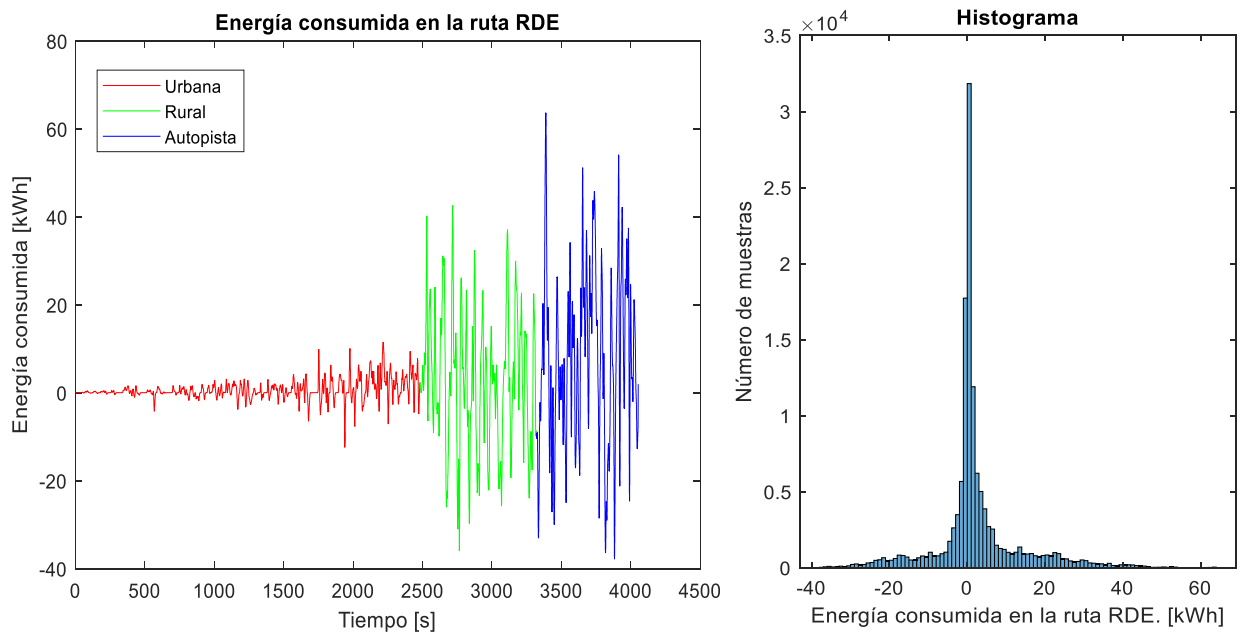
La energía consumida del vehículo Toyota Corolla Híbrido, medida en kWh, denotada en la figura 46, muestra que el vehículo tiene diferentes niveles de consumo de energía en las tres zonas estudiadas. En la zona urbana se denota un menor consumo de energía, ya que, por las condiciones establecidas, el vehículo no requiere de mucha energía para su movimiento. En el casco rural, el vehículo demanda mayor de energía al requerir sostener una mayor velocidad hasta cumplir un recorrido estipulado. Similar es el caso de la zona autopista con una mayor demanda de energía consumida que se debe a mayor velocidad, por ende, mayor resistencia aerodinámica y mayor

resistencia de rodadura. Se considera también que, al ser una calzada irregular, se tiene ángulos de inclinación de la carretera, si bien no son tan pronunciados, influyen en el consumo de energía.

En este aspecto, se puede denotar que el vehículo Toyota Corolla Híbrido, tiene un mayor consumo de energía cuando se recorre por autopista debido a que posee una mayor velocidad, derivándose una mayor resistencia aerodinámica y aumento de la resistencia a la rodadura, dado que, el coeficiente a la rodadura puede aumentar por factores como: calentamiento de neumáticos, variación de presión de inflado del neumático e irregularidades en la calzada.

**Figura 46.**

*Energía consumida por el vehículo en ruta RDE.*



### 3.1.3.5. Estado de carga vs estado de salud de la batería de alta tensión

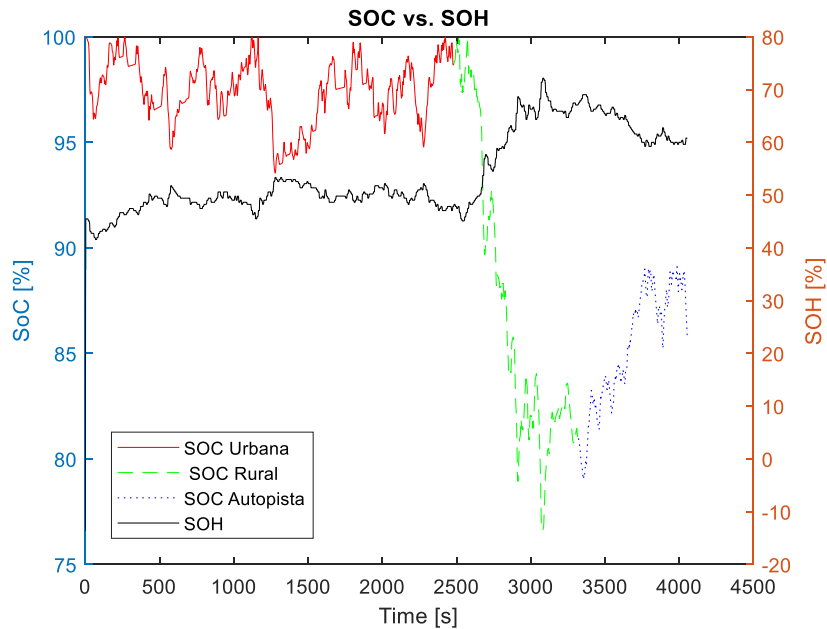
Luego del ciclo de conducción realizado, se considera evaluar el estado de carga (SOC) y el estado de salud (SOH) de la batería de alta tensión para conocer el estado y actual e incluso, predecir la vida restante de la misma. Luego de la ruta RDE, se observa que en la figura 47, el SOH de la



batería se mantiene en niveles superiores al 90%, lo que nos dice que, la batería trabaja con una eficiencia similar al valor nominal.

**Figura 47.**

*Estado de carga vs. estado de salud de la batería de alta tensión.*

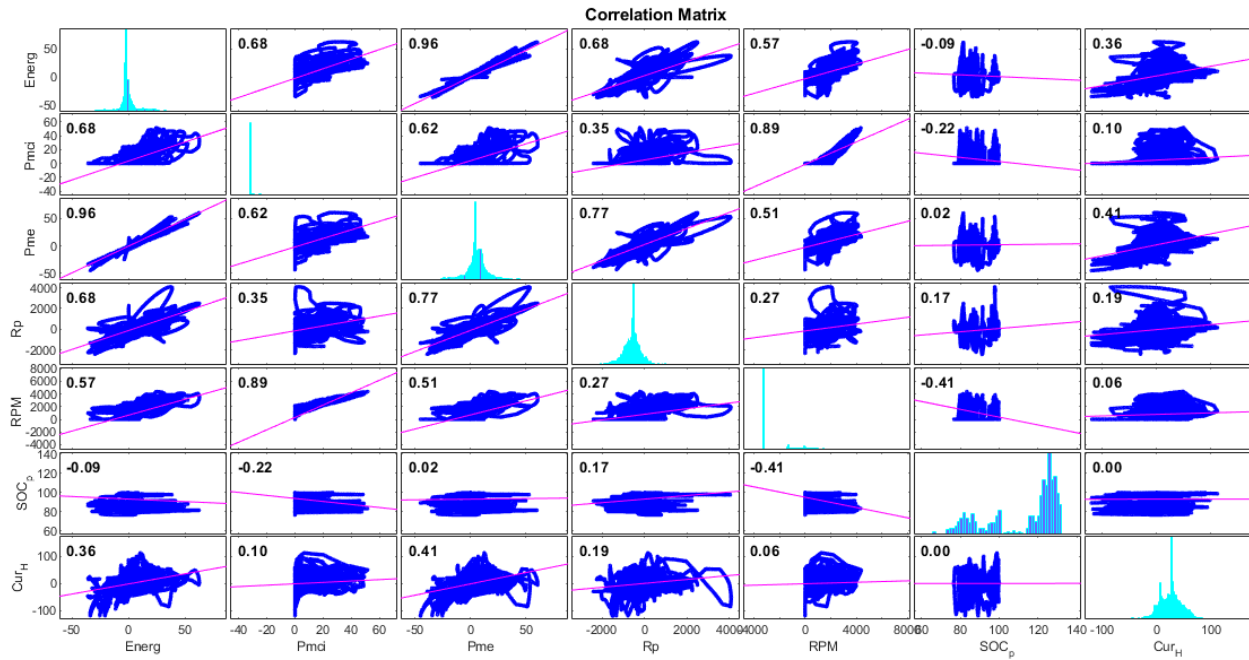


### 3.1.3.6. Correlación de variables

La correlación de variables nos da a conocer el nivel de incidencia que tienen ciertas variables con los resultados obtenidos, es decir, la influencia de una variable analizada en el consumo energético. Para este análisis, se consideran valores de -1 a -0.6 y de 0.6 a 1 como correlaciones fuertes para análisis. Con ello, se tiene:

Figura 48.

Correlación de variables en ruta RDE.



Los factores que inciden en la potencia del motor térmico son directamente las revoluciones por minuto, es decir el vehículo tendrá una mayor potencia de ayuda a medida que se acelere el vehículo, potencia que será aprovechada por el motor eléctrico. Simultáneamente, el motor eléctrico tiene una fuerte correlación con el motor térmico debido a los factores ya explicados, y también sus valores dependerán de la pendiente en la que se encuentra el vehículo. De esta manera, se observa que la energía consumida por el vehículo durante la ruta RDE, depende de un 0.96 de la potencia generada por el motor eléctrico y 0.68 de la potencia generada por el motor térmico. Esto se puede corroborar en su funcionamiento, ya que el motor eléctrico es el principal impulsor del vehículo híbrido y el motor térmico es solo un asistente para recargar la batería de alta tensión y ayudar a superar distintos obstáculos en carretera.

*Tabla 11.*

*Correlación de variables en ruta RDE.*

<b>Tiempo</b>	<b>Energía consumida</b>	<b>% SoC</b>
Potencia MCI	0.68	-0.22
Potencia ME	0.96	0.02
Resistencia pendiente	0.68	0.17
RPM	0.57	-0.41

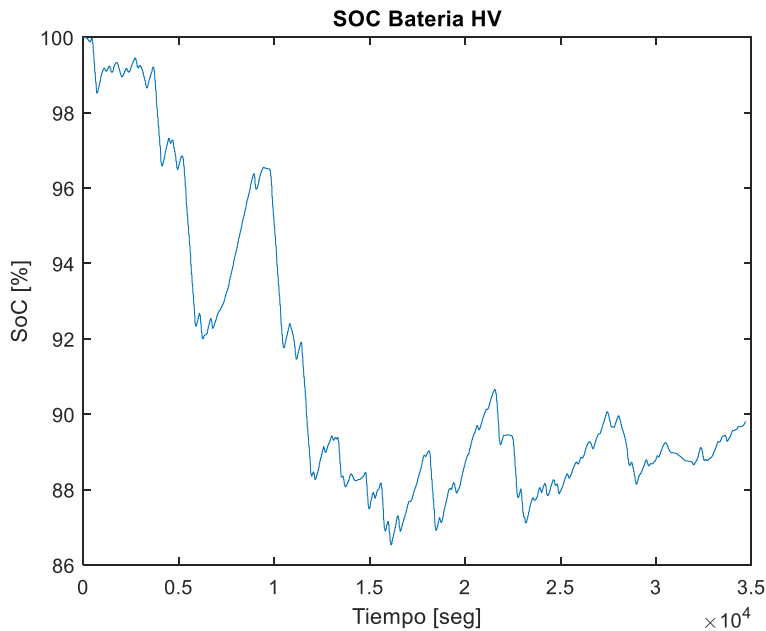
### **3.2. Ruta número 2: ruta aleatoria**

#### **3.2.1. Estado de carga de la batería**

Para esta ruta, como se observa en la figura 49, se puede observar que los valores del estado de carga de la batería están por encima del 86% indicando que la batería ha estado trabajando dentro de un rango óptimo con el valor máximo del 100% y un valor mínimo del 86.4%. Los valores positivos indican la carga de la batería y los valores descendentes indican la descarga de la batería por envío de energía al motor eléctrico para el requerimiento de distintas prestaciones.

**Figura 49.**

*Estado de carga de la batería en ruta 2.*



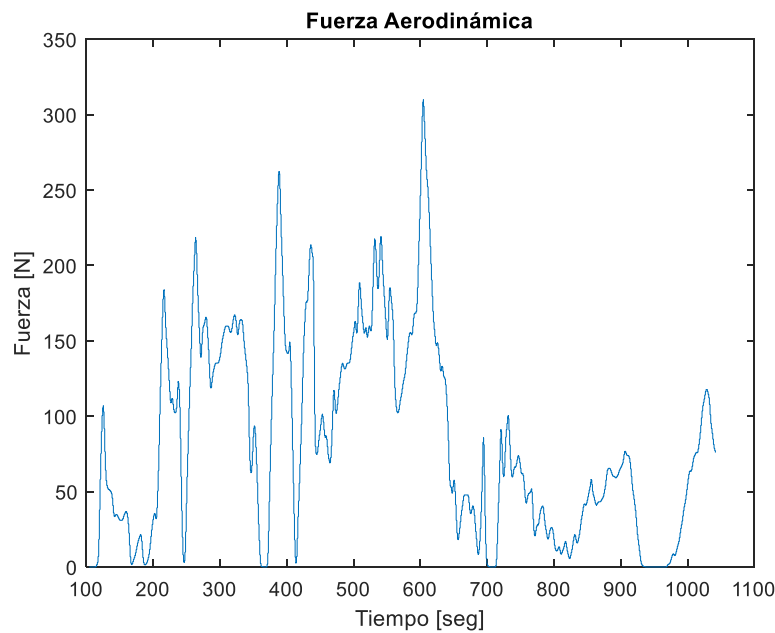
### **3.2.2. Fuerzas actuantes en el vehículo**

#### **3.2.2.1. Fuerza aerodinámica**

En la figura 50, se observa la fuerza aerodinámica superada por el vehículo en la ruta 2, denotando un valor máximo de 302 N y un valor mínimo de 0 N, al ser una resistencia al movimiento dependiente de la velocidad, el valor cero de fuerza indicaría un frenado del vehículo completo y los valores ascendentes indican los requerimientos de superar la resistencia aerodinámica. A medida que el vehículo avanza y aumenta su velocidad, la fuerza necesaria será superior, por ende, se puede decir que es proporcional al aumento de velocidad del vehículo y al ejercer distintas aceleraciones en la ruta establecida.

**Figura 50.**

*Fuerza de resistencia aerodinámica de ruta 2.*

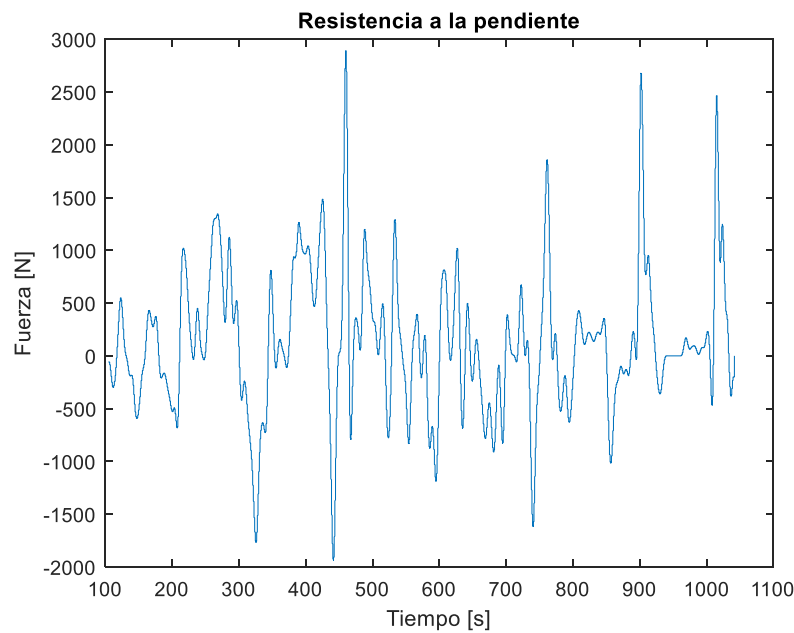


### **3.2.2.2. Fuerza de resistencia a la pendiente**

La figura 51, de resistencia a la pendiente, denota valores positivos y negativos, es decir, valores por encima y debajo de cero. Los valores positivos indican el ascenso de una pendiente en dónde el vehículo requerirá más fuerza para superar la misma, el valor máximo es de 2950 N y el valor mínimo se ha establecido un valor de cero, mismo que puede corresponder a una carretera plana. Los valores negativos indican el descenso del vehículo por pendiente con un valor mínimo de 1900 N y un valor máximo de cero.

**Figura 51.**

*Fuerza de resistencia a la pendiente de ruta 2.*

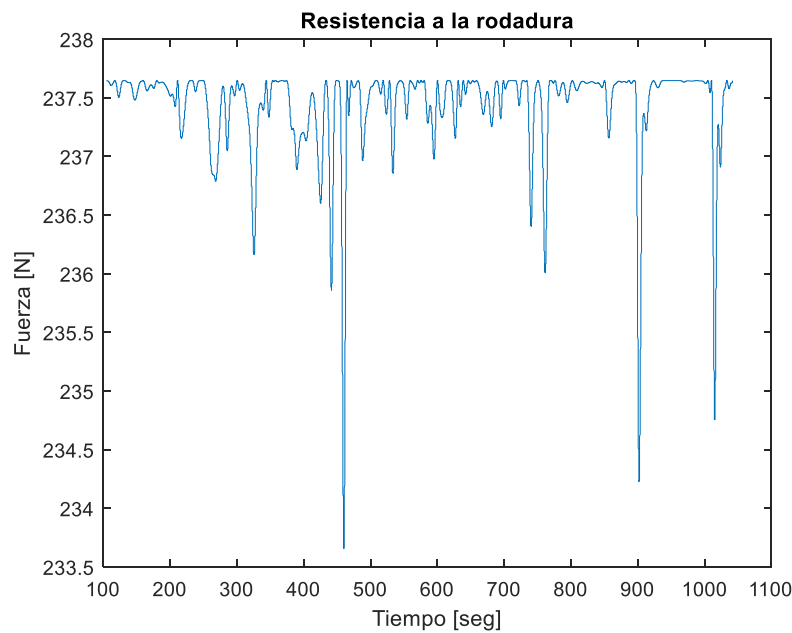


### **3.2.2.3. Resistencia a la rodadura**

Como se observa en la figura 52, el valor de resistencia a la rodadura posee un valor constante de 237.65 N y su variación muestra el descenso de los valores. Esto se debe a que, la resistencia a la rodadura disminuye mientras el vehículo avanza, siendo éste la derivación de un menor contacto de la zona del neumático con la calzada. Su valor máximo es de 237,65 N y su valor mínimo es de 233.65 N. Los picos descendentes indican una mayor velocidad del vehículo.

**Figura 52.**

*Resistencia a la rodadura de ruta 2.*

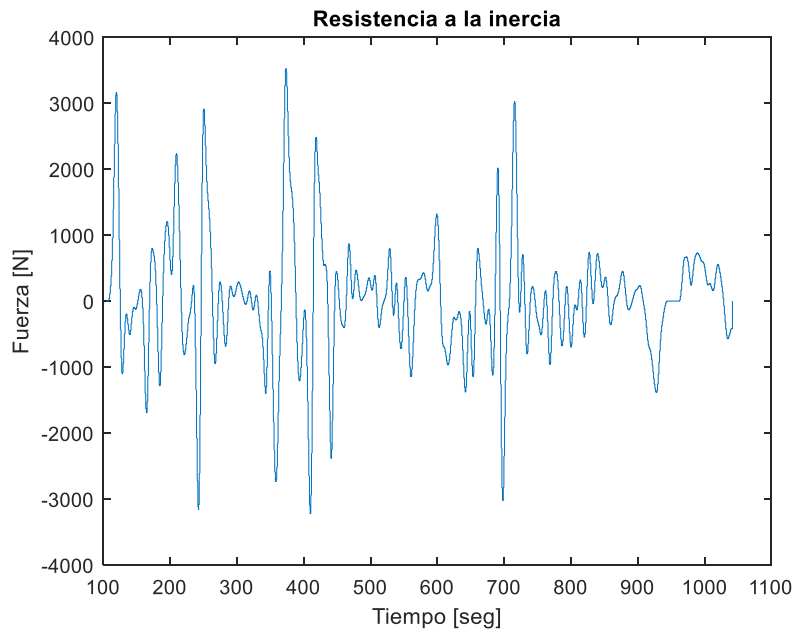


#### **3.2.2.4. Resistencia a la inercia**

Su variación depende de la aceleración del vehículo, por ende, los valores positivos descendentes indican la aceleración del vehículo para alcanzar altas velocidades o superar distintos obstáculos de la calzada, mientras que sus picos descendentes y valores negativos denotan una desaceleración del vehículo que puede deberse al descenso de una pendiente o al frenado regenerativo del mismo. Estos comportamientos se encuentran reflejados en la curva representada respecto al tiempo de la figura 53.

**Figura 53.**

*Resistencia a la inercia de ruta 2.*



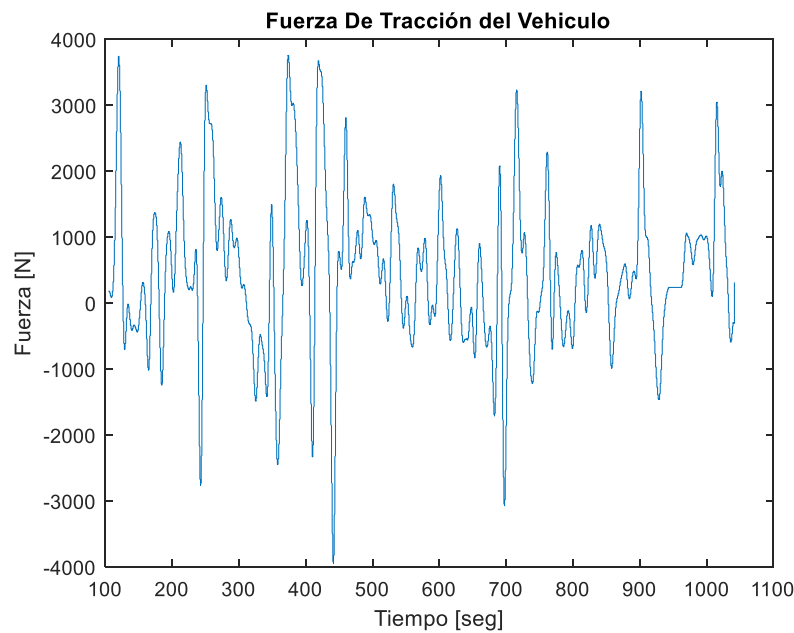
### **3.2.2.5. Fuerza tractora del vehículo**

La figura 54 muestra la fuerza total que debe tener el vehículo para superar las distintas resistencias que se oponen al movimiento. Sus valores dependerán de las condiciones de la carretera, el conductor al mando, el modo de manejo, condiciones climáticas y dimensiones del vehículo. Su valor máximo es de 3900 N, valor que puede darse para alcanzar una mayor velocidad, superar obstáculos o calzadas con pendientes pronunciadas o las 2 simultáneamente. Su valor mínimo es de 4000 N, que denota la desaceleración del vehículo, la recarga de la batería y el descenso de una pendiente. Entonces se conoce su comportamiento a continuación:



**Figura 54.**

*Fuerza de tracción del vehículo en ruta 2.*

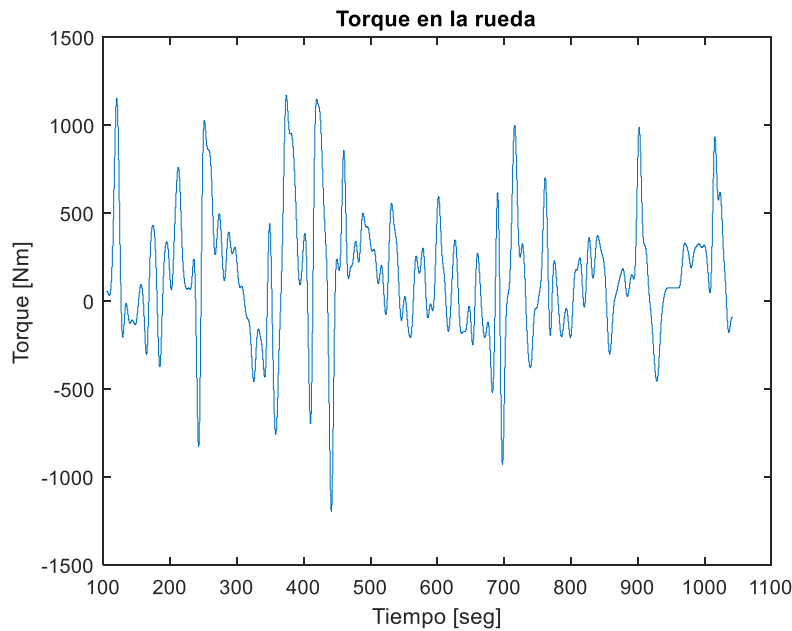


### **3.2.2.6. Torque en la rueda**

El torque en la rueda hace referencia al torque que emite el tren motriz híbrido a las ruedas del vehículo para ejecutar su movimiento. Su valor máximo es de 1100 Nm que corrobora procesos de aceleraciones, encendido del motor térmico y requerimientos para superar calzadas con obstáculos. Los valores negativos tienen un valor mínimo de -1250 Nm, que hacen alusión a la desaceleración, frenado regenerativo y cuando se apaga el motor térmico al cumplir el ciclo recarga.

**Figura 55.**

*Torque del tren motriz híbrido en ruta 2.*



### **3.2.3. Parámetros de la demanda energética del vehículo híbrido**

La prueba de ruta 2 establecida para el presente proyecto conlleva condiciones de manejo aleatorias, es decir, no se siguieron parámetros establecidos para la obtención de datos. Con ello, se busca observar el comportamiento del vehículo híbrido y su demanda energética con los factores ya estudiados en la ruta RDE.

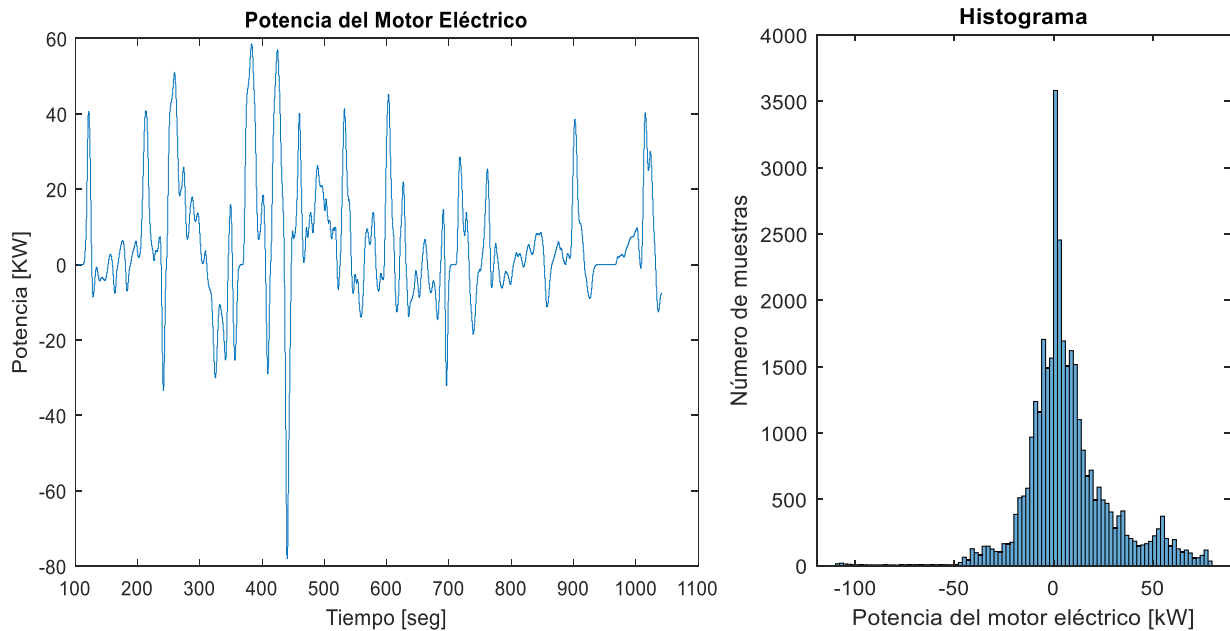
#### **3.2.3.1. Potencia del motor eléctrico**

En la figura 56 se denotan distintos valores de la potencia del motor eléctrico en donde sus picos ascendentes, y considerando que la calzada tenía pendientes pronunciadas, no hacen referencia para alcanzar una velocidad alta, si no, a superar las irregularidades de la carretera. A más de ello, se denota que al circular por una carretera de tierra se requiere mayor potencia, debido a que, la

fuerza de resistencia a la rodadura es mayor que la ruta RDE. Su valor positivo o mayor es cercano a los 60 kW, y el menor es cercano a los -80 kW.

**Figura 56.**

*Potencia del motor eléctrico en ruta 2.*

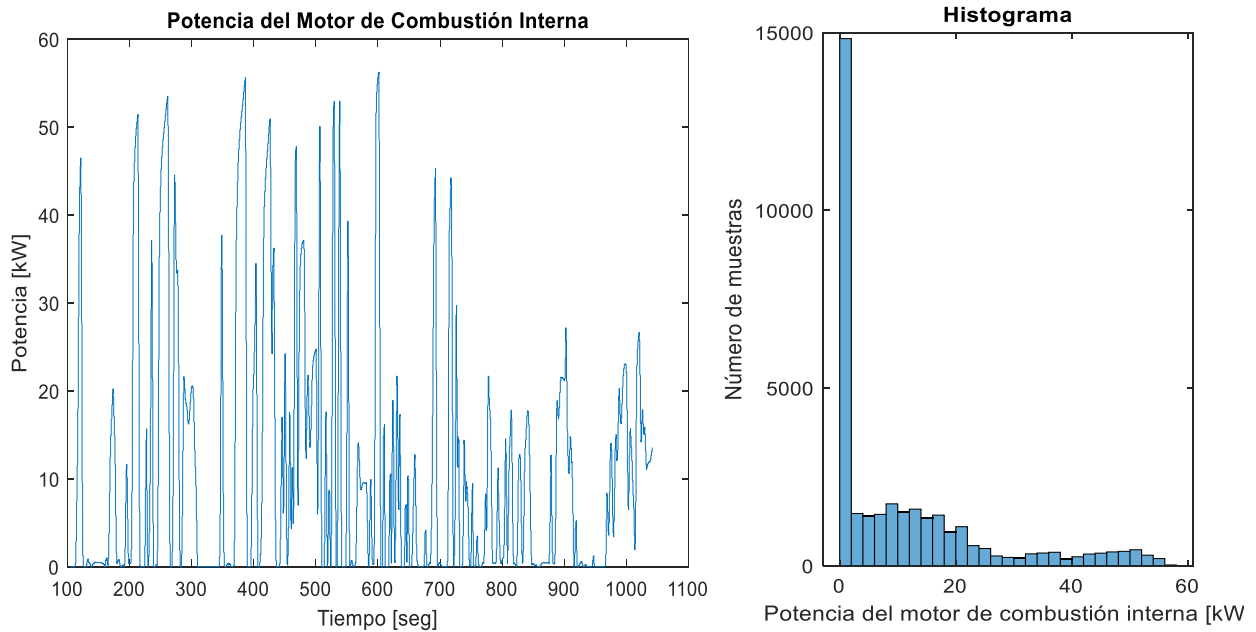


### 3.2.3.2. Potencia del motor de combustión interna

En la figura 57, se observa solamente valores positivos de potencia del motor térmico, esto debido a que el motor térmico solamente se enciende cuando debe dar asistencia al motor eléctrico para alcanzar altas prestaciones o para recargar la batería de alta tensión, por ello, es importante deducir que el motor térmico no se encuentra encendido en desaceleraciones, frenado regenerativo o descenso de pendientes. Su valor máximo es de 55 kW y su valor mínimo es de cero.

**Figura 57.**

*Potencia del motor de combustión interna en ruta 2.*

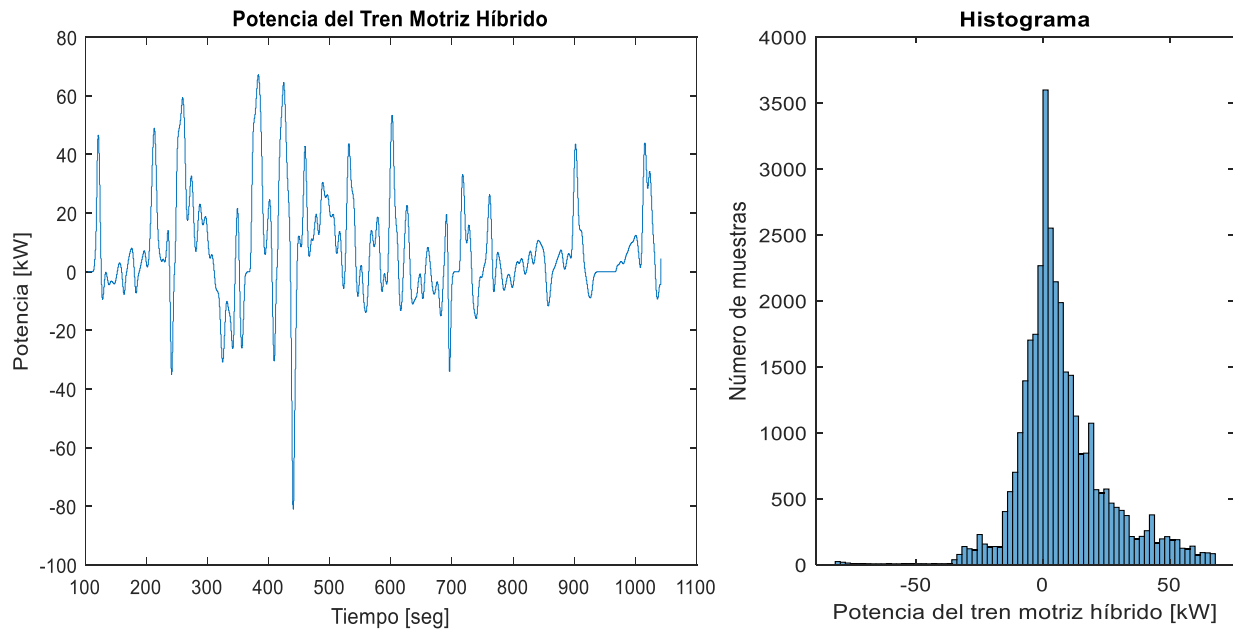


### **3.2.3.3. Potencia del tren motriz híbrido**

La figura 58, da a conocer el comportamiento de la potencia del tren motriz híbrido, en donde en comparación con la ficha técnica, se observa un valor máximo de 65 kW, haciendo alusión a que se encuentra dentro del rango establecido por la ficha técnica para un óptimo funcionamiento del vehículo híbrido. De igual manera, su valor máximo es de 65 kW, dando a conocer que es la potencia demandada completa en la rueda para el avance del vehículo, y su valor negativo está alrededor de -80 kW en procesos de desaceleración, apagado del motor térmico, descenso de pendientes, frenado regenerativo y frenado del vehículo ante distintas condiciones de tránsito.

**Figura 58.**

*Potencia del tren motriz híbrido en ruta 2.*

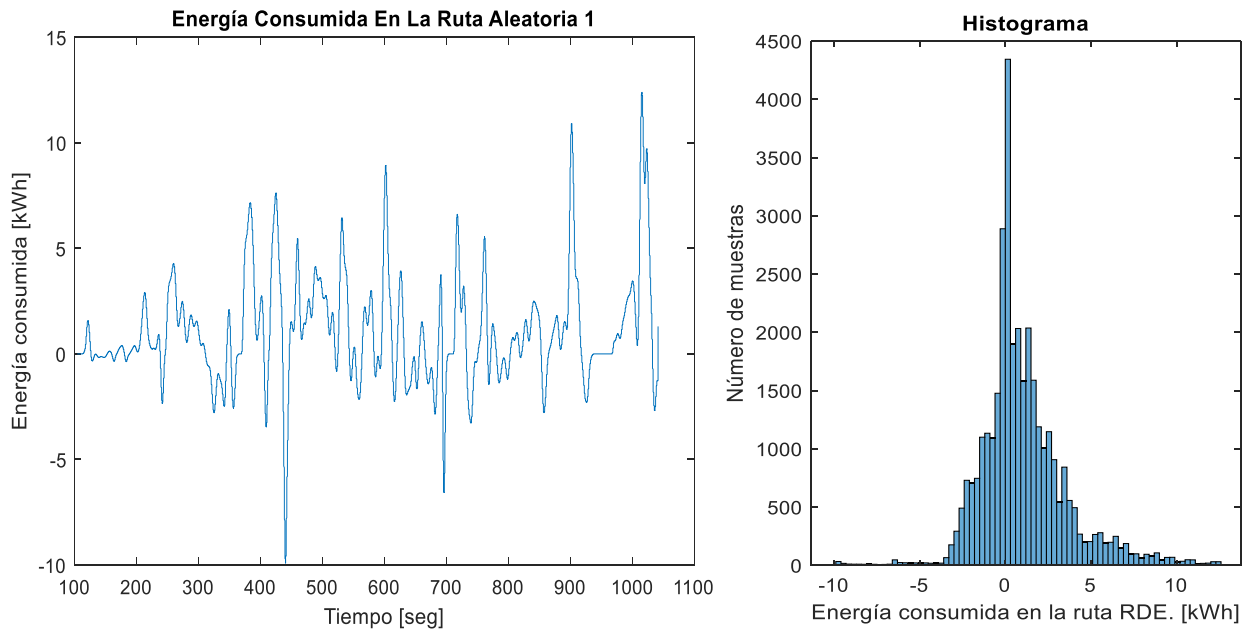


#### **3.2.3.4. Energía consumida del Toyota Corolla Híbrido**

La figura 59, demuestra la energía consumida por el vehículo dentro de la ruta 2 en dónde se observa un valor máximo de 13.5 kWh y un valor mínimo de menos 10 kWh, esto se tiene presente, debido a que, la ruta tuvo un menor tiempo de recorrido y el vehículo no tuvo mucho requerimiento de altas velocidades o de un requerimiento de superar mayores irregularidades en la calzada. Esto se puede demostrar en la figura 59, donde se observa que la energía consumida por el vehículo en una ruta aleatoria uno es menor, comparada con la energía consumida por la ruta RDE.

**Figura 59.**

*Energía consumida en la ruta 2.*

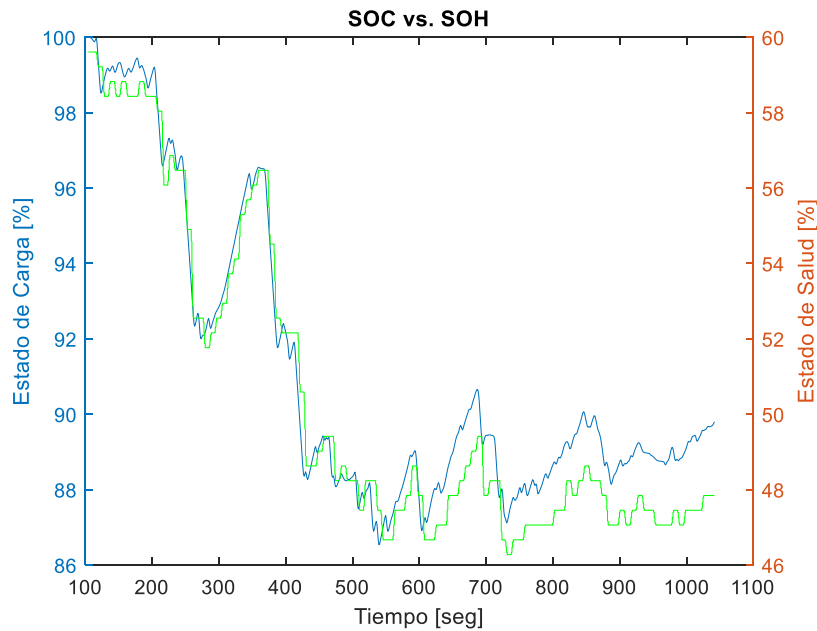


### 3.2.3.5. Estado de Carga vs Estado de Salud

La figura 60, denota el estado de carga de la batería vs. el estado de salud, en dónde se corrobora, que las curvas de ambos parámetros toman casi el mismo comportamiento, sin embargo, se debe acotar que el estado de carga hace alusión al porcentaje de carga de la batería y el estado de salud denota el porcentaje de trabajo de la batería en comparación con su capacidad original. Se debe hacer énfasis en los rangos observados en el eje y, en donde el SOC se establece entre el 86 y el 100% y el estado de salud entre el 46 y el 60% dándonos a entender, que luego de la ruta número uno, la batería de alta tensión ha obtenido cambios en su salud, ya que, durante la ruta RDE, se completaron mayores ciclos de carga y descarga, siendo estos factores esenciales en la determinación del estado de salud de la batería.

**Figura 60.**

*Estado de carga vs. Estado de salud de la batería de alta tensión.*



### **3.2.3.6. Correlación de variables**

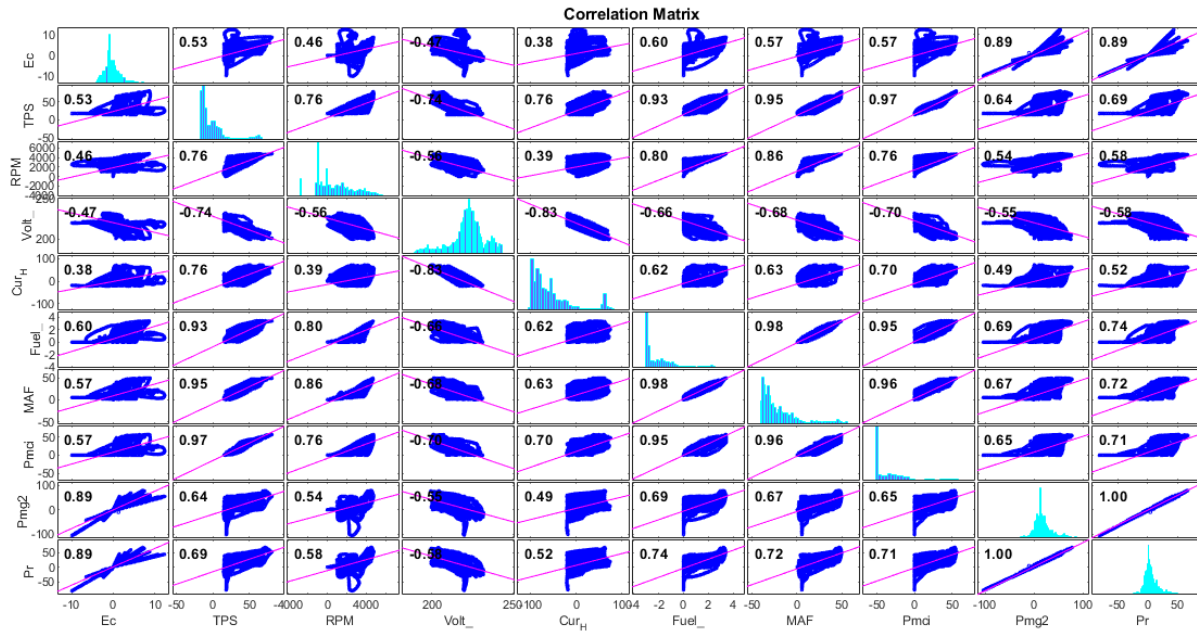
La figura 61 y la tabla 12, muestran la relación de las variables de la ruta número 2, conociendo que es una ruta completamente aleatoria, es decir, no se siguen parámetros ni condiciones de manejo.

Cómo se puede observar la potencia del motor térmico incide directamente en la potencia del tren motriz híbrido. Sus valores dependen directamente de la señal del sensor MAF, el consumo de combustible medido en gramos sobre segundo, una ligera incidencia entre la corriente y voltaje entregado por la batería de alta tensión (esta se debe a que el motor térmico influye en la carga de la batería, por ende, encontramos estos valores de correlación), de las revoluciones por minuto y de la señal de la posición de la mariposa del acelerador. El motor eléctrico, en un menor grado, depende de factores provenientes del motor térmico, debido a la asistencia que da el motor térmico para el avance del vehículo, la superación de distintos obstáculos y alcanzar altas

velocidades y la recarga de la batería. Teniendo como resultado una incidencia del 0.57 del motor térmico y un 0,89 del motor eléctrico en la energía consumida del vehículo durante la ruta 2.

**Figura 61.**

*Correlación de variables de ruta 2.*



**Tabla 12.**

*Correlaciones más incidentes en ruta 2.*

	<b>Potencia motor eléctrico</b>	<b>Potencia del motor térmico</b>	<b>Potencia del tren motriz híbrido</b>	<b>Energía consumida en la ruta</b>
TPS	0.64	0.95	0.69	0.53
RPM	0.54	0.78	0.58	0.46
Voltaje	0.55	-0.70	-0.50	-0.47
Corriente	0.49	0.70	0.52	0.38
Consumo (g/s)	0.69	0.95	0.74	0.60
MAF	0.67	0.96	0.72	0.57
Potencia del motor térmico	0.65	1.00	1.00	0.57



Potencia del motor eléctrico	1.00	0.65	0.71	0.89
Potencia del tren motriz híbrido	1.00	0.71	1.00	0.89

---

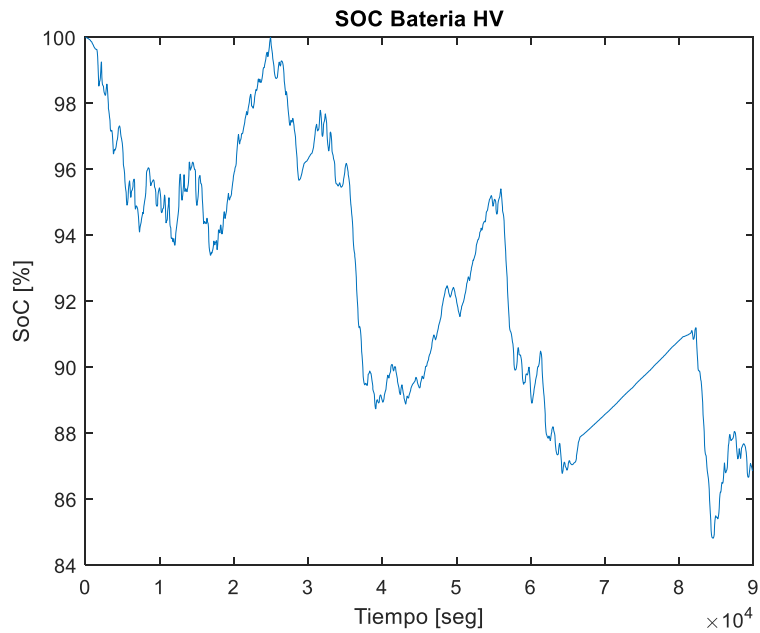
### **3.3. Ruta número 3: ruta aleatoria y segundo conductor**

#### **3.3.1. Estado de carga de la batería**

Como lo da a conocer la figura 62, los valores del estado de carga de la batería de alta tensión se encuentran por encima del 84% indicando que permaneció en rangos adecuados durante la ruta siendo el máximo del 100% y un mínimo del 84.6%. Se debe acotar que los picos ascendentes denotan la carga de la batería realizada por el motor de combustión interna y los picos descendentes la descarga de la batería por requerimiento de prestaciones del conductor. Los valores descendentes también denotan cuando la batería está alimentando o suministrando energía para el giro del motor eléctrico. En acotación, se conoce que la recarga de la batería tiene un crecimiento gradual y progresivo que es medido en función del tiempo y depende también, de las aceleraciones que requiera el conductor.

**Figura 62.**

*Estado de carga de la batería en ruta 3.*



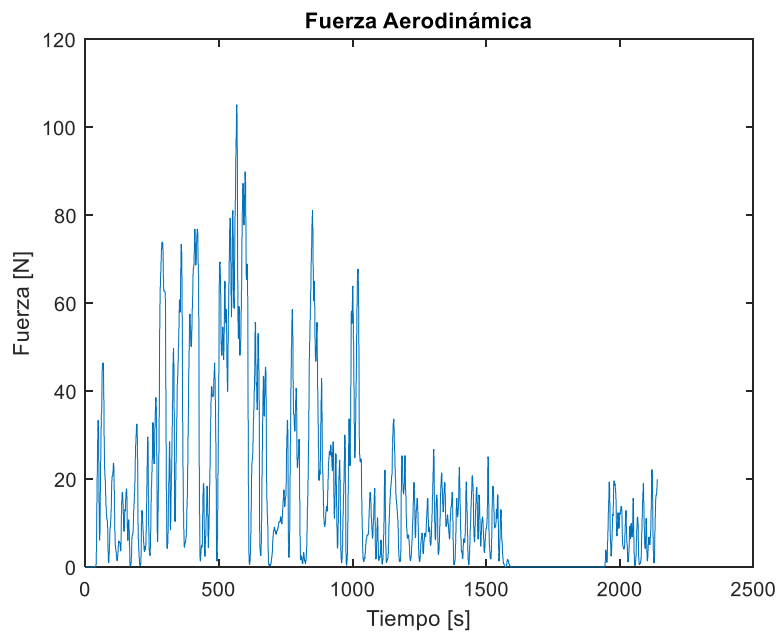
### **3.3.2. Fuerzas que se oponen al movimiento**

#### **3.3.2.1. Fuerza de resistencia aerodinámica**

Como se observa en la figura 63, la resistencia aerodinámica tiene valores positivos, ya que, es dependiente de la velocidad. Con valores de velocidad cero, la resistencia aerodinámica es cero. Los picos positivos denotan un requerimiento de prestaciones para alcanzar una mayor velocidad, por ende, se obtiene un valor máximo de 105 N. Como se explicó anteriormente, los valores de cero corresponden al vehículo frenado en su totalidad. Al no alcanzar velocidades tan altas.

**Figura 63.**

*Fuerza de resistencia aerodinámica de ruta 3.*

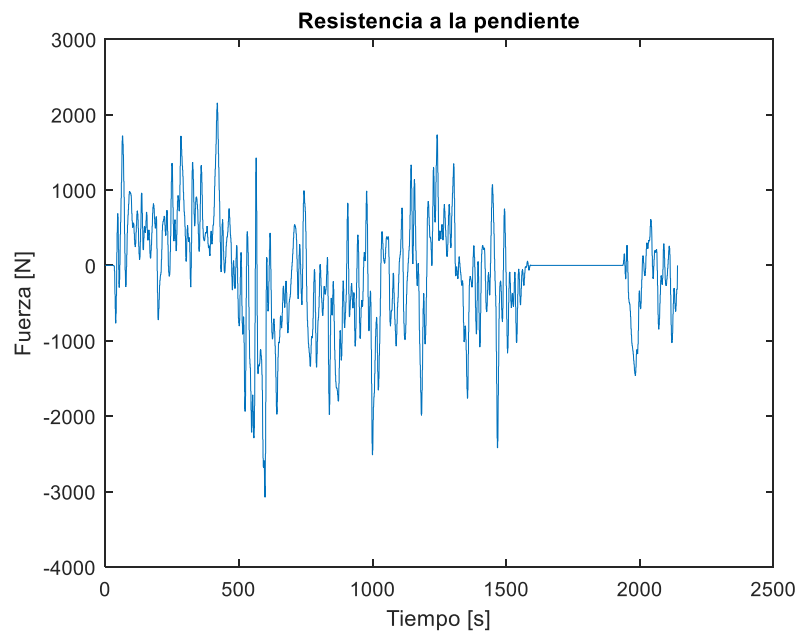


### **3.3.2.2. Resistencia a la pendiente**

En la figura 64, se observa valores positivos y negativos de variación de resistencia a la pendiente, donde los picos ascendentes demuestran un ascenso de una pendiente, donde se requiere mayor fuerza para avanzar el vehículo, y los picos negativos, demuestran los valores de bajada de una pendiente activando el frenado regenerativo. Su valor máximo es de 2000 N y su valor mínimo, ronda los -3000 N, indicando un buen índice de recarga de la batería por frenado regenerativo.

**Figura 64.**

*Resistencia a la pendiente de ruta 3.*

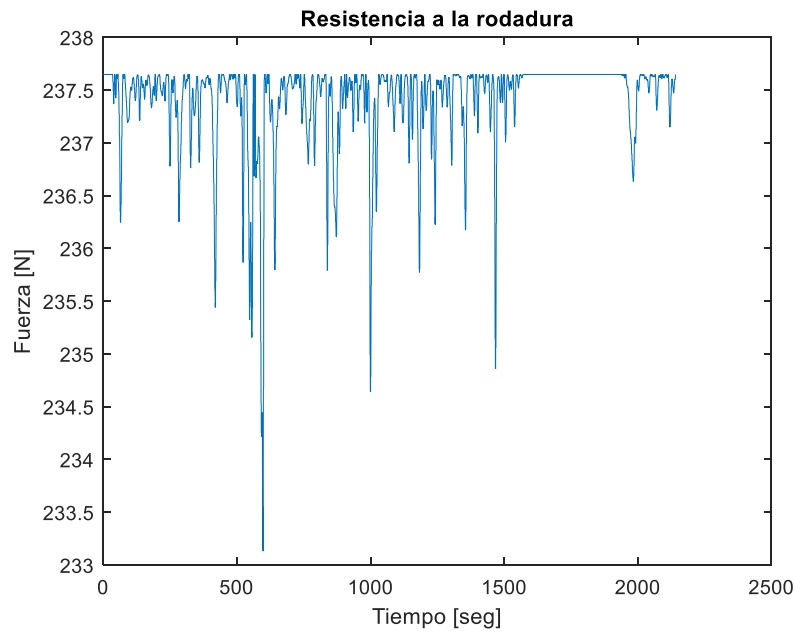


### **3.3.2.3. Resistencia a la rodadura**

Como se observa en la figura 65 y al igual que en las rutas analizadas, se tiene un valor constante de resistencia a la rodadura por una mayor área de contacto del neumático con el suelo, con el aumento de la velocidad, se tiene valores descendentes por un menor contacto del neumático con la calzada, obteniendo un valor máximo de 237,64 N y un valor mínimo de -233,13 N. Los valores tienden a disminuir, por distintos factores que ocurren en el neumático como una menor deformación elástica del material y un deslizamiento reducido.

**Figura 65.**

*Resistencia a la rodadura de ruta 3.*

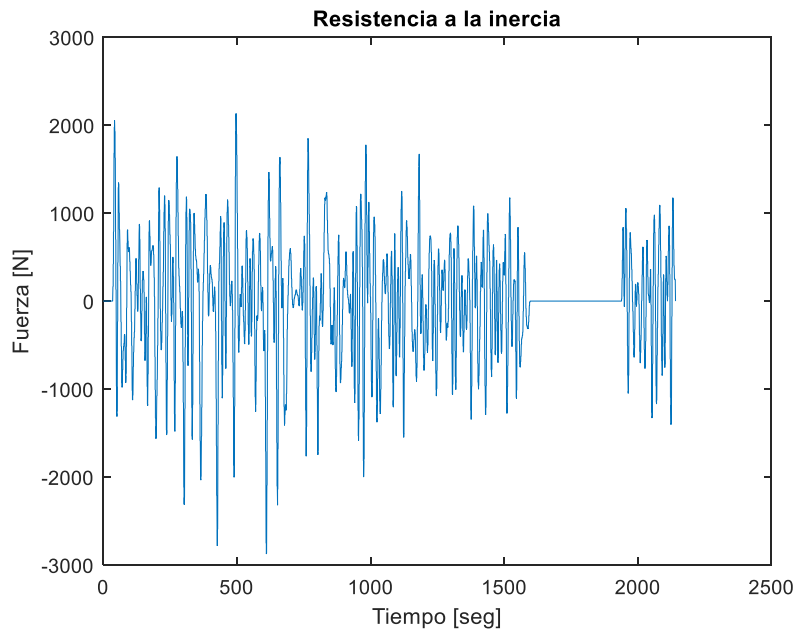


#### **3.3.2.4. Resistencia a la inercia**

En la figura 66, se observa la variación de los valores de la resistencia a la inercia correspondientes a la ruta 3, con un valor máximo de 2131 N y un valor mínimo de -2870 N, denotando que el vehículo obtuvo fuertes aceleraciones, correspondientes a alcanzar una mayor velocidad o superar obstáculos de la carretera y desaceleraciones fuertes, producto del descenso de pendientes, frenado, reducción de velocidad y frenado regenerativo del vehículo.

**Figura 66.**

*Resistencia a la inercia de ruta 3.*

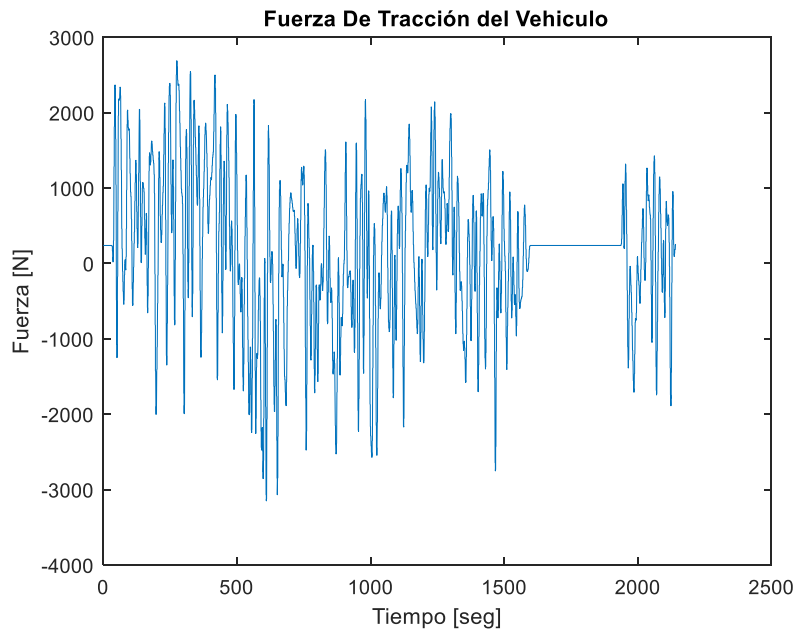


### **3.3.2.5. Fuerza tractora del vehículo en la ruta 3**

En la figura 67, la fuerza necesaria para el movimiento del vehículo se observa en función del tiempo, donde se obtiene un valor máximo de 2688 N y un valor mínimo de -3148 N. Este último valor corrobora que el vehículo se encontró en constante descenso con mayores procesos de frenado, y el valor positivo demuestra que el vehículo supero las distintas condiciones de carretera. Los picos positivos representan el requerimiento del vehículo de superar condiciones de carretera en mal estado, mayor número de aceleraciones, elevados ciclos de recarga de la batería de alta tensión y recorrido por calzadas con pendientes pronunciadas.

**Figura 67.**

*Fuerza de tracción del vehículo en ruta 3.*

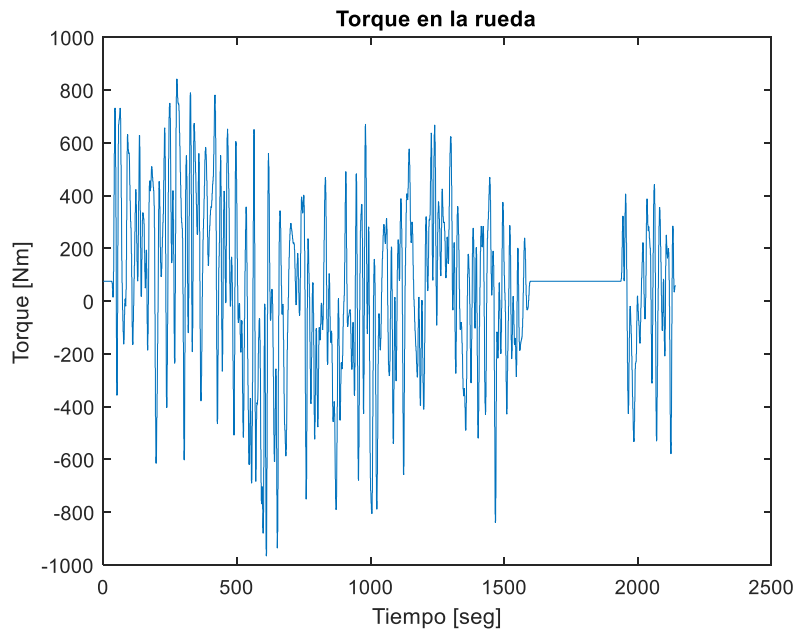


### **3.3.2.6. Torque en la rueda**

En la figura 68, se observa el torque en la rueda en el trayecto de la ruta 3. Se pueden observar tanto picos positivos como negativos. Los picos positivos indican el torque necesario para impulsar al vehículo en las condiciones de la ruta, alcanzando un valor máximo aproximado de 900 Nm. Este valor se logra cuando el vehículo circula por carreteras con pendientes, donde se requiere un mayor torque para superar la resistencia al movimiento. Por otro lado, los valores negativos en la gráfica representan el funcionamiento el freno regenerativo del vehículo, estos valores negativos indican que la fuerza aplicada en las ruedas se opone al movimiento, por lo que, este se encuentra desacelerando.

**Figura 68.**

*Torque del tren motriz híbrido en ruta 3.*



### **3.3.3. Parámetros de la demanda energética del vehículo híbrido**

Luego de conocer los parámetros de la demanda energética y sus valores de la ruta RDE y ruta 2, se acota que la ruta 3 establecida en el presente proyecto, lleva condiciones aleatorias de conducción con un conductor distinto, con el fin de evaluar el comportamiento y consumo energético del vehículo con nuevas condiciones de prueba de ruta.

#### **3.3.3.1. Potencia del motor eléctrico**

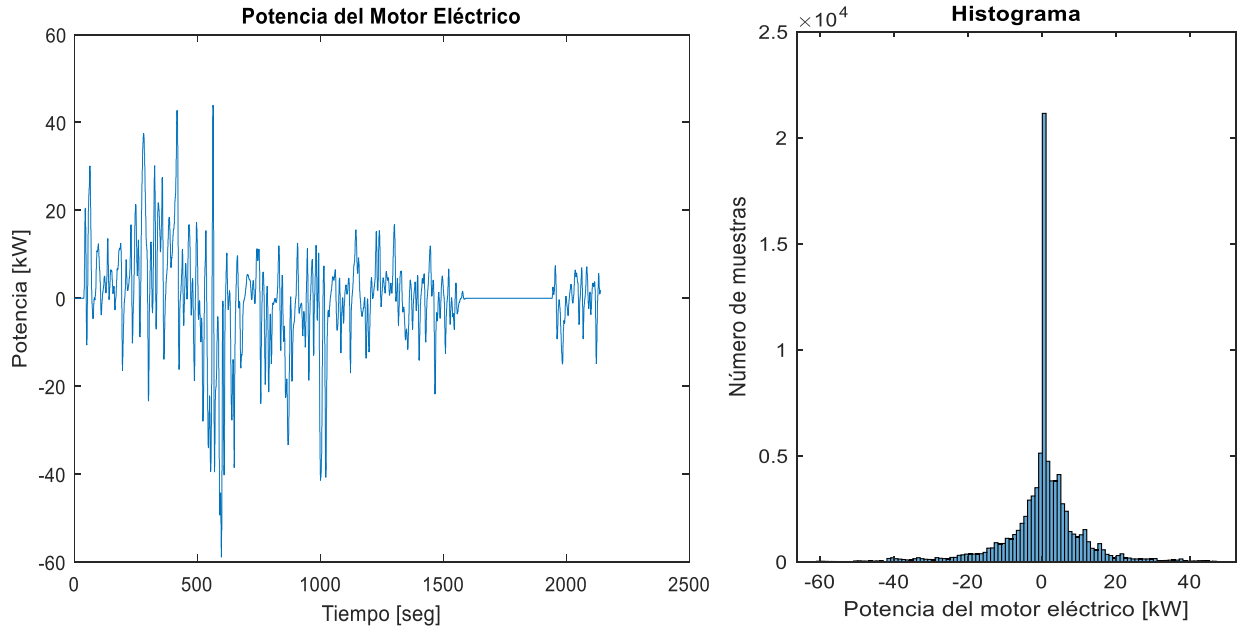
En la figura 69, se representa la potencia del motor eléctrico. Se puede observar valores positivos de potencia, con un máximo aproximado de 45 kW. Estos valores indican que el motor eléctrico está impulsando al vehículo. Estos picos de potencia se derivan de que el vehículo circula con cargas elevadas, por lo que, se requiere una mayor potencia para mover al vehículo. Por otro lado, los valores negativos que se presentan en la gráfica indican que el vehículo está desacelerando o frenando, lo que permite que el motor eléctrico pase a funcionar como generador llegando así a



recargar la batería con el uso de esta potencia. Los valores cercanos al cero indican situaciones en las que el vehículo circula con baja carga donde se requiere menos potencia del motor eléctrico, al igual que en la figura 69.

**Figura 69.**

*Potencia del motor eléctrico de ruta 3.*



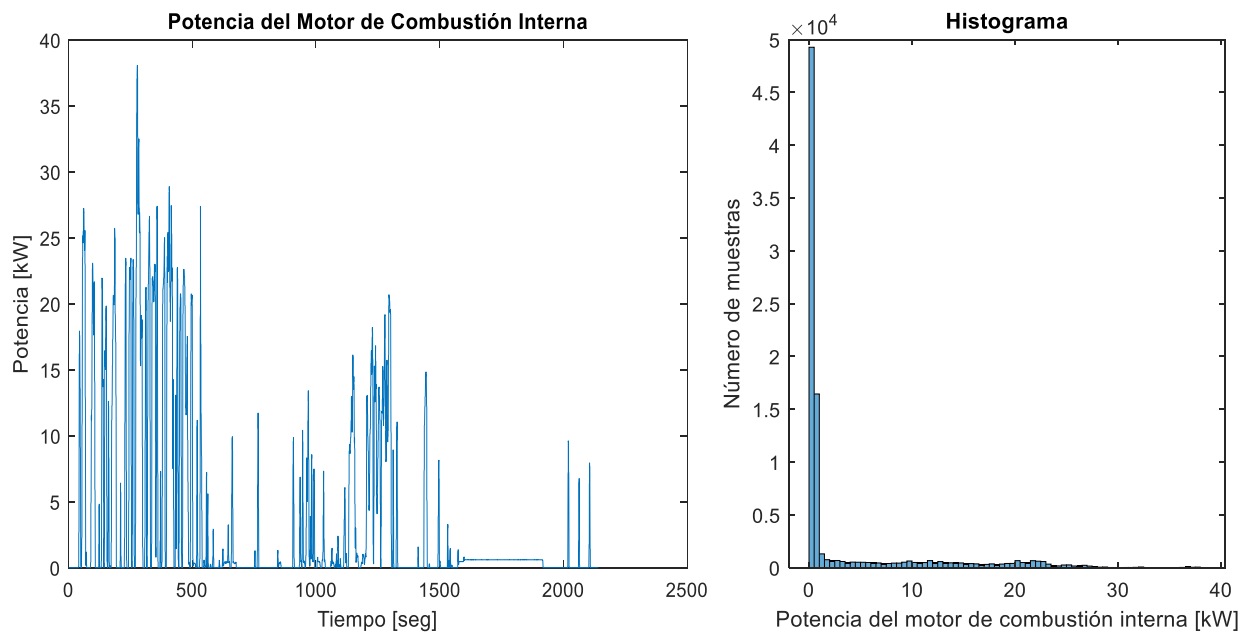
### 3.3.3.2. Potencia del motor térmico

En la figura 70, se observa la potencia del motor de combustión interna en el trayecto de la ruta 3. En el gráfico, se pueden observar picos de potencia en diferentes momentos, indicando periodos donde el motor estaba impulsando al vehículo o se encontraba en modo de recarga de la batería. El valor máximo alcanzado es de aproximadamente 40 kW, lo cual es considerado alto. Este valor se debe a que el vehículo circulaba por carreteras con pendientes, lo que requería una mayor potencia para superarlas.

En cambio, los valores cercanos al cero se deben a que el vehículo se encontraba con baja carga, lo que implica una menor demanda de potencia del motor de combustión interna. Además, los valores que se mantienen constantes indican que el vehículo se encontraba en estado estacionario, por lo tanto, no se requiere generar potencia adicional a través del motor de combustión interna.

**Figura 70.**

*Potencia del motor de combustión interna de ruta 3.*



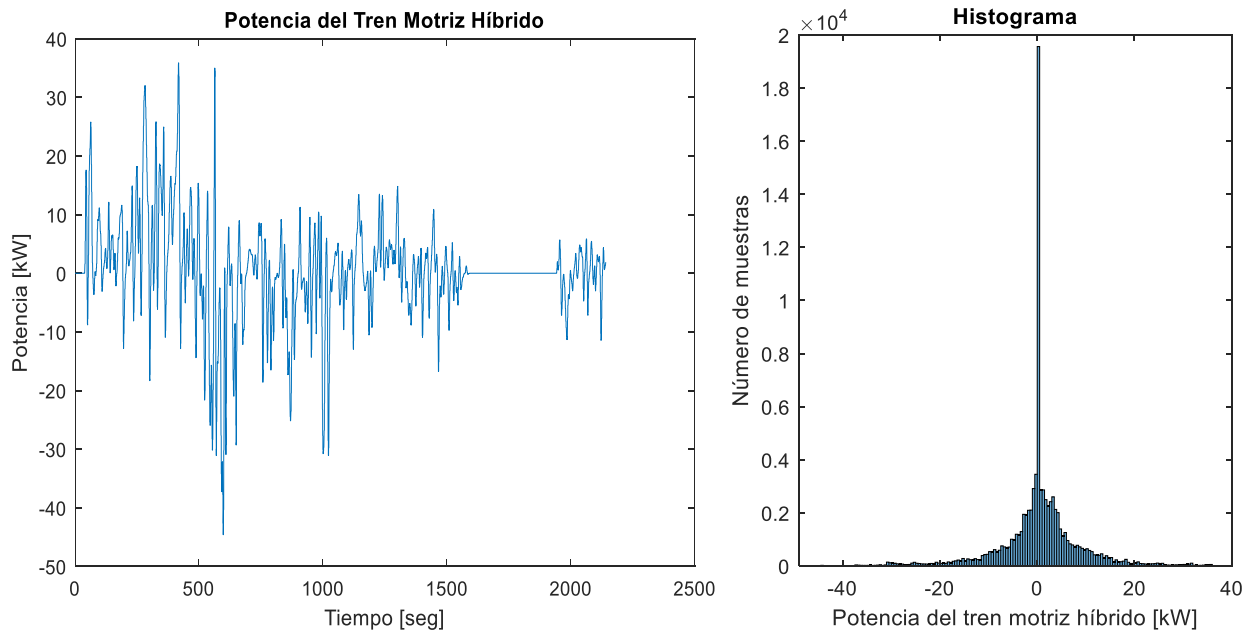
### 3.3.3.3. Potencia del tren motriz híbrido

La figura 71, muestra la variación de valores de la potencia del tren motriz híbrido entregado a las ruedas para el avance del vehículo. Se pueden observar valores tanto negativos como positivos. Como se ha mencionado anteriormente, los valores positivos corresponden a la potencia necesaria para impulsar el vehículo hacia adelante y los valores negativos se hacen presentes cuando existe el frenado regenerativo, freno del vehículo por condiciones de tránsito, descenso de pendientes y apagado del motor térmico. Y el valor máximo es de aproximadamente 37 kW de potencia

necesaria para impulsar el vehículo hacia adelante, y en modo de recuperación, se tiene un valor de -45 kW.

**Figura 71.**

*Potencia del tren motriz híbrido de ruta 3.*



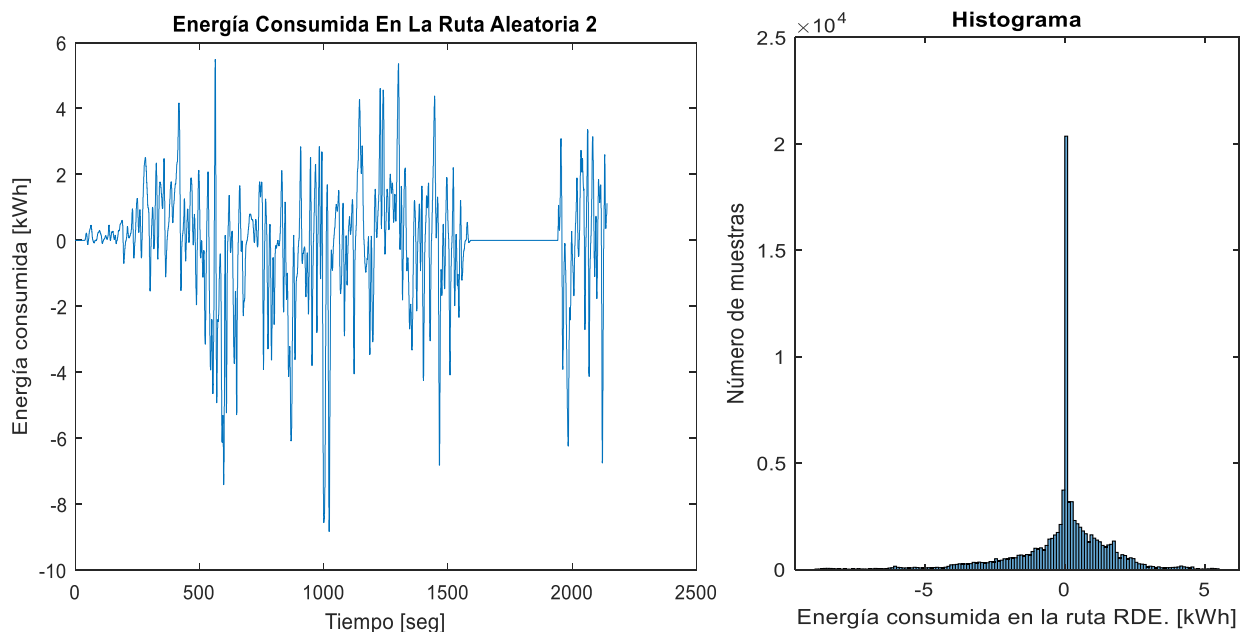
#### **3.3.3.4. Energía consumida del vehículo Toyota Corolla Híbrido en la ruta 3**

La figura 72, presenta el consumo energético del vehículo en el trayecto de la ruta 3. En esta se observan valores positivos y negativos, estos valores positivos indican el consumo que tiene el vehículo en diferentes intervalos de tiempo. En cambio, los valores negativos indica el aprovechamiento de la energía cinética por parte del vehículo. Esto ocurre cuando el sistema de freno regenerativo del vehículo entra en funcionamiento, contribuyendo a la recarga de la batería. Además, este efecto puede presentarse cuando el vehículo entra en modo de carga mediante el motor térmico.

En la figura 72, se observa un consumo energético máximo de aproximadamente 6 kWh. Esto se debe a que el vehículo circulaba por carreteras con un ángulo de inclinación de aproximadamente  $6^\circ$ , lo cual genera una mayor resistencia al movimiento del vehículo. Por otro lado, el consumo energético mínimo es de aproximadamente -9 kWh. Este valor se alcanza cuando el vehículo se encuentra descendiendo por una pendiente, lo que permite que el sistema de freno regenerativo se active, llegando así a tener una reducción en el consumo energético del vehículo.

*Figura 72.*

*Energía consumida del vehículo en ruta 3.*



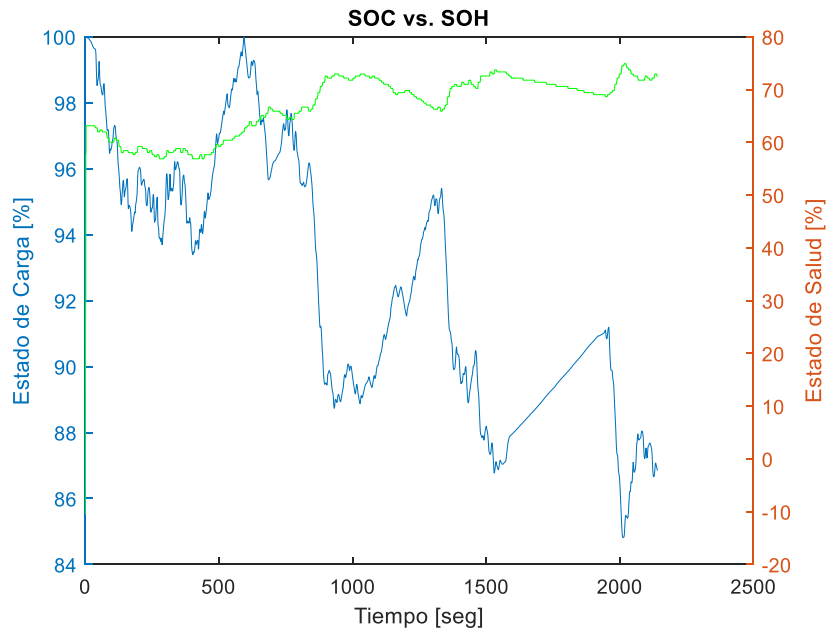
### 3.3.3.5. Estado de carga vs. Estado de salud de la batería de alta tensión

En la figura 73, se puede observar que el estado de carga de la batería se encuentra entre el 84 y el 100%. Siendo el 100% el valor máximo, indicando una recarga completa de la batería por frenado regenerativo o motor térmico y, siendo el 84.6% el valor mínimo de carga que ha alcanzado la batería durante la ruta. A su vez, la curva del SOH indica que, con respecto a la capacidad nominal, la batería ha trabajado en un rango del 96 al 99% de eficiencia. En comparación con las otras rutas,

en la ruta número 3, se ha obtenido un trabajo más eficiente de la batería para alimentar el motor eléctrico.

**Figura 73.**

*Estado de carga vs. Estado de salud de ruta 3.*



### 3.3.3.6. Correlación de variables de la ruta 3

Los datos de la figura 74, en conjunto con los de la tabla 13, se observa la correlación de variables existente en la ruta 3, es decir, qué variables y/o factores han tenido mayor incidencia en el consumo energético del vehículo. Para considerar una correlación fuerte se toman en cuenta valores comprendidos entre -1 a -0.7 y 0.7 a 1. Sin embargo, también se toma en cuenta, con menor grado de importancia, la correlación entre -0.69 a -0.55 y 0.55 a 0.69.

Para ello se debe tomar en cuenta la potencia emitida por cada motor. Los factores con mayor incidencia en la potencia del motor térmico son las revoluciones por minuto, posición de la mariposa del acelerador, el consumo de combustible medido en gramos sobre segundo y la señal del sensor MAF. En el motor eléctrico se tiene la incidencia de la posición de la mariposa del

acelerador del motor térmico, así como también el consumo de combustible, la señal del sensor MAF y la potencia generada por el motor térmico. Esto se debe a que, el motor térmico da asistencia al motor eléctrico para superar distintos obstáculos en carretera y promover el avance del vehículo.

Figura 74.

Correlación de variables en ruta 3.

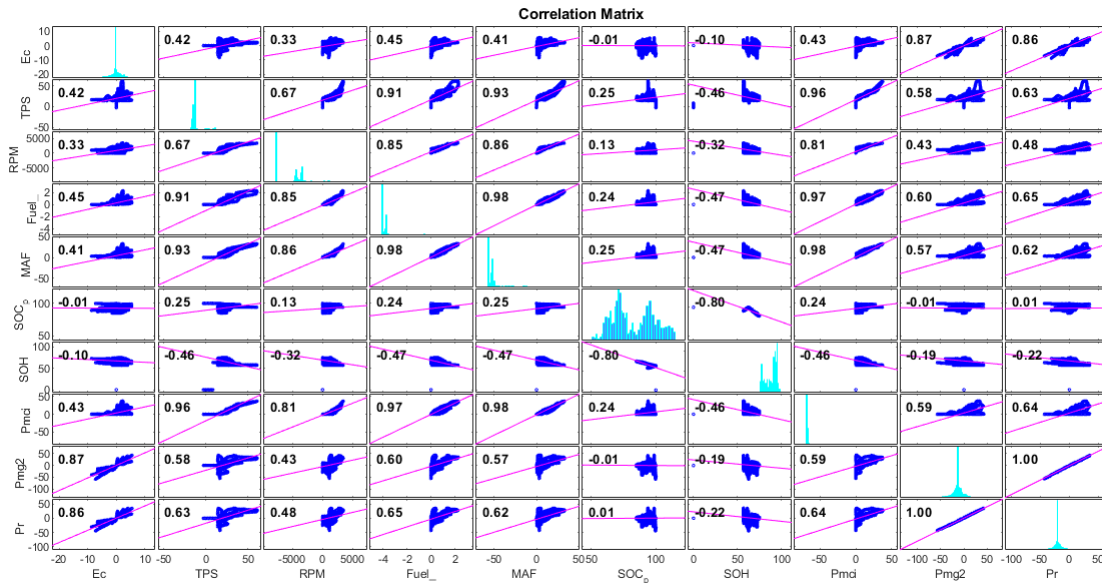


Tabla 13.

Correlaciones más incidentes en ruta 3.

	Potencia motor eléctrico	Potencia del motor térmico	Potencia del tren motriz híbrido	Energía consumida en la ruta
TPS	0.58	0.96	0.63	0.42
RPM	0.43	0.81	0.48	0.33
Consumo (g/s)	0.60	0.97	0.65	0.45
MAF	0.57	0.98	0.62	0.41
Potencia del motor térmico	0.59	1.00	0.64	0.43
Potencia del motor eléctrico	1.00	0.59	0.99	0.87

Potencia del tren motriz híbrido	1.00	0.64	1.00	0.86
----------------------------------	------	------	------	------

---

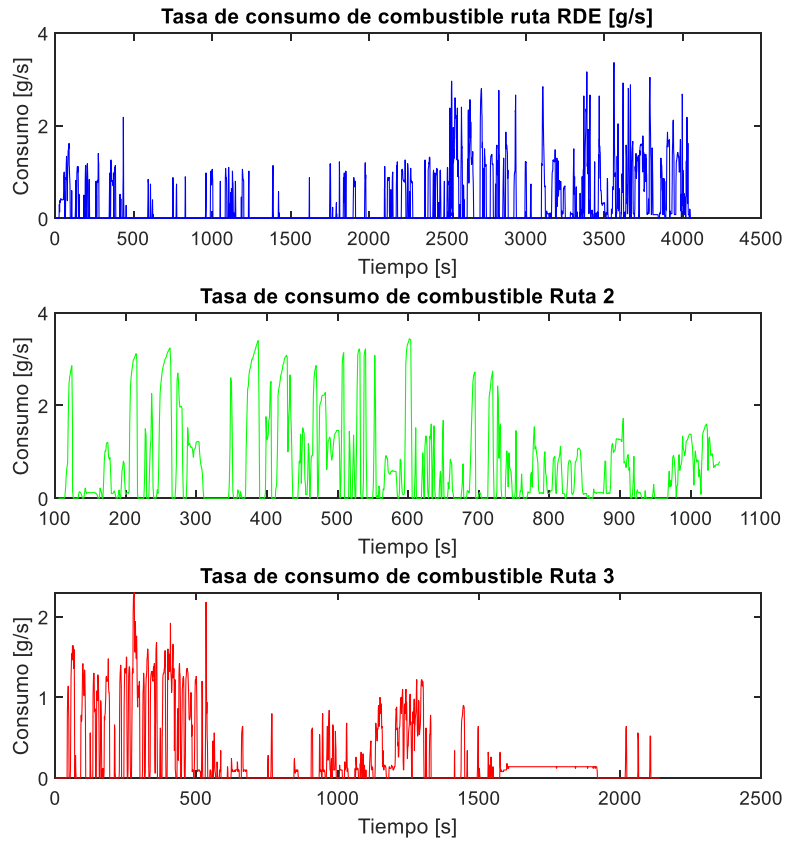
### 3.4. Consumos de combustible en g/s, de las tres rutas

Como se observa en la figura 75, los niveles de consumo de combustible medidos en gramos sobre segundo representan mayores picos ascendentes cuando el vehículo requiere mayores prestaciones, como aceleraciones, subidas de pendientes, recarga de la batería de alta tensión y para alcanzar velocidades mayores. Sus valores máximos rondan los 3.6 g/s y son indicadores de un mayor consumo por los factores ya mencionados. El valor mínimo es de 0 g/s y se denota cuando el motor térmico está apagado y está en funcionamiento solo el motor eléctrico.

En comparación con los datos del vehículo Toyota Corolla versión convencional, su tasa de consumo de combustible se encuentra establecida en un rango de 5 a 8 g/s en grandes aceleraciones, demostrando así, que el vehículo Toyota Corolla Híbrido emite un menor consumo de combustible para mayores prestaciones. Esto a su vez, es un indicador de que el vehículo emite menor contaminación ambiental comparado con un vehículo netamente de combustión interna.

**Figura 75.**

*Consumo de combustible en tres rutas establecidas.*





## CONCLUSIONES

En el desarrollo del proyecto técnico, se han alcanzado las siguientes conclusiones en base a los objetivos planteados previamente:

- Se llevó a cabo el estudio realizado del estado del arte sobre el consumo energético de los vehículos híbridos. Este estudio permitió revisar las diferentes configuraciones de vehículos híbridos en el mercado, así como los sistemas que lo componen, como el freno regenerativo, el sistema de baterías de alto voltaje y los materiales utilizados en su construcción. Además, se investigó sobre las señales PID's, que son datos proporcionados por la ECU a través de un escáner de diagnóstico automotriz, el cual permite diagnosticar y obtener datos en tiempo real. También, se analizó la normativa que regula los parámetros para la planificación de rutas, así como los diferentes tipos de combustibles disponibles en Ecuador y sus propiedades físicas y químicas, ya que, estos tienen una influencia indirecta en el consumo energético de los vehículos híbridos. Por otra parte, se determinó la metodología más efectiva para la obtención de datos del vehículo híbrido. Esta metodología se basó en el uso de herramientas como un escáner automotriz y una aplicación móvil, mismas que facilitó con recolección de los datos necesarios para su posterior análisis. Además, se identificó las variables de inferencia del proyecto técnico y se determinó las plataformas necesarias para el procesamiento y análisis de datos recopilados. También se revisó métodos estadísticos y matemáticos que, con la ayuda de un software de ingeniería se utilizarían para obtener los resultados deseados y proporcionar información relevante sobre el comportamiento de las señales PID's, las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo y la demanda energética del mismo.

- Por último, mediante el software de ingeniería ya mencionado se analizó los datos adquiridos y resultados obtenidos para identificar la demanda energética del vehículo híbrido seleccionado para el presente proyecto técnico en las rutas establecidas. La primera ruta establecida está basada en la extensión RDE de la Euro 6 que considera los tres tramos establecidos, teniendo como resultado, un consumo de energía menor en el tramo urbano con valores de 10.61 kWh como máximo y -12.42 kWh como mínimo, mientras que, en los tramos rural y autopista, se presentan consumos máximos de 42.09 y 63.21 kWh y mínimos de -35.93 y -37.55 kWh, respectivamente, donde el vehículo admite una mayor demanda de energía por factores como una mayor velocidad del vehículo, mayores aceleraciones y tramos de vía con distintas pendientes. En la segunda ruta, basada en una conducción aleatoria sin el seguimiento de parámetros establecidos, se observa que el consumo energético del vehículo depende de las prestaciones que el conductor requiera en una libre circulación, obteniendo comportamientos coherentes con los resultados de la ruta RDE, pero con distintos valores de consumo, siendo el valor máximo un aproximado de 15 kWh. Finalmente, se analizó el comportamiento de la tercera ruta con un conductor diferente y con resultados similares a la ruta 2, y con curvas de comportamiento completamente coherentes a los resultados de la ruta RDE y ruta 2, teniendo un valor máximo de 5.48 kWh y mínimo de -8.83 kWh que representan una recuperación de energía. Se obtuvo también un análisis de los parámetros de la batería de alta tensión con un estado de carga en rango de 85 al 100% y estado de salud entre 70 a 100 %, y el consumo de combustible como fuentes primarias de energía para el funcionamiento del vehículo híbrido con un consumo máximo de 3.6 g/s en ruta RDE, 3.2 g/s en la ruta 2 y 2.3 g/s en la ruta 3, demostrando un menor consumo que un vehículo convencional a gasolina que tiene valores

comprendidos en un rango de 5 a 8 g/s. Es importante conocer que la ruta RDE establece sus parámetros para asimilarlos a la conducción real y obtener resultados fiables de consumo energético.

A más de ello, se conoce que el motor térmico se enciende a una velocidad promedio de 30.95 km/h y un estado de carga de batería 88.6 % en zona urbana, mientras que, para zona rural y autopista, el motor térmico se enciende en más ocasiones, con una velocidad promedio de 62.1 km/h y un estado de carga de batería de 80 %. Para las rutas establecidas 2 y 3, el motor térmico se enciende en más ocasiones, con una velocidad en un rango de 15 a 35 km/h y un estado de carga en rangos de 83 a 94 %.

En la ruta 1, la velocidad máxima que se puede circular con el motor eléctrico sin asistencia del motor térmico es de 31,5 km/h y un valor promedio de 23.4 km/h. Adicional, se conoce que el motor térmico estuvo encendido el 43.94 % y el motor eléctrico estuvo encendido el 90.3 % de la prueba de ruta. En la ruta 2, la velocidad máxima que se puede circular con el motor eléctrico sin asistencia del motor térmico es de 35.7 km/h. Acotando, el motor térmico permaneció encendido el 95.85 % y el motor eléctrico permaneció encendido el 94.93 % de la prueba de ruta. En la ruta 3, el motor eléctrico estuvo encendido el 81.58 % y el motor térmico trabajó el 65.41 % de la ruta establecida. La velocidad promedio de circulación con el motor eléctrico es de 12,26 km/h y valor máximo de 42.68 km/h.

Con estos parámetros analizados en el presente proyecto, se muestra la demanda energética del vehículo Toyota Corolla Híbrido como resultado de la investigación y como base para futuras investigaciones y proyectos encaminados al estudio de los vehículos híbridos y eléctricos en el parque automotor.

## RECOMENDACIONES

El estudio se desarrolló en base los datos obtenidos por dos equipos, sin embargo, su sincronización fue defectuosa, por ello, para futuros proyectos se recomienda encontrar, ajustar o programar una frecuencia de muestreo común para ambos equipos y que los datos analizados posean una fiabilidad alta en su estudio.

Se recomienda también que, con el estudio presentado en el presente proyecto, se proyecte como base y se realice un modelo paramétrico que se pueda aplicar a los vehículos híbridos, ya que estos, están próximos a integrarse en mayor número al parque automotor del mundo con el fin de disminuir la contaminación ambiental.

El estudio presenta el comportamiento de diversos parámetros del vehículo híbrido, por ello, se podría ejecutar el desarrollo de un estudio paramétrico que permita optimizar los sistemas de un vehículo híbrido o eléctrico y encontrar eventos que disminuyan la demanda energética, tomando en cuenta, todos los factores que forman parte del vehículo y sus resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

Abad, V. (2017, July 6). *VEHÍCULOS HÍBRIDOS. 20 AÑOS DE TOYOTA PRIUS.*

Abelardo Gárate Montalvo, D., & Néstor Diego Rivera Campoverde, I. (2018). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ.*

Aguilar, A., & Tandazo, L. (2017). *ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (AMFEC) DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO CORSA EVOLUTION 1.4L EMPLEADO HERRAMIENTAS DE APRENDIZAJE Y CLASIFICACIÓN PARA LA PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO.*

BlueDriver. (4 de 2 de 2020). *Live Data Guide.* Obtenido de Live Data Guide: <https://support.bluedriver.com/support/solutions/articles/43000551789-live-data-guide>

Calispa, I., & García, S. (2022). *ANÁLISIS ECONÓMICO DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO AL MOVILIZARSE DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.*

Chakib, A. (2019). *Hybrid Vehicle Energy Management Using Deep Learning.*

Chamorro, J. (2013). *Diseño de una estrategia para la gestión energética de un vehículo híbrido enchufable.*

Chang, S., Young, K. H., & Lien, Y. L. (2017). Reviews of European patents on Nickel/Metal hydride batteries. In *Batteries* (Vol. 3, Issue 3). MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/batteries3030025>

- Cusenza, M. A., Bobba, S., Ardente, F., Cellura, M., & Di Persio, F. (2019). Energy and environmental assessment of a traction lithium-ion battery pack for plug-in hybrid electric vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 215, 634–649. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.056>
- De Robbio, R., Cameretti, M. C., & Mancaruso, E. (2022). Investigation by modelling of a plug-in hybrid electric commercial vehicle with diesel engine on WLTC. *Fuel*, 317. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123519>
- EP Petroecuador. (2014). *MSDS COMBUSTIBLES*.
- García, Ó. R., García, L. M. J., Castelló, L. P., Aparicio, A. G., & Vidal, A. P. (2018). MATLAB: conceptos básicos y descripción gráfica. Universidad Miguel Hernández.
- González, K., & Pesantes, D. (2022). *ADQUISICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE DATOS DEL VEHÍCULO BLUE DRIVE DE LABORATORIO DE MOVILIDAD SOSTENIBLE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA-SEDE GUAYAQUIL*.
- Guerra, L. (2018). *SEGURIDAD EN LAS REDES AUTOMOTRICES -MODELO DE ATAQUE EN EL PROTOCOLO CAN*.
- Jaworski, A., Mądział, M., Lew, K., Campisi, T., Woś, P., Kuszewski, H., Wojewoda, P., Ustrzycki, A., Balawender, K., & Jakubowski, M. (2021). Evaluation of the Effect of Chassis Dynamometer Load Setting on CO<sub>2</sub> Emissions and Energy Demand of a Full Hybrid Vehicle. *Energies*, 15(1), 122. <https://doi.org/10.3390/en15010122>

- Khiari, J., & Olaverri-Monreal, C. (2022). Uncertainty-Aware Prediction of Battery Energy Consumption for Hybrid Electric Vehicles. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings, 2022-June*, 1005–1010. <https://doi.org/10.1109/IV51971.2022.9827458>
- Lizares, M. (2017). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Recuperado el 10 de mayo de 2023 de [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/7122/Lizares\\_cm.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/7122/Lizares_cm.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- López, J. (2018, April 24). *Vehículos híbridos y eléctricos. Ventajas e inconvenientes*.
- Mamala, J., Graba, M., Bieniek, A., Prażnowski, K., Augustynowicz, A., & Śmieja, M. (2021). Study of energy consumption of a hybrid vehicle in real-world conditions. *Eksploatacja i Niezawodność*, 23(4), 636–645. <https://doi.org/10.17531/ein.2021.4.6>
- Marcas, M. P. (2023, March 16). Baterías NiMh bipolares, ¿son una alternativa real para el coche eléctrico? [Motorpasion.com](https://www.motorpasion.com); [Motorpasion.com](https://www.motorpasion.com). <https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/baterias-nimh-bipolares-alternativa-real-para-coche-electrico>
- Michelena, A., Zayas-Gato, Quintián, H., Casteleiro-Roca, & Calvo-Rolle. (2022). *Metodología de reducción del tiempo de ajuste de controladores PID autoajustables basado en hiperesferas*. <https://doi.org/10.18002/simceaci>
- Orecchini, F., Santiangeli, A., Zuccari, F., Ortenzi, F., Genovese, A., Spazzafumo, G., & Nardone, L. (2018). Energy consumption of a last generation full hybrid vehicle compared with a conventional vehicle in real drive conditions. *Energy Procedia*, 148, 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.080>

Paida, M. (2007). *ANÁLISIS DE LOS SENSORES MAP Y MAF EN UN MOTOR A GASOLINA*.

Pañi, J., & Pinos, P. (2007). *Compendio del sistema de transmisión de datos CAN-BUS* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1121>

Rivera Campoverde, N., Muñoz Sanz, J., & Arenas Ramírez, B. (2022). Modelo de bajo costo para la estimación de emisiones contaminantes basado en GPS y aprendizaje automático. *Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica-CIBIM 2022*. <https://doi.org/10.5944/bicim2022.179>

Romero, R. (2022). *Estudio del Consumo de Combustible en Carretera de un Vehículo Híbrido en Modo de Manejo Económico y Deportivo*. Universidad Internacional del Ecuador.

SAE J1979. (2023). *Calculated Load and Absolute Load Calculations / Definition*.

Saiteja, P., & Ashok, B. (2022). Critical review on structural architecture, energy control strategies and development process towards optimal energy management in hybrid vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157, 112038. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112038>

Šarkan, B., Gnap, J., & Kiktová, M. (2019). THE IMPORTANCE OF HYBRID VEHICLES IN URBAN TRAFFIC IN TERMS OF ENVIRONMENTAL IMPACT. In *The Archives of Automotive Engineering-Archiwum Motoryzacji* (Vol. 85, Issue 3).

Shankar, R., & Marco, J. (2013). Method for estimating the energy consumption of electric vehicles and plug-in hybrid electric vehicles under real-world driving conditions. *IET Intelligent Transport Systems*, 7(1), 138–150. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2012.0114>

Stachura, A. (2011). *Modelowanie dynamiki napędu hybrydowego*.



- Tianheng, F., Lin, Y., Qing, G., Yanqing, H., Ting, Y., & Bin, Y. (2015). A supervisory control strategy for plug-in hybrid electric vehicles based on energy demand prediction and route preview. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(5), 1691–1700. <https://doi.org/10.1109/TVT.2014.2336378>
- Unión Europea. (2017). *REGLAMENTO (UE) 2017/1154*. 708–732.
- Waliño, P. (2020). *Vehículos híbridos. Pasado, presente y futuro*. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.
- Yang, Z., Chen, H., Dong, S., Liu, Q., & Xu, F. (2020). *Energy Management Strategy of Hybrid Electric Vehicle with Consideration of Road Gradient*.

## **ANEXOS**

Pruebas, instrumentación y mediciones realizadas al vehículo para la obtención de datos.

**Figura 76.**

*Vehículo Toyota Corolla Híbrido 2022.*



**Figura 77.**

*Pruebas con enlace al equipo Kryptoni 1XCAN-FD.*



**Figura 78.**

*Pruebas y estudio de la batería de alta tensión del vehículo.*



**Figura 79.**

*Equipo OBDLink MX como principal recolector de datos.*



**Figura 80.**

*Instrumentación del vehículo para obtención del valor de masa.*



**Figura 81.**

*Pesaje del vehículo.*



**Figura 82.**

*Valores del pesaje del vehículo.*



**Figura 83.**

*Instrumentación del vehículo para datos de emisiones contaminantes.*



**Figura 84.**

*Equipo Kane Live para obtención de datos de emisiones contaminantes.*



**Figura 85.**

*Interfaz de la aplicación OBDLink MX*



**Figura 86.**

*Pruebas y datos obtenidos en OBDLink.*



**Figura 87.**

*Autores del proyecto técnico.*

