



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE
GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“Análisis del consumo energético de un Vehículo Híbrido en rutas urbanas
en la ciudad de Guayaquil mediante simulación del tren de potencia”**

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

AUTORES: LESLIE GINNET ALARCÓN VERA
LEYTON EDISON LEMA TENEGUSÑAY

TUTOR: ING. PABLO RENATO FIERRO JIMENEZ, MGTR.

Guayaquil – Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Leslie Ginnet Alarcón Vera con documento de identificación N° 0941424574 y Leyton Edison Lema Tenegusñay con documento de identificación N° 0604999896, 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.

Guayaquil, 15 de septiembre del año 2023.

Atentamente,



Leslie Ginnet Alarcón Vera

0941424574



Leyton Edison Lema Tenegusñay

0604999896

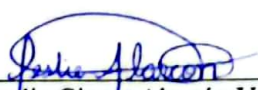
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Leslie Ginnét Alarcón Vera con documento de identificación N°. 0941424574 y Leyton Edison Lema Tenegusñay con documento de identificación N°. 0604999896, 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 del consumo energético de un Vehículo Híbrido en rutas urbanas en la ciudad de Guayaquil mediante simulación del tren de potencia”, 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.

Guayaquil, 15 de septiembre del año 2023.

Atentamente,



Leslie Ginnét Alarcón Vera

0941424574



Leyton Edison Lema Tenegusñay

0604999896

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Renato Fierro Jiménez con documento de identificación N° 1103588578, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO EN RUTAS URBANAS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL MEDIANTE SIMULACIÓN DEL TREN DE POTENCIA”, realizado por Leslie Ginnet Alarcón Vera con documento de identificación N° 0941424574 y por Leyton Edison Lema Tenegusñay con documento de identificación N° 0604999896, 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.

Guayaquil, 15 de septiembre del año 2023.

Atentamente,



Pablo Renato Fierro Jiménez

1103588578

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a mi Papá que a pesar de nuestras diferencias siempre ha querido lo mejor para todos sus hijos, sin desmerecer a mi mamá por lo poco o lo mucho que me ha apoyado durante todo este proceso, sin olvidar a todas esas personas que me han ayudado de alguna manera directa e indirecta en todo este largo proceso. Son gracias infinitas a todas esas personas que están en la sombra en todo esto y que me han ayudado a seguir adelante para no desistirá de este largo camino.

Leslie Alarcón

DEDICATORIA

Con mucho cariño dedico:

A mis padres y mi familia.

Este trabajo le dedico a mi familia especialmente a mis Padres que siempre me han estado apoyando en el proceso, gracias a su esfuerzo y sacrificio que me brindaron en cada momento para triunfar y ser un mejor ser humano digno y honrar a mi familia con amor y gratitud.

Leyton Lema

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a toda mi familia en general, en lo mucho y poco que me han dado para seguir este largo camino que ha sido duro, pero con perseverancia y dedicación se ha logrado.

Agradeciendo en primera instancia a la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, y sus docentes por guiarme durante este arduo proceso académico, brindado su apoyo y consejo para la culminación

Leslie Alarcón

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitir lograr este gran objetivo, a mis Padres por guíame en el camino del bien, dándome la fortaleza necesaria y luchar por mis sueños, anhelos, y a mis hermanas porque me alentaron en mí, los deseos de esfuerzo y superación.

Agradezco a la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, y sus docentes, q brindan todo su conocimiento y apoyo para la culminación de este proceso.

Leyton Lema

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de analizar el consumo energético de un Vehículo Híbrido en las rutas urbanas preestablecidas en la ciudad de Guayaquil, con el propósito determinar estrategias de control de consumo mediante la simulación del tren de potencia en ciclos urbanos. La problemática que se aborda es la falta de información de estudios sobre el consumo energético, el cual no permite la estimación de estrategias de control de consumo energético en la ciudad de Guayaquil. Para ello se basó una revisión exhaustiva de documentación académica acerca de los vehículos híbridos, como la arquitectura híbrida, grados de hibridación, configuración de tren de propulsión; paralelamente el proceso de validación del modelo de tren de propulsión del vehículo híbrido, mediante la metodología HiLS en función a las características técnicas de prueba y ruta preestablecida.

La metodología aplicada se basa en la adquisición de datos mediante prueba de campo en la ruta preestablecida del vehículo de prueba, para la recopilación de datos reales basados en las características técnicas del vehículo y la geografía de la ruta recorridas, así como factores externos que influyen directamente en el recorrido como es el flujo vehicular y condiciones ambientales; y a su vez recolectar datos cuantitativos en función de la (velocidad, tiempo, rpm) del vehículo mediante dos métodos: el experimental y el analítico. Se utilizó el modelo estadístico del software Minitab para el respectivo procesamiento, análisis e interpretación de datos.

Los datos recabados se usan como base para el modelo aplicado mediante el software Matlab/Simulink, donde se obtiene curvas de velocidad, torque y potencia para obtener el error porcentual entre lo simulado con respecto a lo real.

Al obtener las curvas comparativas del ciclo de conducción experimental y simulado, se analiza las zonas de mayor gasto energético, donde se determina el consumo excesivo e innecesario de energía en algunas zonas de la ruta preestablecida, con la finalidad de proponer estrategias de mejora de consumo.

Palabras claves: vehículo híbrido, consumo energético, rutas preestablecidas, protocolos, cuantitativos.

ABSTRACT

This research work was carried out with the purpose of analyzing the energy consumption of a Hybrid Vehicle in pre-established urban routes in the city of Guayaquil, with the purpose of determining consumption control strategies through the simulation of the powertrain in urban cycles. The problem addressed is the lack of information on energy consumption studies, which does not allow the estimation of energy consumption control strategies in the city of Guayaquil. This was based on an exhaustive review of academic documentation on hybrid vehicles, such as hybrid architecture, degrees of hybridization, powertrain configuration; parallel to the validation process of the hybrid vehicle powertrain model, using the Hills methodology according to the technical characteristics of the test and pre-established route.

The methodology applied is based on the acquisition of data through field tests on the preset route of the test vehicle, for the collection of real data based on the technical characteristics of the vehicle and the geography of the route traveled, as well as external factors that directly influence the route such as vehicular flow and environmental conditions; and in turn collect quantitative data based on the (speed, time, rpm) of the vehicle through two methods: experimental and analytical. The statistical model of Minitab software was used for the respective data processing, analysis, and interpretation.

The data collected are used as the basis for the model applied by means of Matlab/Simulink software, where speed, torque and power curves are obtained to obtain the percentage error between the simulated with respect to the real.

By obtaining the comparative curves of the experimental and simulated driving cycle, the areas with the highest energy expenditure are analyzed, where excessive and unnecessary energy consumption is determined in some areas of the pre-established route, with the purpose of proposing strategies to improve consumption.

Key words: hybrid vehicle, energy consumption, pre-established routes, protocols, quantitative

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problemática.....	1
1.2 Objetivos	6
1.2.1 Objetivo General.....	6
1.2.2 Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II. REALIDAD ACTUAL	7
2.1 Matriz energética en el Ecuador.....	7
2.2 Matriz energética industria automotriz en el Ecuador.	7
2.3 Consumo de combustibles en Ecuador.....	8
2.4. Energías alternativas.	8
2.5. Estudios de energías alternativas.....	9
2.6. Conceptos básicos vehículo híbrido.....	9
2.6.1 Vehículos Híbridos:.....	9
2.6.2 Vehículo híbrido convencional (VH):	9
2.6.3. Vehículo híbrido enchufable (VHE):.....	9
2.6.4. Vehículo híbrido con autonomía extendida (VHA):.....	10
2.6.5. Frenado Regenerativo (MCIA):.....	10
2.7. Configuración del tren motriz híbrido.....	10
2.7.1. Configuraciones de tren motriz híbrido en serie:.....	10
2.7.2. Configuraciones de tren motriz híbrido en paralelo:	11
2.7.3. Configuración de tren motriz híbrido combinado:.....	11
2.8. Características de los vehículos híbridos.	12
2.9. Comparación entre vehículos comunes y un HEV.....	15
2.10. Ventajas y Desventajas de los Vehículos Híbridos.....	16
2.11. Vehículos híbridos en Ecuador	17
2.12. Protocolos de evaluación de vehículos.....	18
2.12.1. Protocolo de comunicación.....	20

2.12.2. Comunicación con el ECU.....	20
2.13. UNECE.....	21
2.14. Método HiLS.....	21
2.15. Ciclos de conducción	22
2.16. Método de análisis estadístico.....	24
2.16.1. Estadística descriptiva.....	24
2.16.2. Clasificación y selección de diseños de experimento	25
2.16.3. Factorial	26
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	27
3.1. Metodología experimental y analítico.....	27
3.2. Vehículo de prueba.....	28
3.2.1. Modos de conducción.	29
3.3. Ruta preestablecida.	29
3.3.1. Criterios de selección de ruta.....	30
3.3.2. Caracterización de la ruta seleccionada	31
3.4. Metodología de adquisición de datos	35
3.4.1. Protocolo de comunicación.....	35
3.4.2. Protocolo de adquisición de datos.....	35
3.4.3. Protocolo de prueba Modo eléctrico.....	36
3.5. Parámetros de conducción.....	36
3.5.1. Percepción y conducción	40
3.5.2. Sistemas adicionales del vehículo.....	41
3.6. Protocolo de muestreo.....	42
3.7. Método HiLS-Simulación	43
3.7.1 Estructura.....	44
3.7.1.1. Modelo del vehículo-HiLS Vehicle Model Serial.....	44
3.7.1.2 Modelo del conductor.....	56
3.7.1.3 Unidad de control ECU	56
3.7.2. Variables de códigos de programación.....	62

3.7.3. Vehículos/modelos para procesamiento.	62
3.8. Parámetros de simulación.....	63
1.8.1 Ambientales.	69
1.8.2 Operación del vehículo.	70
1.8.3 Vehículo.....	70
3.9. Programas computaciones obtención de datos y estadística.	75
1.9.1 MATLAB-SIMULINK.	75
1.9.2 MINITAB.....	75
3.10. Cronograma de actividades.....	77
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS	79
4.1. RESULTADOS.....	79
4.1.1. Determinación de la ruta.....	79
4.1.2. Tamaño de la muestra.....	79
4.1.3. Diseño factorial.....	80
4.1.4. Adquisición de datos.....	81
4.1.5. Dinámica del vehículo.	81
4.1.6. Simulación.	82
4.1.6.1. Velocidad.....	83
4.1.6.2. Torque.....	85
4.1.6.3. Potencia.....	85
7.1.7. Prueba de normalidad (Kolmogórov-Smirnov).....	87
7.1.8. Prueba no paramétrica Wilcoxon.....	88
7.1.9. Resultado Curva comparativa.....	90
4.2. DISCUSIÓN.....	92
5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
5.1. CONCLUSIONES	93
5.2. RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS	95
ANEXOS	103

GLOSARIO

- **AEADE:** Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador.
- **ANDAMUR:** Empresa de transporte que brinda servicios en ruta, familiar, profesionalizada y cercana a todo el continente europeo.
- **AUTONOMÍA:** Se define como a la distancia máxima que puede recorrer un vehículo en una sola carga en el caso de los modelos eléctricos.
- **CO:** Monóxido de Carbono.
- **CAN:** Red de área de control.
- **DOE:** Departamento de Energía de Estados Unidos.
- **ETSEIB:** Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona
- **GE:** Generador.
- **GTR** Reglamentación técnica mundial.
- **HC:** Hidrocarburos.
- **HEV:** Vehículo híbrido convencional.
- **HILS:** Hardware in the loop.
- **INEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- **INER:** Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.
- **MCI:** Motor de combustión interna.
- **MCPEC:** Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad.
- **ME:** Motor Eléctrico.
- **Método de k-medias:** Método estadístico de agrupamiento, su objetivo es integración de un conjunto de N observaciones en K grupo, la cual cada observación es agrupada al valor medio más cercano.
- **Modelo de la cadena de Márkov:** Método estándar, la cual se define como una variable aleatoria representando los estados de un determinado sistema durante una serie de intervalos de tiempo.
- **MW:** Unidad de potencia equivalente a un millón de vatios.
- **NEDC:** Nuevo ciclo de conducción Europeo.
- **OBD2:** Diagnóstico a bordo de segunda generación.
- **PHEV:** Vehículo híbrido enchufable.
- **PM:** Partículas por contaminación.

- **SAE:** Sociedad de ingenieros automotrices.
- **SUV:** Vehículo utilitario deportivo.
- **UE:** Unión Europea.
- **UNECE:** Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas.
- **VH:** Vehículo Híbrido.
- **VHA:** Vehículo Híbrido de autonomía extendida.
- **VHE:** Vehículo Híbrido Enchufable.
- **WHVC:** Ciclo mundial armonizado de vehículos.
- **WLTP:** Procedimiento Mundial Armonizado para Ensayos de Vehículos.

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Ventas mensuales de vehículos híbridos periodo 2022.	8
Fig. 2. Configuraciones de tren motriz hibrido en serie.	11
Fig. 3. Configuración de tren motriz hibrido en paralelo..	11
Fig. 4. Configuración de ten motriz hibrido combinado.....	12
Fig. 5. Puerto de OBD.....	20
Fig. 6. Datos de los ciclos de conducción NEDC y WLTP.	23
Fig. 7. Metodología de aplicación.....	27
Fig. 8. Ruta. Av. Domingo Comín - Av. Pio Jaramillo Alvarado –Vía Perimetral - Vía a la costa.....	30
Fig. 9. Formato de Chek list.....	40
Fig. 10, 11,12. Protocolo de prueba configurar vehículo.....	42
Fig. 13. Estructura de la simulación.....	44
Fig. 14. Modelo del vehículo-HiLS	44
Fig. 15. Bloque de los componentes.	45
Fig. 16. Modelo de simulación Hils.....	46
Fig. 17. Batería RC model,	47
Fig. 18. Control local y de ReESS batería.	47
Fig. 19. Chasis del Modelo.	48
Fig. 20. Control local y Chassis.	48
Fig. 21. Máquina Eléctrica 1.....	49
Fig. 22. Maquina Eléctrica 2.....	49
Fig. 23. Control local de la Maquina eléctrica.....	50
Fig. 24. Modelo del Motor.....	50
Fig. 25. Modelo del control del motor.	51
Fig. 26. Modelo del Volante.	51
Fig. 27. Control del Modelo del volante	52
Fig. 28. Modelo de engranaje mecánico.	52
Fig. 29. Visores	53
Fig. 30. IEC.....	53
Fig. 31. ReESS.....	54
Fig. 32 . Visor de Generador.....	54
Fig. 33. Visor de maquina eléctrica.	54

Fig. 34. Visor del Chassis.	55
Fig. 35. Visor del volante.	55
Fig. 36. Modelo de salida de datos.	55
Fig. 37. Modelo del conductor.	56
Fig. 38. Controlador del modelo.	56
Fig. 39. Unidad de control.	56
Fig. 40. Modelo del conductor.	57
Fig. 41. Bloque Ecu.	57
Fig. 42 Bloque de la batería	58
Fig. 43. Señal de Generador.	58
Fig. 44. Señal del Volante de inercia.	59
Fig. 45. Señal de la maquina eléctrica.	59
Fig. 46. Señal del Chasis.	59
Fig. 47. Señal del motor.	60
Fig. 48. Señal de la maquina eléctrica 1.	60
Fig. 49. Señal de la maquina eléctrica 2.	60
Fig. 50. Señal de Chasis.	61
Fig. 51. Interfaces de Hardware.	61
Fig. 52. Interfaz.	61
Fig. 53, 54. Esquema de bloque output.	61
Fig. 55. Área frontal del vehículo	70
Fig. 56. Radio Dinámico del Vehículo.	71
Fig. 57 Velocidad.	83
Fig. 58 Velocidad zona A	84
Fig. 59 Velocidad zona B.	84
Fig. 60 Velocidad zona C.	84
Fig. 61 Torque.	85
Fig. 62 Potencia	85
Fig. 63 Potencia zona A	86
Fig. 64. Potencia zona B	86
Fig. 65. Potencia zona C	87
Fig. 66. Potencia zona D	87
Fig. 67. Resultados de curva comparativa	90

Fig. 68. Zona A	90
Fig. 69. Zona B	91
Fig. 70. Zona C	91

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I ENERGÍA PRIMARIA.....	7
TABLA II SISTEMA DE PROPULSIÓN HÍBRIDO.....	12
TABLA III GRADO DE HIBRIDACION	13
TABLA IV VEHÍCULO A COMBUSTION INTERNA Y UN HEV	15
TABLA V PROTOCOLO DE PRUEBA SAE.....	19
TABLA VI ESTRUCTURA DE ENERGÍA PRIMARIA	24
TABLA VII CLASIFICACION DE DISEÑO DE ESPERIMENTOS	26
TABLA VIII CARACTERISTICAS DEL VEHÍCULO HIBRIDO BLUE DRIVE.....	28
TABLA IX FLUJO VEHICULAR.....	31
TABLA X CARACTERIZACIÓN DE RUTA.	32
TABLA XI VARIABLES DE OBTENCION DE DATOS.....	43
TABLA XII PARAMETROS DE SIMULACIÓN	63
TABLA XIII COEFICIENTE A LA RODADURA.....	72
TABLA XIV COEFICIENTE AERODINÁMICO	73
TABLA XV CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	77
TABLA XVI TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	79
TABLA XVII OBSERVACIONES	80
TABLA XVIII DISEÑO FACTORIAL	80
TABLA XIX COMBINACIONES.....	80
TABLA XX ADQUISICIÓN DE DATOS	81
TABLA XXI DINÁMICA DEL VEHÍCULO	81
TABLA XXII MAPE	82
TABLA XXIII PRUEBA DE NORMALIDAD KOLMOGÓROV-SMIRNOV.....	88
TABLA XXIV RESULTADOS DE PRUEBA	88
TABLA XXV RESULTADOS DE PRUEBA NO PARAMÉTRICA WILCOXON.....	89

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática

1.1.1. Antecedentes

A nivel global la contaminación ambiental se ve incrementada por el área automotriz que juega un papel muy importante, ya que los vehículos generan el 76% de desechos tóxicos que circulan en el aire [1]. Dentro de este porcentaje se encuentran los contaminantes, que actúan directamente en la atmósfera siendo consecuencia de la quema de combustible fósiles tales como; Óxidos de azufre (SO_x), Monóxido de Carbono (CO), el 70% de este gas es consecuencia de los vehículos, esto se debe por el proceso incompleto de los compuestos de Carbono, Óxidos de nitrógeno (NO_x) producido por la quema de combustible fósil (vehículos, carbón y quema de madera), Hidrocarburos (HC) generados por el mal proceso de combustión de los derivados del petróleo [2].

El estudio realizado por World Air Quality Report en 2022, detalla que en Sudamérica las partículas por contaminación (PM), rondan entre 23.5 PM en el Perú y en Chile de 22.5 PM. Siendo los países con mayor nivel de contaminantes de aire en la región, dentro del ranking global que ocupan los puestos 38 y 43 respectivamente. La calidad del aire en el Ecuador es de 2.5 PM [3].

La Oficina de Eficiencia Energética y Energías Renovables de los Estados Unidos (EERE), detalla que el consumo de los vehículos como; el Toyota Corolla Híbrido es de 14.4km/l (recorrido 50% en ciudad y 50 en ruta) y el Toyota Prius con las mismas condiciones es de 23.4km/l dando un rendimiento de 62%, con respecto al vehículo convencional que tiene una eficiencia energética de 25%[4].

En la investigación realizada por la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca en el 2018, se desarrolló un proyecto para analizar el consumo energético del vehículo eléctrico Kia Soul utilizando el sistema de calefacción y audio mediante recorridos en la ciudad de Cuenca, en lo cual se consideraron variables de entrada y salida para el diseño de experimento, determinando que el vehículo tiene un mayor consumo energético al accionar el sistema de calefacción, reduciendo su autonomía[5].

De igual forma, el desarrollo de nuevas tecnologías para la movilidad en función de la contaminación ambiental a nivel mundial permite el paso al cambio de energías de propulsión, debido al incremento de gases de efecto invernadero, deforestación y crecimiento térmico[6]. En este sentido, la responsabilidad social a nivel mundial incide en generar nuevas tecnologías a los vehículos híbridos que permita mejorar el rendimiento de forma sustentable.

No obstante, el sistema de propulsión ha generado dudas en cuanto al consumo de energía en los vehículos, lo que afecta de forma significativa al ser aplicado en áreas urbanas. Estos criterios generan incertidumbre sobre el sistema de propulsión por el consumo de energía y gastos operativos del vehículo. El consumo energético de los vehículos está generado en términos de potencia por distancia empleada. Es decir, cuando el vehículo demanda mayor energía, el costo de operación incrementa proporcionalmente con el consumo energético, influyendo en la economía.

1.1.2. Importancia y alcance

La falta de información técnica compartida con el entorno social sobre la movilidad alternativa, recae en el desprestigio de la tecnología en este tipo de vehículos, por lo que en la actualidad por la pandemia en 2020 de COVID-19 se alteró abruptamente la movilidad a nivel global, gracias a estos cambios se debe considerar el desarrollo y despliegue de nuevas soluciones de movilidad, dando mayor impulso a investigaciones para energías alternativas, comenta el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE)[7].

Existen estudios de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca sobre el consumo energético, los cuales no subsanan las estrategias de control energético en los vehículos híbridos para la Ciudad de Guayaquil. La deficiencia informática de datos técnicos y específicos de estudios sobre el consumo energético de estos vehículos no permite la estimación en estrategias de control del consumo energético, esto acarrea a la necesidad de realizar modelados y experimentación para curvas de velocidad y potencias en rutas preestablecidas, estableciendo los puntos donde se presenta mayor consumo energético.

1.1.3. Delimitación

El presente estudio se lleva a cabo en la Universidad Politécnica Salesiana-Sede Guayaquil donde se analiza el consumo energético de un Vehículo Híbrido, en rutas urbanas preestablecidas para la determinación de estrategias de consumo energético mediante la simulación de tren de potencia.

1.1.4. Justificación

El presente trabajo se justifica desde el contexto ambiental, el mismo que se alinea a los intereses globales y nacionales que persiguen de transiciones económicas, citados en el artículo 413 de la Constitución de la Republica del Ecuador; *“Señala que el estado debe promover la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientales limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas de bajo impacto”*[8].

Mientras que, en la Ley de Gestión Ambiental, en su artículo 1 manifiesta que *“La presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.”* (*“DELITOS CONTRA EL MEDIO AMBIENTE EN ECUADOR”*) [9]

De igual forma, el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), desarrolla líneas de investigación científica, las cuales se enfocan en la eficiencia y consumo energético de los vehículos, promoviendo la movilidad sostenible y nuevas tecnologías del transporte, presentado por MCPEC correspondiendo al oficio Nro. MCEPEC-DESP-2014-1274-O de 29 de julio de 2014[10].

Del mismo modo, el gobierno impulsa el uso de energías renovables en el área automotriz, siendo la energía eléctrica un futuro remplazo de fuentes de combustibles de los derivados del petróleo, los cuales representa millones de dólares en subsidios al estado ecuatoriano, promoviendo la exoneración del impuesto a los consumos especiales (ICE) por la adquisición de vehículos híbridos o eléctricos.[11]

En la industria automotriz la UE (Unión Europea) exportó más de 6.3 millones de vehículos a nivel mundial, así el continente Americano fue enviado el 25.9%, correspondiente a un 1.7% a centro América y Sudamérica, lo que suma un total de 83 millones de vehículos en Sudamérica[12]. En Ecuador se registran 2.535.853 vehículos motorizados matriculados siendo las provincias del Guayas, Pichincha y Azuay con mayor flujo vehicular, de los cuales 552.569 vehículos son matriculados en la provincia del Guayas que varían su uso, siendo 527.053 vehículos de uso particular, 25.449 vehículo de uso alquiler, 62 vehículos de uso del estado y 5 de otros.

En el 2021 se contabilizó 176.368 automóvil y 84.133 SUV, dentro de estos hay 3.675 vehículos híbridos todos de uso particular, con respecto a los eléctricos se matricularon 109 vehículos repartidos en 15 vehículos de servicio alquiler y 94 de servicio particulares, información generada por el INEC que apunta que este modelo de vehículos tiene mayor recepción, por la independencia que brinda este tipo de tecnología en comparación de los eléctricos[13].

La Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), detalla que la venta de vehículos híbridos ha mejorado con respecto a los últimos años, puesto que; en el año 2019, se vendieron 1.367 unidades; en el año 2020, 1.130 unidades; en el año 2021, 4.269 unidades y en el periodo del 2022 de enero hasta julio aumentó 134% la venta de estos vehículos híbridos con 4.052 unidades, expandiendo el mercado[14].

El consumo energético dentro del transporte en el Ecuador del año 2021 fue de 48.9%, el diésel ocupa un 51.6%, gasolina 47.3% y electricidad 0.01%. El consumo de energía del transporte terrestre de carga pesada es de 47% y carga liviana 21%, datos detallados por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables[15].

La mejora del consumo energético de los vehículos híbridos abre la puerta a que los gobiernos e industrias, trabajen conjuntamente desarrollando programas innovadores y sostenibles para la mejora de energías alternativas correspondiente al sector del transporte.

La presente investigación está enfocada en las estrategias de consumo energético del vehículo híbrido blue drive de la carrera de Ingeniería Automotriz, dentro de esta propuesta de trabajo se desarrolla la aplicación de normas internacionales y nacionales, para la captación y simulación de datos de los recorridos preestablecidos que se van a realizar mediante protocolos de prueba, todo esto desarrollado en la ciudad de Guayaquil, aportando a la academia por el análisis del consumo energético del vehículo en particular.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Analizar el consumo energético en un Vehículo Híbrido en rutas urbanas preestablecidas en la Ciudad de Guayaquil, con el fin de determinar estrategias de control de consumo mediante la simulación del tren de potencia en ciclos urbanos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Establecer la configuración del tren de propulsión del vehículo híbrido blue drive de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, para la implementación de modelos de simulación verificados.
- Desarrollar un análisis comparativo del consumo energético del Vehículo Híbrido mediante simulación y experimentación en recorridos urbanos, a fin de determinar los gráficos de potencia y velocidad.
- Analizar las zonas de mayor gasto energético en los ciclos de conducción experimentales y simulados, a fin de proponer estrategias de mejora del consumo.

CAPÍTULO II. REALIDAD ACTUAL

En esta sección se realizará la parte investigativa en base a fuentes bibliográficas, tales como revistas, tesis, artículos científicos, libros y datos técnicos, los cuales permitirán fortalecer los conceptos y un mejor desarrollo de la investigación.

2.1 Matriz energética en el Ecuador.

En el año 2021 determinó que cuenta con una capacidad de producción de energía de 8036.34MW, de los cuales las fuentes de energía del Ecuador se encuentran divididas de acuerdo con lo siguiente: petróleo con 85.82%, gas natural 4.43%, hidroenergía 7.87%, productos de caña 1%, leña 0.78% y otras fuentes primarias con 0.11% en los últimos 5 años cómo detalla en la tabla I. Según el reporte diario de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables la producción día de operación es de 475844.58 bppd (barriles de petróleo por día) en los campos de perforación. La disuasión de la energía eléctrica de 60.75% es de fuente renovable y el 39.25% no renovable[16] [17].

TABLA I

ESTRUCTURA DE ENERGÍA PRIMARIA [19].

	2017	2018	2019	2020	2021	Var. (%0) 2021/2022
Petróleo	87,48	87,48	86,90	86,28	85,82	-0,5
Gas natural	4,94	4,71	4,36	4,31	4,43	2,8
Hidroenergía	5,61	5,93	6,84	7,40	7,87	6,3
Leña	0,80	0,81	0,76	0,8	0,78	-2,8
Productos de caña	1,09	0,97	1,04	1,10	1,00	-9,1
Otras primarias	0,07	0,11	0,10	0,11	0,11	-6,5
Total, primarias	100	100	100	100	100	

2.2 Matriz energética industria automotriz en el Ecuador.

En la actualidad los combustibles fósiles en el país han aumentado su precio por galón, generando que los vehículos con fuentes de energías alternativas aumenten sus ventas, tales como los vehículos eléctricos e híbridos que han aumentado su venta en un 201% en el año

2021 [18]. La AEADE detalla que la venta de los vehículos híbridos fue de 4269 unidades, en la figura 1 representa la adquisición de vehículos híbridos por cada mes del periodo en los años 2021-2022 [19],[20].

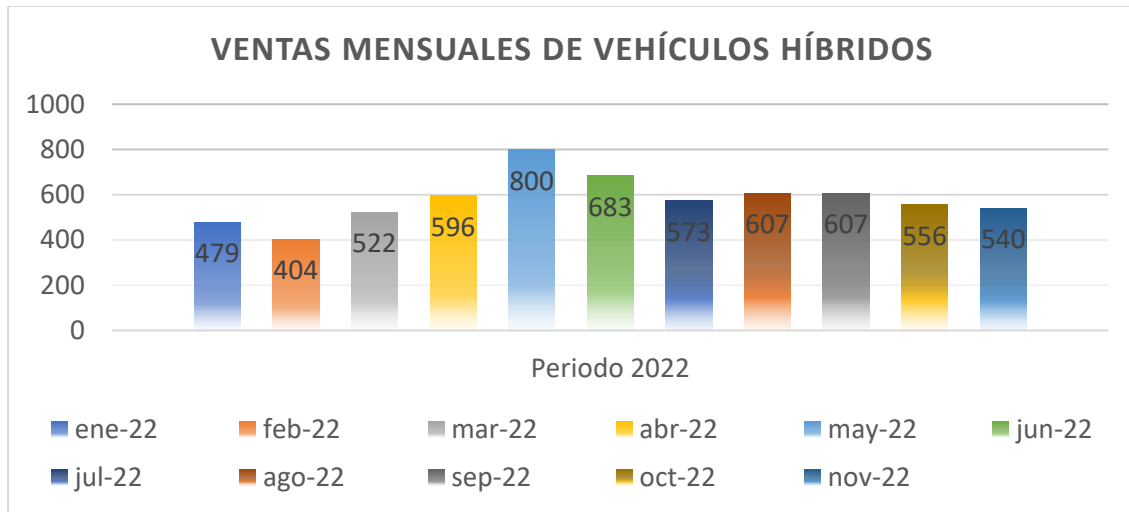


Fig. 1 Ventas mensuales de vehículos híbridos periodo 2022. **Fuente:** [20].

2.3 Consumo de combustibles en Ecuador.

El precio de la gasolina en Ecuador fluctúa debido a factores mundiales del petróleo; sin embargo, el 23 de octubre de 2021 mediante el decreto ejecutivo 1183 el Presidente de la República fijó el precio de la gasolina extra y Extra con Etanol Anhidro (Eco país) [21].

El consumo de combustible se mantiene a pesar del cambio abrupto de precios que se han dado en los últimos años en el país, como consecuencia del consumo de los combustibles fósiles las emisiones de gases de efecto invernadero permanecen constante. Las nuevas gasolinas que circulan en el territorio ecuatoriano han contribuido a una mínima reducción de gases peligrosos producidos por los motores de combustión, para el medio ambiente y la salud humana como el plomo, el azufre y la adición de tetraetilo de plomo [22], [23].

2.4. Energías alternativas.

Como consecuencia del proceso de combustión en los vehículos con motores térmicos se producen: vapor de agua y dióxido de carbono, siendo expulsados directamente al ambiente los cuales no son nocivos; en menor proporción, siendo tóxicos para el ambiente, gases como el monóxido de carbono, óxidos de nitrógenos, óxido de azufre, hidrocarburos entre otros que actúan directamente al efecto invernadero y el calentamiento global. El surgimiento de

normativas y leyes para la fabricación de vehículos se genera, por la obligación a disminuir gases nocivos al ambiente, este tipo de reglamentación con el paso del tiempo son más rigurosas, orillándolos a nuevas fuentes de energías[24, p. 19].

2.5. Estudios de energías alternativas

Según la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona (ETSEIB), en el estudio realizado en “Vehículos híbridos, pasado, presente y futuro”; la creencia popular destaca que los vehículos de combustible alternativo utilizan menos gasolina y generan bajas emisiones que un vehículo convencional, en general una versión híbrida emite menos dióxido de carbono que los vehículos de combustión interna [25].

2.6. Conceptos básicos vehículo híbrido.

2.6.1 Vehículos Híbridos:

La tecnología de los Vehículo Híbrido (VH), que utiliza la energía de combustibles no renovables, es inicialmente más económica, ofrece mayor autonomía y carga rápida. Sin embargo, el interés en los sistemas de propulsión eléctricos se evidencia un crecimiento en la utilización de fuentes de energía renovables y alternativas[24],[26].

Un VH es el que combina uno o varios motores eléctricos con un motor térmico, gracias a este tipo de configuración del tren de potencia puede constar con más de un motor, también dispone de una batería alimentada que puede ser por cualquiera de estos dos motores[27].Según RACE, esta tecnología se divide actualmente en tres sistemas híbridos principales:

2.6.2 Vehículo híbrido convencional (VH):

El motor principal es uno de combustión interna, alimentado por un pequeño motor eléctrico, cuya batería realiza el proceso de carga por sí misma, teniendo la capacidad de absorber energía a través de un sistema de frenado regenerativo, este sistema permite recuperar cierta cantidad de energía cinética que se genera durante el proceso de frenado o desaceleración del vehículo[28],[29].

2.6.3. Vehículo híbrido enchufable (VHE):

El motor eléctrico es más grande y la capacidad de la batería de mayor demanda,

logrando recorrer mayor cantidad de kilómetros por si sola. Este tipo de vehículos pueden recargarse en diferentes puntos de conexión públicos o en general a la red eléctrica domiciliaria [26],[30].

2.6.4. Vehículo híbrido con autonomía extendida (VHA):

Este tipo de vehículo contienen un motor principal eléctrico, el cual es enchufable, pero incluye un motor de combustión interna (MCI) de menor dimensiones que actúa como generador, para cargar la batería y ampliar la autonomía del vehículo sin ser necesario acudir a una estación de carga[31],[30].

2.6.5. Frenado Regenerativo (MCIA):

El frenado regenerativo o la MCIA también pueden utilizarse para cargar la batería en vehículos híbridos de autonomía extendida, contiene un sistema de carga mediante conexión directa a una fuente de energía estacionaria[32][24].

2.7. Configuración del tren motriz híbrido.

Los esquemas de configuración del tren motriz híbrido se clasifican en función del diseño de su sistema de propulsión;

- Híbridos en serie.
- Híbridos en paralelo.
- Híbridos combinados.

2.7.1. Configuraciones de tren motriz híbrido en serie:

La configuración del tren motriz de los vehículos híbridos en serie consta de un motor de combustión (MCI), un generador (GE) y un motor eléctrico (ME). En esta configuración él ME es el encargado de suministrar la potencia necesaria a las ruedas del vehículo, mientras que el MCI encargado de suministrar la energía eléctrica a la batería cuando los niveles de operación lo requieran al umbral determinado. La figura 2 ilustra la configuración del tren de potencia en serie [33].

Esta configuración se utiliza principalmente en vehículos híbridos enchufables de rango extendido. En este esquema, un motor impulsa el vehículo y otro motor está conectado como fuente auxiliar de alimentación al vehículo sin componentes de conexión mecánica, la energía mecánica generada por el MCI se convierte en energía eléctrica mediante el generador, que a su vez alimenta al motor eléctrico para impulsar el vehículo [34][35].

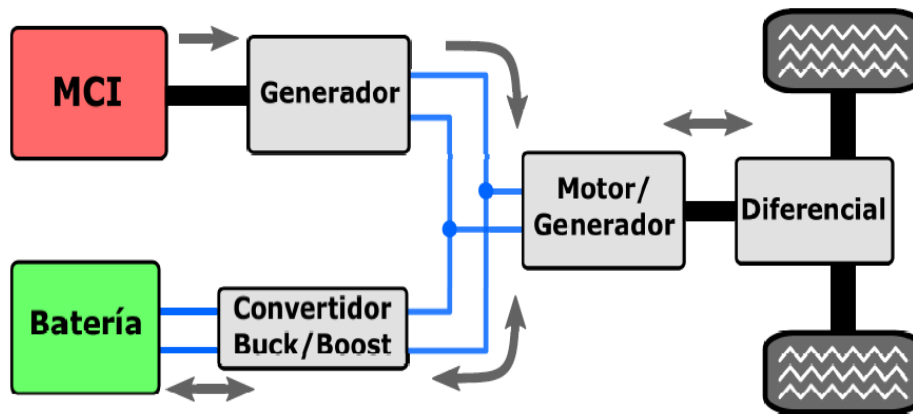


Fig. 2. Configuraciones de tren motriz híbrido en serie. **Fuente:** [34]

2.7.2. Configuraciones de tren motriz híbrido en paralelo:

En la configuración del tren motriz híbrido en paralelo, el vehículo puede ser impulsada por un motor principal, pero generalmente se utiliza otro motor para ayudar a ajustar la potencia de salida, del motor principal de acuerdo con los requisitos de potencia del vehículo. Esta configuración aprovecha la mayoría de las ventajas de la estructura de los vehículos convencionales, y está equipada con una transmisión tradicional de seis a nueve velocidades, como se observa en la figura 3 [36],[37].

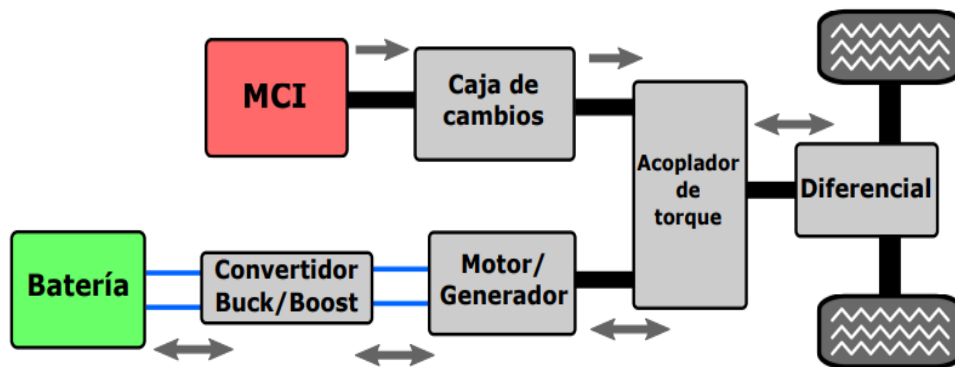


Fig. 3. Configuración de tren motriz híbrido en paralelo. **Fuente:** [38].

2.7.3. Configuración de tren motriz híbrido combinado:

Las configuraciones de tren motriz híbrido combinado tienen las ventajas de las series y los paralelos, se pueden adaptar a una variedad de condiciones de trabajo, mejorando así el rendimiento. Los VHE convencionales en el mercado generalmente adoptan configuraciones de tren motriz híbrido combinado, el tren motriz híbrido combinado incluyen la configuración de dos o más motores, y la de división de potencia basada en el mecanismo de engranajes planetarios [39],[35]. En esta configuración, el motor principal puede ser cualquiera de los dos

motores bien MCI o ME, el cual es responsable de proporcionar la mayor parte de potencia del vehículo para impulsarlo.

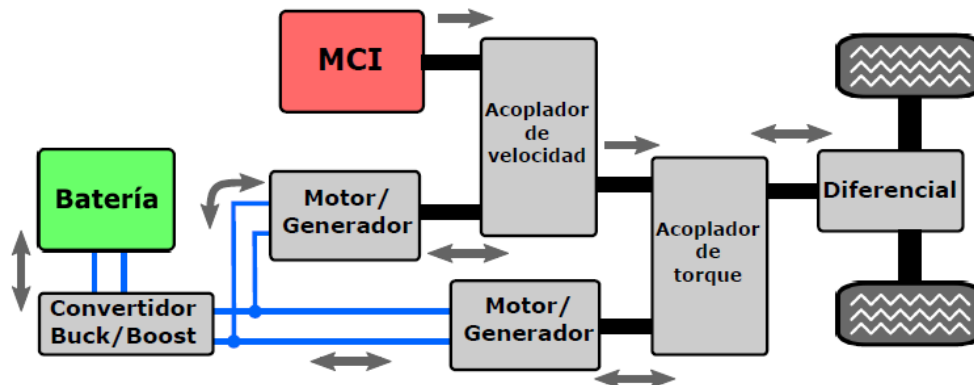


Fig. 4. Configuración de un motor híbrido combinado. Fuente: [38].

Siendo así el motor inactivo actúa como un motor auxiliar y se utiliza para complementar la potencia del motor principal, en situaciones que requieren una mayor demanda, como acelerar o subir pendientes, figura 4 ilustra la configuración de cada elemento[35].

2.8. Características de los vehículos híbridos.

Los vehículos híbridos en sus sistemas de propulsión se presentan cinco áreas que explican el desarrollo de la tecnología aplicada, detallado en la tabla II.

TABLA II

SISTEMA DE PROPULSIÓN HÍBRIDO [35]

Unidad de Potencia	En los vehículos híbridos potenciados por motores eléctricos o híbridos, el sistema de propulsión está compuesto por un motor eléctrico o por la combinación de ME y MCI[40].
Sistema de control de potencia.	Los vehículos híbridos toman la corriente eléctrica necesaria para su funcionamiento del paquete de baterías y en algunas ocasiones de los super capacitores. Estos componentes se encargan de almacenar la energía necesaria para alimentar el motor eléctrico del vehículo [41].
Sistema de almacenamiento de energía.	Los vehículos híbridos su sistema de propulsión es alimentado por energías de origen renovables, el almacenamiento de la energía se efectúa en el paquete de baterías, en algunos casos dan uso a los supercondensadores como almacenamiento

	adicional. Teniendo en cuenta el uso de combustible fósil en MCI no se aplica en vehículos 100% eléctricos[42].
Estructura o arquitectura del tren motriz.	Debido al tamaño y diseño del motor eléctrico, es posible colocar el sistema de freno en una gran variedad de ubicaciones técnicas aprovechando la potencia de frenado, con un sistema de almacenamiento de energía adecuado y en contacto con el MCI. Se clasifican en tres tipos: en serie, en paralelo y en serie-paralelo[34].
Sistema para regenerar energía.	El sistema de regeneración de energía se puede dar en diferentes fuentes de energías en este caso el freno regenerativo. Cuando el vehículo sólo se desplaza por la calzada debido a la inercia, es posible controlar y permitir que el motor eléctrico invierta su funcionamiento y funcione como generador eléctrico, consiguiendo la regeneración de la energía eléctrica, que se almacena en las baterías del vehículo, mediante el movimiento giratorio existente[43].

Los vehículos híbridos se caracterizan por promover los sistemas de recuperación de energía cinética (KERS), que convierten la energía de movimiento y frenado del vehículo en otro tipo de energía. Los KERS pueden ser mecánicos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos, debido a la enorme variabilidad tecnológica, considerando así la clasificación según su nivel de electrificación, detalla Barrera y Ros en el libro vehículos eléctricos e híbridos de la siguiente manera en la tabla III [44]:

TABLA III
GRADO DE HIBRIDACION [45],[49]

Clasificación ISO	Nombre oficial	Características Generales	Nomenclaturas habituales
μ HEV (Micro Hybrid Electric Vehicle)	Vehículo microhíbrido	<ul style="list-style-type: none"> • ME proporciona de 10 a 20 CV más. • Batería para accesorios de 12V. • Parada-arranque. • Tracción eléctrica de hasta 5kW. 	Vehículo microhíbrido

		<ul style="list-style-type: none"> • Sistema integrado KERS. 	
mHEV (Mild Hybrid Electric Vehicle)	Vehículo híbrido suave	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de 20% al 25% de su eficiencia con respecto a los vehículos de combustión interna. • Consta con tracción eléctrica que no supera los 15 kW de potencia. • Sistema integrado KERS. 	Vehículo Híbrido en Paralelo
HEV (Hybrid Electric Vehicle)	Vehículo híbrido	<ul style="list-style-type: none"> • Consta con tracción eléctrico que supera los 15 kW de potencia. • Sistema integrado KERS. • Aumento de 40% al 45% de su eficiencia con respecto a los vehículos de combustión interna. 	
PHEV (Plug-in-Hybrid Electric Vehicle)	Vehículo híbrido enchufable	<ul style="list-style-type: none"> • Contiene integrado un sistema de carga exterior que se conecta a la red pública. • Componentes eléctricos de mayor capacidad de energía. • Funcionan con energía eléctrica largos periodos de tiempo. 	Vehículo híbrido enchufable
REEV (Range Extended Electric Vehicle)	Vehículo eléctrico de autonomía extendida	<ul style="list-style-type: none"> • Al igual que los vehículos híbridos normales tienen un sistema de tracción eléctrico mayor a los 15 kW de potencia • Sistema integrado KERS. • Contienen sistema de carga externa. 	Vehículo híbrido en serie
FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle)	Vehículo de pila de combustible	<ul style="list-style-type: none"> • Tracción eléctrica mayor a 15 kW de potencia. • Sistema integrado KERS. 	Vehículo de hidrógeno

		<ul style="list-style-type: none"> • Depósito de hidrogeno a alta presión. • Absorbe la potencia disponible durante la frenada o desaceleraciones. 	
<hr/>			
EV (Electric Vehicle)	Vehículo eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Integrado un sistema de tracción eléctrico que va dirigido a toda la tracción del vehículo. • Sistema integrado KERS. • Contienen sistema de carga externa 	Vehículo Eléctrico

2.9. Comparación entre vehículos comunes y un HEV.

Los HEV consumen menos combustible y emiten cantidades inferiores de gases de efecto invernadero que otros vehículos con motor de combustión. Esto se demostró contrastando un HEV paralelo y un vehículo convencional en situaciones de conducción controlada y pruebas de conducción de manera real [50]. En la tabla IV se puede observar las diferentes características que posee un vehículo convencional y un híbrido.

TABLA IV

VEHÍCULO A COMBUSTION INTERNA Y UN HEV [50].

DESCRIPCION/	VEHÍCULO CONVENCIONAL	VEHÍCULO HÍBRIDO
Tipo de motor	SI	SI
Potencia en frío (KW)	110	110
Fricción de los Neumáticos (u)	0.008	0.005
Combustible del Generador (KW)	-	25
Masa del Vehículo (Kg)	1126	1161
Potencia del generador (KW)	-	50

En el ciclo de conducción real, puede ahorrar hasta un 68% de combustible en zonas urbanas. El vehículo híbrido tiene una mayor eficiencia de gas, que un vehículo con motor a

combustión interna y puede apagar el motor térmico, más del 25% la cantidad de tiempo cuando está estático gracias a la gran cantidad de frenado empleado en este tramo. El HEV no puede emplear estos escenarios en autopista, lo que se traduce en una reducción significativa de la eficiencia del combustible. Además, las emisiones de CO₂ disminuyen a la par que la eficiencia del combustible [51].

2.10. Ventajas y Desventajas de los Vehículos Híbridos

La necesidad de encontrar nuevas soluciones para reducir los daños medioambientales causados por los motores de combustión interna dio origen a los Vehículos Híbridos. Por ello, presentan una serie de ventajas frente a los automotores tradicionales, tienen el potencial de duplicar la eficiencia del vehículo al intentar aprovechar la mayor energía generada, por las pérdidas de potencia para generar electricidad y recargar las baterías del sistema eléctrico. Junto a esto, el sistema de frenado regenerativo de un vehículo tradicional recupera toda la energía perdida durante la desaceleración constante que se produce al conducir [52].

La potencia producida por el motor es principalmente media y constante, diseñada para funcionar lo más cerca posible de su punto óptimo, aumentando la eficiencia y permitiendo que el motor de combustión sea más ligero y de menor tamaño. Los picos de potencia necesarios suelen ser producidos por un motor eléctrico, dependiendo de la configuración utilizada para el vehículo[53].

El suministro de combustible se realiza mediante inyección directa, lo que mejora la eficiencia del combustible y reduce la cantidad de gases contaminantes liberados al medio ambiente, mientras que un motor de combustión interna de la misma cilindrada logra hacer unos 45-50 km por galón, estos vehículos consiguen una media de 80-90 km por galón de combustible [54].

Este tipo de vehículos tiene algunos inconvenientes que, para muchas personas, superan sus ventajas y les impiden adoptar plenamente esta tecnología. Estas circunstancias incluyen un aumento del peso del vehículo en comparación con un vehículo de combustión interna debido a todas las piezas necesarias para que funcione el sistema eléctrico, como baterías, un inversor, un motor eléctrico, etc. Esto implica que necesita más energía para moverse [55].

La complejidad de estos vehículos, y el coste de los componentes cuando hay que sustituir el sistema eléctrico como consecuencia de la tecnología y el aumento del coste de los componentes encarecen su mantenimiento y revisión. Además, todavía existe un estigma asociado a la operación de estos vehículos debido al riesgo asociado a la alta tensión con la que es alimentada [29].

Las pilas tienen un alto costo cuando hay que sustituirlas una vez terminado su ciclo de funcionamiento, su degradación no sólo se convierte en un problema económico, sino también medioambiental, con el pasar del tiempo se han vuelto más asequibles para el consumidor. Además, estos artículos no son reutilizables y son muy tóxicos, su almacenamiento se convierte en una preocupación que afecta sobre todo al medio ambiente [56].

A pesar de ser vehículos amigables con el medio ambiente, aun emiten gases contaminantes por medio del motor de combustión contrario a un vehículo eléctrico o con pila de hidrógeno, así como los automóviles convencionales en algún momento tendrán que ser discontinuados por las leyes medioambientales que buscan eliminar los vehículos a gasolina y diésel en un determinado tiempo [57].

2.11. Vehículos híbridos en Ecuador

Los vehículos con mayor demanda son los que funcionan con un motor de combustión interna, sin embargo, las emisiones de CO₂, CO y NO_x que emiten estos vehículos tienen un efecto negativo sobre el medio ambiente. Además, debido al reciente aumento de los precios de la gasolina, los usuarios pagan ahora unos gastos de mantenimiento y funcionamiento muy elevados por estos vehículos [58].

Según estimaciones de la Asociación Ecuatoriana del Automóvil, el 35% de los vehículos que circulan actualmente en el país son extremadamente contaminantes debido a su antigüedad. Guayaquil y Quito tienen algunos de los parques automovilísticos más antiguos de las ciudades siendo la ciudad de Guayaquil, la que tiene más transporte urbano, cuenta con más de 2.800 autobuses, de los cuales 2.000 aún están en buen estado, el resto del transporte urbano contamina el medio ambiente, sin contar los vehículos privados que llevan más de diez años circulando [59].

El estudio realizado por la Universidad Internacional del Ecuador con la revista

INNOVA, sobre las emisiones contaminantes utilizando combustibles locales detalla que, debido a aumento de contaminantes se busca mejoras sustanciales en la migración a medios de transporte alternos, como los autos híbridos que, según las estadísticas, tuvieron un incremento positivo en Ecuador de 2016 a 2019 [60].

Los vehículos híbridos, que incluyen un motor de combustión interna y un motor eléctrico como fuentes de energía de propulsión, por lo cual consideran modos de transporte sostenibles. Ecuador experimentó un aumento del 263% en las ventas de vehículos híbridos entre 2020 y 2021, lo que puede atribuirse a tres factores claves: la concienciación medioambiental, los cambios normativos y la rentabilidad [61].

Ecuador podrá abastecer 6390 vehículos hasta el año 2022, según un análisis y proyección de los años 2020 a 2025 que tuvo en cuenta una entrada progresiva hasta alcanzar los 15.000 vehículos eléctricos. Sin embargo, a partir de los años 2023, Ecuador produciría un exceso en el consumo eléctrico del 4% al tener en cuenta una entrada de 9390 vehículos [62].

La AEDA informó que en 2018 se vendieron 130 autos eléctricos a nivel nacional, con una proyección alrededor de 15000 vehículos eléctricos para el 2025. Mientras que el número de vehículos híbridos vendidos en año 2018 fue de 2.820, en el año 2019 se han vendido 42 vehículos eléctricos y 740 vehículos híbridos. Para 2025 se prevé que el mercado automotor ecuatoriano cuente con 14 950 vehículos eléctricos en circulación, lo que representa la mayor penetración de mercado en la zona con un 9,9% de las ventas totales [19].

Aunque de 2010 a 2017 fueron los mejores años de ventas de vehículos híbridos, las ventas cayeron por la emergencia sanitaria del COVID-19, debido a los duros tiempos económicos que atravesaba toda la nación, se prevé que el rendimiento del parque automovilístico de la nación mejore este año, al igual que el volumen de ventas nacionales, esperando que el parque automotor de Ecuador transite hacia modelos híbridos y eléctricos [63].

2.12. Protocolos de evaluación de vehículos.

La sociedad Americana de ingenieros automotrices (SAE), a través de los años han desarrollado distintos protocolos de prueba para la evaluación de los vehículos, reconocidos

internacionalmente. Estos protocolos permiten cuantificar los aspectos operativos del desempeño del vehículo, en la tabla V se puede observar los diferentes protocolos realizados por la SAE [64].

La SAE desarrolló el protocolo CAN el cual funciona como un bus de comunicación entre módulos, el cual es útil para diagnosticar el funcionamiento idóneo. La interpretación y conocimiento de datos adquiridos mediante este protocolo, es de vital importancia por su manejo en tiempo real mediante conexiones directas con sensores instrumentados externamente en el vehículo.

La metodología planteada para el desarrollo se basa en reconocer la necesidad de aplicaciones, investigaciones preliminares, planteamientos de objetivos, determinación de parámetros a ser evaluados y desarrollo de pruebas con su protocolo.

En base a los protocolos de prueba se establece un propio sujeto a normativas como se detalla en la tabla V.

TABLA V

PROTOCOLO DE PRUEBA SAE [64]

Nombre de la prueba	Norma	Desempeño
Medida de la aceleración del vehículo (en plano, en pendiente y recuperación).	SAE J1491 [1]	Mecánico
Procedimiento de manejabilidad y arranque en frío.	SAE J1635 [2]	Mecánico
Procedimiento de prueba para medir el ahorro de combustible.	SAE J1082 [3]	Energético
Ciclo de conducción.	SAE J1506 [4]	Energético/Ambiental
Prueba de emisiones en condición estáticas.	Resol. 160/96 DAMA	Ambiental
Prueba de emisiones en condiciones dinámicas.	Resol. 906/96 MMA	Ambiental

2.12.1. Protocolo de comunicación

El protocolo de comunicación OBD (On-Board Diagnostics) se refiere a los estándares y procedimientos utilizados para la comunicación entre el sistema de diagnóstico a bordo de un vehículo y los dispositivos externos, como escáneres o computadoras, que se utilizan para acceder y analizar la información del vehículo[67].

2.12.2. Comunicación con el ECU

El protocolo de comunicación está basado en **SW-CAN** y **MS-CAN** para la interacción entre la ECU del vehículo y el OBD2, se detalla 5 tipos diferentes[68];

- ISO-9141 -2: vehículos asiáticos o europeos.
- SAE-J1850 VPW: Funcionamiento mediante un ancho de pulso variable – General Motors – EE.UU.
- SAE-J1850-PWM: Funcionamiento mediante modulación de ancho de pulso – Ford – EE. UU.
- KWP-1281 y KWP-2000: Grupo VAG
- ISO-14230: Utilizado por Renault

En la figura 5 representa los pines de conexión del OBD2 de un modelo estándar[69];

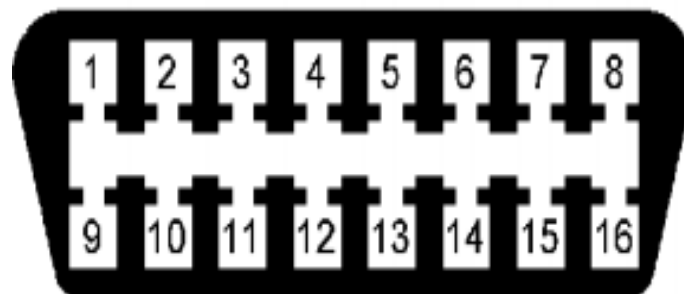


Fig. 5. Puerto de OBD. **Fuente:** [80]

- El pin 1 es Libre.
- El pin 2 corresponde SAE – J1850. (Bus +)
- El pin 3 es Libre.
- El pin 4 corresponde a Tierra del vehículo.
- El pin 5 corresponde a la Tierra de la señal.
- El pin 6 corresponde al CAN High. (J-2284).
- El pin 7 corresponde al ISO 9141-2 Línea K.

- El pin 8 es Libre.
- El pin 9 es Libre.
- El pin 10 corresponde a la J1850. (Bus -)
- El pin 11 es Libre.
- El pin 12 es Libre.
- El pin 13 es Libre.
- El pin 14 corresponde al CAN Low. (J-2284)
- El pin 15 corresponde al ISO 9141-2 Línea L.
- El pin 16 corresponde a la Batería +.

2.13. UNECE

Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa es una de las cinco comisiones de las naciones unidas que fue creada con el fin de desarrollar actividades económicas, así como también vigorizar la economía entre países europeos con el resto del mundo, brindando su apoyo en la elaboración de reglamentos y normas con la ayuda de los expertos para promover el transporte seguro, sostenible y competitivo en los diferentes modos de transporte terrestre, con el fin de mejorar el desempeño ambiental y la eficiencia energética, así como una prestación eficiente [70].

Esta comisión desarrolla proyectos basado en metodología HiLS, como estudio de viabilidad para procedimiento de ensayo de como alternativa al HILS para vehículos eléctricos- híbridos-pesados (HD-HEV), y procedimiento de ensayo alternativo al HILS para vehículos eléctricos híbridos pesados (HD-HEV) [71]. En la siguiente sección del capítulo se explicará sobre método HiLS.

2.14. Método HiLS

El método HiLS es una configuración de Hardware In-the-Loop, se creó con la finalidad de realizar simulaciones de vehículos híbridos con ciclos de conducción determinados, siendo utilizado ampliamente en las investigaciones actuales de gran impacto, que permite estar alineados a una tendencia de modelado actual para la validación de vehículos en la industria automotriz [72].

Este modelo se creó en Japón en el 2001, como un nuevo procedimiento para validar y certificar vehículos híbridos de carga pesada, hasta ese momento existían falencia ya que la validación de vehículos con motor a combustión experimentaba netamente al desarrollo del motor térmico generando una gran variedad de tren de potencia. Surgiendo así la validación de vehículos híbridos mediante su tren de propulsión, el consumo energético se basa en las estrategias de control de energía que se proporciona al mismo[73].

Consiste en la simulación del tren motriz en un software el cual es representado mediante un modelo matemático, donde los componentes trabajan en paralelo con el ECU como unidad de control física, mediante parámetros específicos como es la velocidad del motor y las diferentes condiciones de carga, el resultado de los experimentos depende de la exactitud matemático que se utiliza por lo cual es fundamental utilizar modelos sencillos.

La ventaja principal es el ahorro de costes, así como también posibilita realizar una simulación de sistemas híbridos antes de construir [74].

2.15. Ciclos de conducción

Los ciclos de conducción se emplean para la evaluación del consumo energético, consumo de combustible y emisiones contaminantes generadas por los vehículos; mediante sus características se pueden clasificar según la variable de velocidad y cambio de carga del motor, en estado estacionario y transitorio [75].

El procedimiento de ensayos de los vehículos ligeros armonizado a nivel mundial conocido como WLTP (Worldwide Harmonized Light Duty Vehicles Test Procedure), precisa la contaminación y las emisiones del CO₂ que emiten los vehículos livianos, considerando el comportamiento real del automóvil, así como del modo de conducción del piloto. El ciclo de conducción europeo (NEDC) transitorio es utilizado para la homologación de vehículos ligeros en la Unión Europea, mientras en Estados Unidos es una FUDS ciclo el cual es empleado en conducción urbana federal [76].

Los ciclos de conducción tanto del WLTP y NEDC en función del tiempo y su desplazamiento empleado, en la figura 6 se aprecia el comportamiento y en la tabla VI se observa los datos de la velocidad con respecto al tiempo, el ciclo de conducción NEDC se logra

ver alcanza los 800 segundos es un ciclo repetitivo con 4 puntos iguales con una velocidad máxima de 50km/h, a partir de los 800 segundos este ciclo tiene un comportamiento diferente impredecible[77], con respecto al ciclo WLTC sus ciclos varía cada 500 segundos con velocidades máximas diferentes, en el Low su pico de velocidad máxima es de 57 km/h, el Medium llega hasta 78km/h como máxima velocidad, High alcanza una velocidad máxima de 97 km/h y lo que comprende del modo Extra High llega a alcanzar hasta 130 km/h y en la tabla VI declara las condiciones de operación[78].

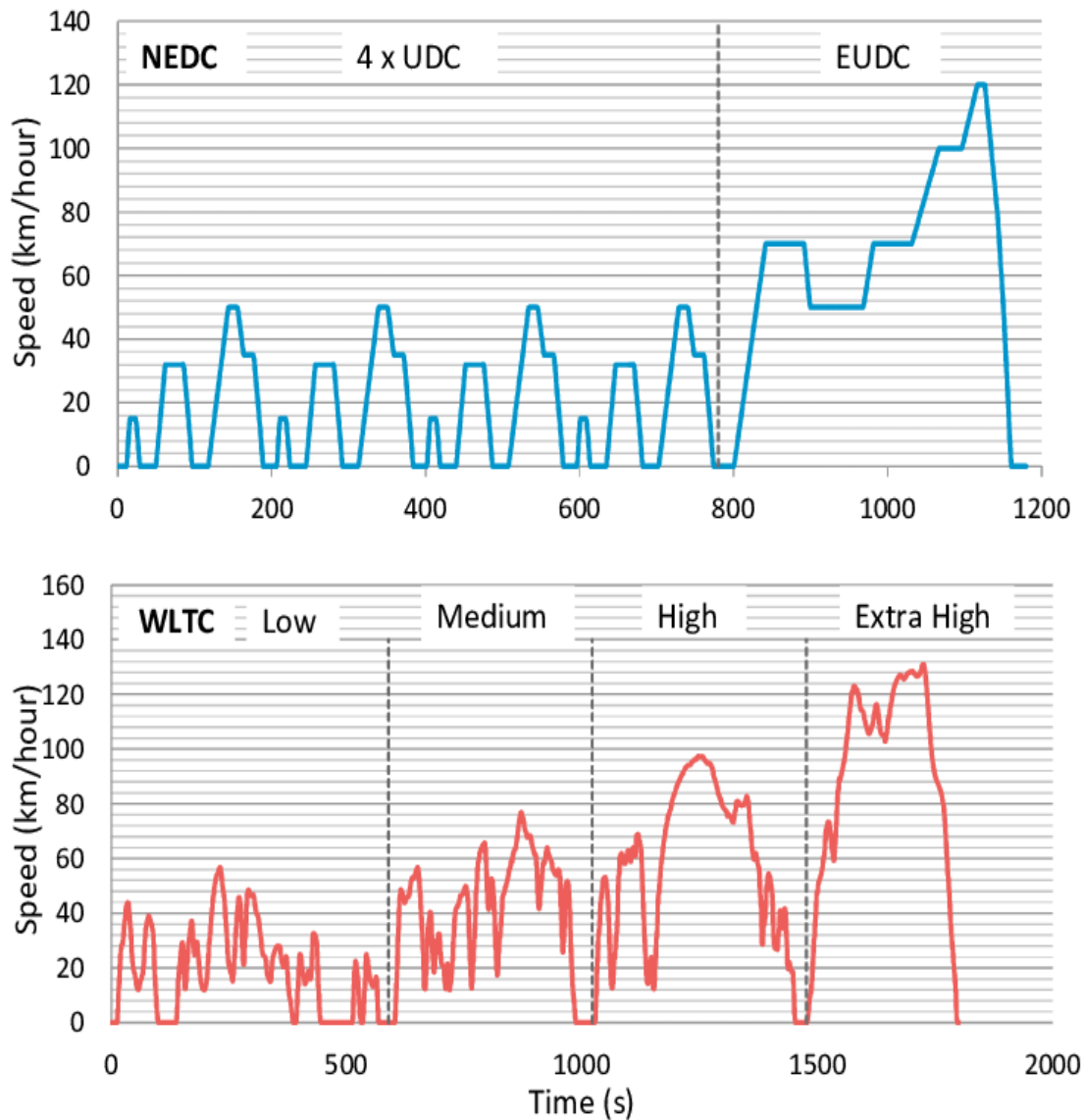


Fig. 6. Datos de los ciclos de conducción NEDC y WLTP. Fuente: [77].

TABLA VI

ESTRUCTURA DE ENERGÍA PRIMARIA [77].

	NEDC	WLTC
Duration(s)	1180	1800
Distancia total (km)	11.01	23.27
Velocidad media (km/h)	33.6	46.5
Velocidad máxima (km/h)	120	131.3
Duración de la parada (%)	23.73	13.00

2.16. Método de análisis estadístico

Es un tipo de método que consta de cuatro fases: recopilación, elaboración, presentación e interpretación de fundamentos. Permite recolectar, interpretar datos numéricos o materiales sobre donde opera el método estadístico, de una manera delicada y precisa, que tiene como características una variabilidad, se utiliza cuando se obtiene muestras de algún elemento para poder realizar inferencias en una población o elemento con características similares. Esta interferencia depende de cómo es diseñado e ejecutados por lo cual la estadística se debe considerarse como una parte primordial de la utilización del método científico[79].

2.16.1. Estadística descriptiva

La estadística descriptiva analiza un grupo de datos con técnicas numéricas y gráficas para describir y analizar las muestras. El objetivo es extraer conclusiones sobre un conjunto de datos denominado población.

- Población; conjunto de individuos de los cuales se quiere extraer conclusión.
- Individuo; unidad estadística.
- Muestra; subconjunto de población.

Técnicas de estadísticas descriptiva; permite describir y analizar datos de una muestra sin la necesidad de extraer conclusiones en función de la población situada, para la aplicación de estadística descriptiva numérica o gráfica es necesario un preanálisis del tipo de variables con la que se trabaja[80];

- Variable estadística; se caracteriza con el fin de describir a cada individuo de la muestra.
- Tipos de variables; cualitativa (nominal ordinaria, sexo, raza, color de ojos, calificación, ect); cuantitativa (número de hijos, número de materias, peso, número de

población, número de países, ect)

2.16.2. Clasificación y selección de diseños de experimento

Para realizar las pruebas necesarias en un proceso de investigación se emplea diferentes diseños de experimentos los cuales mantienen ciertas características que influyen directamente en la selección. Dentro de esto los aspectos de mayor influencia son[81];

- Objetivo.
- Numero de variables de estudio.
- Niveles de cada factor.
- Relación factor-respuesta.
- Costo, tiempo y precisión.

Estos puntos no trabajan entre lazados, pero es de suma importancia separar porque afecta a la elección del diseño a utilizar. Dentro de estas características el **objetivo** es el de mayor relevancia direccionando, a la siguiente clasificación de diseño de experimento detallada en la tabla VII [81]:

TABLA VII

CLASIFICACION DE DISEÑO DE ESPERIMENTOS [81]:

Diseño de experimento	Para comparar dos o mas tratamientos	Al azar
		Bloque completos al azar
		Cuadros latino y grecolatino
Efecto de varios factores sobre una o mas variables de respuesta		Factorial 2k
		Factorial 3k
		Factorial fraccionario 2k-p
Optimizacion de procesos		Modelo de primer orden
		Modelo de segundo orden
Robustos		Ortogonales
		Internos y externos
Mezclas		Simplex-reticular
		Simplex con centroida
		Restricciones
		Aaxial

2.16.3. Factorial

El diseño de experimento factorial permite establecer todas las posibles combinaciones de los niveles de cada factor en la muestra completa, esto hace referencia a las repeticiones del experimento en cada combinación que se realizará[82]. Los factores de dos o más modalidades llamados niveles se los clasifican en cuantitativos y cualitativos[83].

Ventajas y desventajas;

- Estudio paralelo de dos o más factores
- Interacción de factores intervinientes y comportamiento de factores en función de niveles.
- Eficiencia en estudios de un solo factor.
- Número elevado de grados de libertad por la inclusión de todas las combinaciones posibles

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

3.1. Metodología experimental y analítico

De manera simplificada en la figura 7, se ilustra la metodología de aplicación mediante un diagrama de flujo. El diagrama representa la disposición del modelo, en función de las variables obtenidas a través de la caracterización y recorridos en las rutas preestablecidas, obteniendo las curvas del diseño para posteriormente analizar y determinar el margen de error definiendo las zonas de mayor consumo energético.

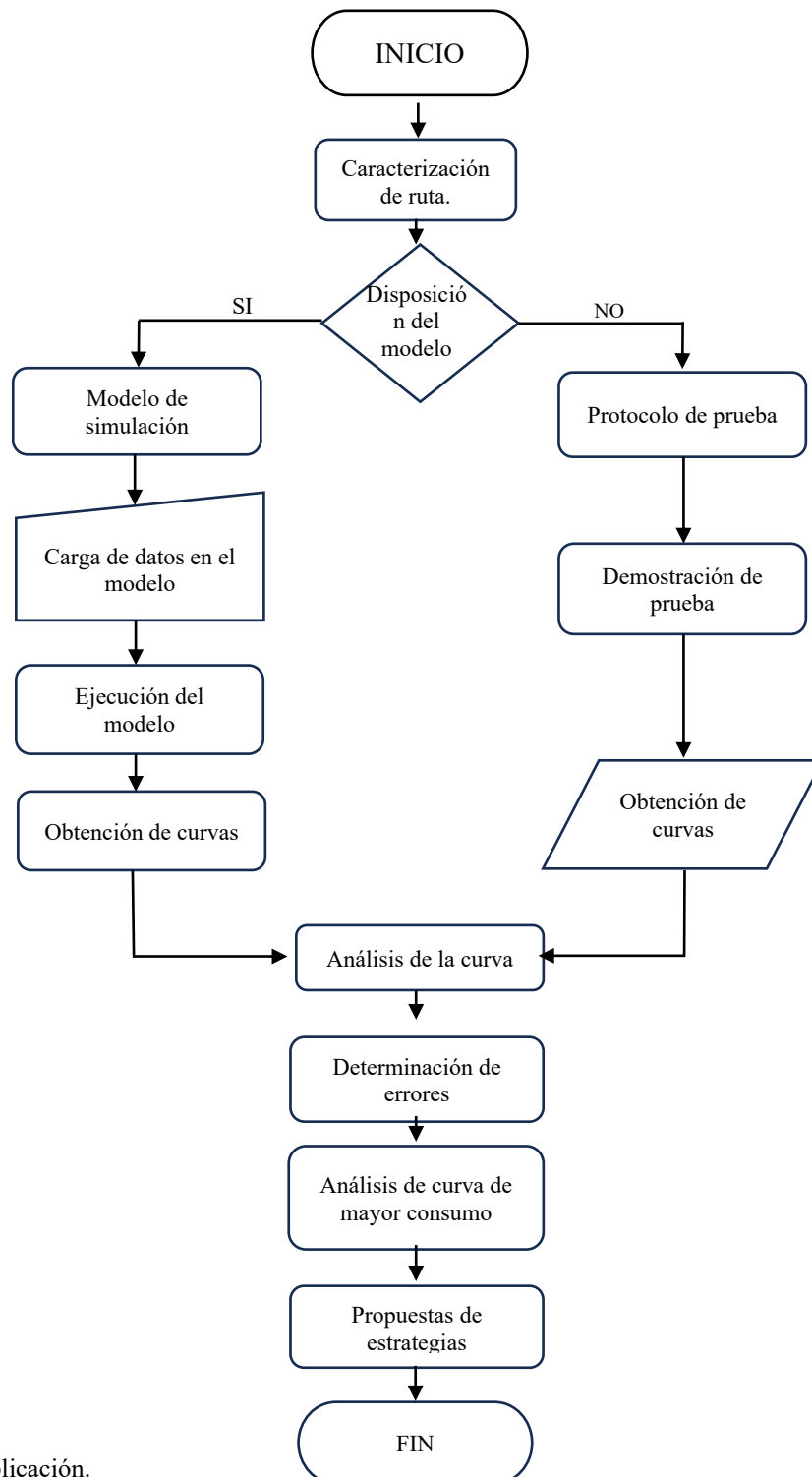


Fig. 7. Metodología de aplicación.

3.2. Vehículo de prueba.

Para el presente análisis, se utilizó como equipo de prueba al vehículo híbrido blue drive de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil por su disponibilidad, características detalladas en la tabla VIII. Mediante su configuración de tren de potencia combinado, los dos motores alcanzan una aceleración de 0-100km/h en 12,1 segundos, acotando que este vehículo consta con 3 tipos de modo de conducción, eco, sport y eléctrico [85].

TABLA VIII

CARACTERISTICAS DEL VEHÍCULO HÍBRIDO BLUE DRIVE. [85]

Motor a combustión	
Cilindrada	1798
Potencia máxima	98 CV/5200 rpm
Par motor máximo	142 Nm/3600 rpm
Numero de cilindros	4
Disposición de los cilindros	En lineal
Disposición del tren de potencia	Delantera
Material del bloque	Aluminio
Material de la culata	Aluminio
Relación de compresión	13.0:1
Tipo de distribución	DOHC con cadena de distribución.
Válvulas por cilindro	4
Transmisión	
Alimentación	Inyección mixta D4-S
Caja de cambios	Automática e-CVT
Motor eléctrico	
Potencia máxima	72CV
Potencia máxima combinada	122 CV/5200 rpm
Batería	
Tensión nominal	201,6 V
Tipo de batería	Acumulador Níquel Metal hidruro

Capacidad	6,5 Ah
Dimensiones y peso	
Peso	1425 kg
Largo/ancho/alto	4630mm/1780mm/1455mm
Capacidad del baúl	470 lt

3.2.1. Modos de conducción.

Este vehículo híbrido cuenta con cuatro modos de conducción disponibles, los cuales se adaptan a la necesidad y la forma que rige el ciclo de conducción o manera aplicada del conductor. Entre los diferentes modos de conducción encontramos los siguientes:

Modo normal: Este modo activa la parte eléctrica o la parte de combustión dependiendo la necesidad y la potencia que se requiera al momento de conducir. Es el más balanceado de todos los modos de conducción, y viene activado por defecto [86].

Modo EV: En este modo el vehículo será impulsado únicamente por el motor eléctrico consumiendo la energía eléctrica, siendo utilizado en bajas velocidades cuando la batería esté cargada superior a la mínima [87].

Modo Eco: El modo Eco prioriza el uso del motor eléctrico y limita el uso del motor de combustión interna, de manera que no permite una aceleración brusca. Con este modo se busca el ahorro de combustible de manera adecuada [88].

Modo Sport: El modo Sport utiliza todas las virtudes del vehículo como es la combinación del motor eléctrico y el motor de combustión interna, brinda un mayor empuje al vehículo en la conducción. Este modo de conducción tiene como ventaja endurecer la suspensión ofreciendo una sensación más deportiva [89].

3.3. Ruta preestablecida.

En el 2022 la Escuela Superior Politécnica del Litoral, determinó mediante un software de micro simulación en la ciudad de Guayaquil, que es la segunda con mayor flujo vehicular del país, en la cual se pierde en promedio entre 40 y 7 horas anualmente por persona debido al tráfico generado [90].

La Universidad Politécnica Salesiana en el año 2022, realizó una investigación de adquisición y caracterización de datos del vehículo blue drive del laboratorio de movilidad sostenible de la carrera de Ingeniería Automotriz Sede Guayaquil, en lo cual la ruta fue escogida mediante investigación descriptiva por el gran flujo vehicular de estudiantes universitarios que se trasladan del Campus Centenario (Sur de la ciudad) a Campus María Auxiliadora (Vía la Costa), tomando como ventaja que se recorre por avenida y carreteras generando un gran desempeño del tren de potencia [91].

El recorrido arrojó 2 rutas diferentes:

- RUTA A: Av. Domingo Comín - Av. Pio Jaramillo Alvarado –Vía Perimetral - Vía a la costa; distancia 31.6km; tiempo 32 min.
- RUTA B: Calle Eloy Alfaro - Calle Portete - Av. Del bombero –Vía a la costa; distancia 26.8km; tiempo 34 min.

Influyendo directamente la distancia de recorrido en función del tiempo, y seleccionando la ruta debido a su menor tiempo de aplicación, se presenta la descripción geográfica de la ruta en la figura 8.

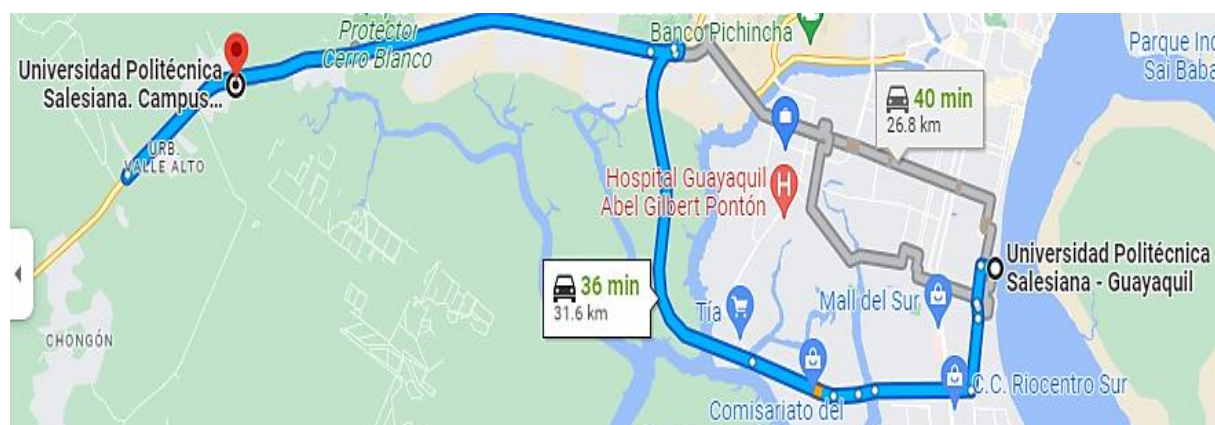


Fig. 8. Ruta. Av. Domingo Comín - Av. Pio Jaramillo Alvarado –Vía Perimetral - Vía a la costa

3.3.1. Criterios de selección de ruta

Se consideran vías de conexión interprovincial a aquellas que son utilizadas por comerciantes que trasladan sus productos a diferentes ciudades, donde el comercio es una tarea fundamental en el transporte tanto de bienes, materiales o servicios en un sector.

El comercio es una actividad económica la cual abarca la compra y venta tanto de bienes o servicios entre empresas o individuos, a través de los años el comercio ha establecido una gran función sobre la economía, lo cual va directamente de la mano con el transporte[92].

Vía a la Costa es de conexión interprovincial, uniendo a la provincia del Guayas con la

de Santa Elena y Manabí, ingresando gran cantidad de vehículos enfocados al comercio y turismo.

Se deduce como una vía de mayor influencia por el flujo vehicular que se genera, teniendo en cuenta, que en la urbe porteña existen más 250.000 vehículos circulando por toda la ciudad, datos detallados por la Empresa Pública Municipal de Tránsito y Movilidad de Guayaquil EP[93].

La Autoridad de Tránsito Municipal (ATM) [94], declara que existe un alto índice de flujo vehicular desde el Campus Centenario al Campus María Auxiliadora, por lo que este trayecto contiene varias coyunturas con vías principales de la ciudad, los datos detallados de la influencia se presentan en la tabla IX

TABLA IX

FLUJO VEHICULAR. [93]

Dirección	Flujo vehicular	
	promedio/hora	
	07:00-10:00	17:00-20:00
Av. Domingo Comín	1683	1236
Vía la costa km 19	919	927

3.3.2. Caracterización de la ruta seleccionada

El análisis de la ruta preestablecida arroja que existe diferentes límites de velocidad, cantidad de carriles, flujo vehicular, y demás características en varios puntos. Dada la necesidad se dividió la ruta en 5 tramos en función de la velocidad, cantidad de carriles y demás características, datos representados en la tabla X.

- Av. 12 SE - Gral. Francisco Robles 304-308 a la Av. Domingo Comín.
- Av. Domingo Comín hasta Av. Pio Jaramillo Alvarado.
- Av. Pio Jaramillo Alvarado hasta C. 48 South.
- C. 48 South hasta Vía Perimetral.
- Vía Perimetral hasta Vía la Costa.

TABLA X.

CARACTERIZACIÓN DE LA RUTA

Ruta		Fin	Recorrido (Km)	Tiempo estimado (min)	Velocidad maxima (km/h)
1	Avenida 12 Se - Gral. Francisco Robles 304- 308	Vía la costa E/40	27.5 km	32min	90 km/h- 40km/h
Descripción de la red vial básica					
Sentido			NOROSTE-SURESTE		
Características geométricas					
Número de carriles	Ancho de vía	Direccionalida d	Señalización		
4	Mixta	Una vía	Estándar		
Semaforización	19	No semaforizadas	133		
Congestión vehicular.	Si	T	146		
Nº de intersecciones.	152	Cruz	0		
Nodos con viario principal.	10	Rotonda	2		
Nodos con viario local.	142	Distribuidor	3		
Tramos homogéneos.	No	Circunvalar	1		
Especificaciones técnicas.	6 carriles, 3 por sentido		Parámetros de selección de ruta	Límite de velocidad permitida (vías rápidas)	
	Ancho de carril 3.65 m				
	Plataforma de acera con un mínimo de 2 m libres				

	Infraestructura para transporte publico		
	Infraestructura para ciclistas. Mixta		

Caracterización tramo 1.

En el tramo 1 el punto de estudio parte desde Av. 12 SE - Gral. Francisco Robles 304-308 a Av. Domingo Comín a la altura del redondel de Pradera 1, esta avenida se caracteriza por ser una vía de circulación de vehículos livianos constante, cuenta con calzadas separadas para cada sentido de tráfico, así como aceras o banquetas para el tránsito peatonal. Esta vía conecta sectores principales de la ciudad por su fluidez directa de vehículos entre el centro y sur.

La ruta se define por su distancia de 2.4 km en un tiempo estimado de 5 min, está compuesta por 2 carriles con 40km/h como velocidad máxima, con una capacidad promedio de 60.000 vehículos, las 28 intersecciones están divididas en 14 semaforizadas y 14 no semaforizadas. Dentro de este recorrido existen 2 rotondas, 3 distribuidores, 10 interacciones en T entre 13 intersecciones varias, esta vía es unidireccional. En el anexo 1 se representa los datos técnicos del primer tramo de la ruta, en el anexo 2 ubica geográficamente el tramo de la ruta.

Caracterización tramo 2.

El segundo tramo de la ruta está compuesto por una distancia de 2.5km partiendo desde la Av. Domingo Comín hasta Av. Pio Jaramillo Alvarado con un tiempo estimado de 5 min a una velocidad máxima de 40km/h, consta de 3 carriles con un ancho de 2.5m por cada uno, su capacidad oscila entre los 60.000 vehículos, su direccionalidad es de un solo sentido la cual está señalizada y contiene una descripción básica de la red vial.

Este tramo de conexión consta en total con 17 intersecciones, dentro de estas 3 están semaforizadas, 13 se consideran intersecciones en T, un distribuidor y 3 de otro tipo, como se puede observar geográficamente el recorrido de la ruta en el anexo 3 y 4, que detalla cómo está constituida el tramo 2 que se encuentra en los anexos.

Caracterización tramo 3.

El tramo 3 de la ruta parte desde la Av. Pio Jaramillo Alvarado hasta lo que conforma C. 48 South, existe una distancia de 4 km estimando un tiempo de 6 min, es una vía de acceso rápido por ser catalogada perimetral, pero contiene en sus laterales sector urbano con velocidad máxima de 90km/h. Esta vía se divide por 3 carriles en cada sentido correspondiente, con un ancho de 3.5m por carril, y una capacidad de 99.840 vehículos, siendo considerada como una vía peligrosa en la ciudad. Contiene 9 intersecciones de las cuales 2 están semaforizadas, teniendo dentro de estas 7 intersecciones oblicuas y 2 distribuidores, datos de tallados en anexos 5 y 6.

Caracterización tramo 4.

Este tramo de la ruta 4 parte desde C. 48 South hasta la Vía perimetral, existe una distancia de 5.5 km estimando un tiempo de 5 min, esta vía es catalogada como autopista la cual su límite de velocidad es de 90km/h. Esta vía está definida por 3 carriles en cada sentido correspondiente, con un ancho de 3.5m por carril, y una capacidad de 99.840 vehículos, siendo considerada como una vía peligrosa en la ciudad.

El tramo mantiene 3 intersecciones las cuales 2 intersecciones oblicuas y una intersección en T, siendo de gran flujo vehicular por su acceso rápido para trasportes pesado que se dirigen al puerto o trinipuerto de la ciudad, las características detalladas de este tramo se encuentran en los anexos 7 y 8.

Caracterización tramo 5.

El tramo 5 parte desde la Vía Perimetral hasta la Vía la Costa con una distancia de 17 km y un tiempo estimado de 18 minutos. En este caso se trata de una vía que conecta a otra provincia, considerándose así una ruta de acceso rápido con una velocidad máxima de 90km/h, consta de 3 carriles con un ancho por cada uno de 3.5m.

Vía la Costa es una zona comercial por su gran índice de urbanizaciones, por lo que contienen 95 intersecciones en total, dentro de estas una es semaforizada, una de retorno y un distribuidor. En el anexo 9 y 10 que detalla la ubicación geográfica del tramo 4 de la caracterización de la ruta.

3.4. Metodología de adquisición de datos

En esta sección se detalla la metodología de adquisición de datos, exponiendo el conjunto de pasos y procedimientos utilizados para recopilar información relevante durante un proceso de investigación o análisis. En el contexto de pruebas de ruta en vehículos, la metodología de adquisición de datos implica la planificación, ejecución y registro de los datos obtenidos durante el recorrido, siendo un factor fundamental la compatibilidad entre el vehículo con el dispositivo de almacenamiento en este caso una computadora.

3.4.1. Protocolo de comunicación.

El CAN-BUS es un protocolo de comunicación serial que se basa en una arquitectura de transferencia de controles en tiempo real, con una capacidad de comunicación de 1 Mbit por segundo por medio de dos cables, donde viajan señales de amplitud y frecuencia, que mediante el OBD-II utiliza principalmente dos registros en la comunicación: ISO 15765-4 (CAN bus) y ISO 9141-2 (Sistema de comunicación en serie de un solo cable), los cuales permiten visualizar variables en tiempo real y determinar el diagnóstico del vehículo por medio de los códigos de falla

3.4.2. Protocolo de adquisición de datos.

OBDLINK MX+, es una herramienta de escaneo de diagnóstico del vehículo, que funciona de manera inalámbrica mediante bluetooth OBD, considerando su eficiencia en la captación de datos. Es compatible con herramientas y demás versiones de OBD-II, el software OBDWiz es la aplicación para Windows que trabaja con OBDLINK MX+ [97]. Este equipo trabaja con diferentes protocolos de adquisición de datos tales como;

- SAE J1850 PWN (41.6 Kbaud)
- SAE J1850 VPW (10.4 Kbaud).
- ISO 9141-2 (5 baud init, 10.4 Kbaud).
- ISO 14230-4 KWP (5 baud init, 10.4 Kbaud).
- ISO 14230-4 KWP (fast init, 10.4 Kbaud).
- ISO 15765-4 CAN (11bit ID. 500 Kbaud).
- ISO 15765-4 CAN (29-bit ID. 500 Kbaud).
- ISO 15765-4 CAN (11bit ID. 250 Kbaud).
- ISO 15765-4 CAN (29-bit ID. 250 Kbaud).

- USER1 CAN (11-bit ID. 125 Kbaud).
- USER2 CAN (11-bit ID. 50 Kbaud).

3.4.3. Protocolo de prueba Modo eléctrico.

La metodología de aplicación para la prueba de rutas está en función de los protocolos de pruebas WLTP y FTP75, de manera que los protocolos mencionados se adaptan a las condiciones del ciclo urbano a desarrollar [98].

Pasos para realizar la prueba de ruta son:

- a) Clima en condiciones óptimas para el proceso de la captación de datos.
- b) Checklist antes del recorrido que se detalla en la figura 9.
- c) Conexión del OBDLINK MX+ al vehículo.
- d) Conexión del OBDLINK MX+ a la computadora software OBDWiz.
- e) Selección de las variables para su toma de datos (velocidad, tiempo, torque).
- f) Mantener las ventanas cerradas y el aire acondicionado encendido a una temperatura de 20°.
- g) Inicio de la prueba, encender el vehículo para poder movilizar desde el reposo hasta una velocidad determinada.
- h) Verificar que el vehículo esté en modo eléctrico.
- i) Iniciar la adquisición y almacenamiento de los datos, mediante la conexión bluetooth y acumular una computadora todos los datos extraídos.
- j) Revisar que los datos adquiridos, estén almacenados de una forma correcta en la computadora en el formato de extensión (.xls) para facilitar la manipulación de datos.
- k) Check list después del recorrido que se detalla en la figura 9.
- l) Fin del proceso.

3.5. Parámetros de conducción.

Los parámetros de conducción son variables y elementos que se toman en cuenta al evaluar la forma en que un vehículo es conducido.

Según el estudio realizado por International Council on Clean Transportation en la publicación “¡Mind the Gap! Why official car fuel economy figures don’t match up to reality”, los investigadores y desarrolladores de los ciclos de conducción exponen diseños de patrones de conducción que representan condiciones de manejos típicos y reales. Estos ciclos de

conducción son utilizados en pruebas y estudios para evaluar el rendimiento y la eficiencia de los vehículos en diferentes escenarios[99].

Para el caso de los ciclos de conducción en condiciones reales, se busca determinar los parámetros característicos que se utilizan comúnmente en ciclos de homologación y en diversas investigaciones. Algunos de estos parámetros incluyen:

Clima: Es un factor que influye directamente en el rendimiento de vehículo híbrido afectando en el agotamiento de la batería, disminuyendo la autonomía en función a cada modo de conducción. Interviniendo en el proceso de conducción perjudicando la visualización del recorrido y disminuyendo la efectividad en maniobras o cambios abruptos de dirección [100].

Flujo vehicular: El flujo vehicular afecta directamente en la selección de la ruta o recorrido, teniendo en cuenta que para el análisis tiene un impacto directo, ya que influye en variables como la velocidad, el tiempo y la aceleración, lo que podría afectar la toma de datos[101].

Tipo de calzada: La calzada es una superficie de la carretera, la cual desempeña un papel crucial para el desplazamiento de los vehículos, porque es el punto de contacto directo con los neumáticos. Como resultado, la calidad de la calzada influye directamente en el consumo energético, la autonomía y la eficiencia del vehículo [102].

Estos parámetros de conducción son importantes al momento de la evaluación del rendimiento, eficiencia y seguridad del vehículo en su operación. Este tipo de características son utilizadas para identificar áreas de mejora en la forma de conducción, y promover hábitos más seguros en los conductores. Para controlar este tipo de modos de conducción se realiza proceso de check list [103].

Las características de conducción se ven reflejadas en el comportamiento que mantiene el conductor en el recorrido, detenidamente en su forma de manejo del vehículo. Índices que afectan directamente al consumo energético como el estilo de conducción tales como velocidad brusca, lentas o cambio repentino generando así que se produzca frenado constante o brusco, mientras que la conducción moderada permite reducir o controlar el consumo energético.

Un check list es una lista de verificaciones que se utiliza para asegurar de que se completen todas las tareas y/o se cumplan todos los requisitos necesarios en una determinada actividad o proceso, en este caso los datos corresponden a una ruta predeterminada, la cual consiste en una serie de ítems o elementos que se deben revisar, marcar o completar para garantizar que no se omita nada importante[104].

Basándonos en la documentación y control que mantiene ANDAMUR empresa especialista en ofrecer servicios integrales al transportista en rutas del continente Europeo. En sus flotas de vehículos, consideran al proceso con check list de vital importancia para las rutas que recorren los vehículos [105]. A continuación, se detallan los puntos importantes de check list;

A. Documentación:

- Revisar la documentación tanto del vehículo (matrícula) como del piloto (licencia de conducir).

B. Seguridad:

- Comprobar que el vehículo esté en condiciones de operación aptas, tales como encendido de luces, presión de neumáticos, frenos y cinturones de seguridad.

C. Condiciones de la ruta:

- Detallar y examinar la ruta en donde se va a realizar la prueba revisando variables como el tráfico, topografía y límites de velocidad de cada tramo.
- Considerar el clima y las condiciones meteorológicas que puedan afectar la prueba de ruta.

D. Objetivos de la prueba:

- Definir claramente los objetivos de la prueba, como evaluar el rendimiento del vehículo, la eficiencia energética o el confort de conducción.
- Determinar los parámetros o métricas a medir durante la prueba.

E. Instrumentación:

- Preparar y configurar los equipos o dispositivos de medición necesarios, como registradores de datos, sensores o sistemas de telemetría.

F. Recorrido y duración:

- Planificar la ruta de prueba, teniendo en cuenta la diversidad de condiciones y escenarios representativos.
- Establecer la duración de la prueba, considerando el tiempo necesario para recopilar

datos relevantes.

G. Registros y observaciones:

- Preparar los formularios o sistemas de registro necesarios para documentar observaciones, mediciones y resultados durante la prueba.
- Realizar anotaciones sobre eventos o situaciones específicas que puedan influir en los resultados.

H. Comunicación y seguridad:

- Establecer una comunicación clara y efectiva entre el conductor y otros miembros del equipo de prueba.
- Mantener las normas de seguridad en todo momento durante la prueba, siguiendo las regulaciones y las buenas prácticas.

I. Análisis y reporte:

- Organizar y analizar los datos recopilados durante la prueba de ruta.
- Redactar un informe completo sobre los datos adquiridos.

Se debe tener en cuenta que el check list varía en función de la ruta, o propósito de la prueba. Recomendando así a adaptarlo según las necesidades y circunstancias individuales.

En figura 9 se especifica el check list de salida y de llegada para el proceso de conducción del vehículo.

DATOS DE RUTA			
Fecha:	Tramo:	Tipo de prueba:	
Variables de inicio		Variables de llegada	
Hora de inicio de la prueba		Hora de llega de la prueba	
Documentación-licencia de conducir		Temperatura de funcionamiento del motor (°C)	
Presión de neumáticos (psi)		Cantidad combustible (%)	
Verificar tablero de instrumento sin alertas		Porcentaje de batería alto voltaje (%)	
Verificación de luces y A/C.		Kilometraje en odómetro del vehículo (km)	
Temperatura del vehículo (°C)		Correcto funcionamiento de los transmisores de datos	
Temperatura exterior (°C)		Verificar tablero de instrumento sin alertas	
Temperatura de funcionamiento del motor (°C)		Presión de neumáticos (psi)	
Cantidad combustible (%)		Temperatura del vehículo (°C)	
Porcentaje de batería alto voltaje (%)		Temperatura exterior (°C)	
Kilometraje en odómetro del vehículo (km)		Verificación de luces y A/C encendidos	
Datos de ruta		Almacenamiento de datos	
Conexión de OBD a PC portátil			
Correcto funcionamiento de los transmisores de datos			

Fig. 9. Formato de Chek list.

3.5.1. Percepción y conducción

La visión es el sentido del cuerpo humano que sirve como guía para que el conductor mantenga la conducción, por lo que debe anticipar acciones durante el manejo en el desplazamiento del vehículo.

Factores que influyen directamente en la conducción:

- Características de la ruta; en este caso como se detalla anteriormente ya que se define el rango de velocidad y distancia que tiene la ruta.
- Carril o posición relativa; en este caso el campo de visión del conductor que se puede dar por el tipo de vía o calzada teniendo en cuenta la velocidad que tendría.
- Velocidad; factor de gran importancia ya que sirve para el proceso de modelado y que afecta directamente al consumo energético del vehículo.
- Tiempo de reacción hacia un objeto; esto llamado así al tiempo de respuesta que tiene el conductor hacia un objeto en la calzada en casos de frenado o cambio de velocidades.

3.5.2. Sistemas adicionales del vehículo

En este caso estos sistemas hacen que el vehículo tenga mayor consumo energético mediante su aplicación lo cual sirve para determinar la cantidad de réplicas para la toma de datos.

- Sistema de climatización; este sistema como se menciona tiene un consumo energético de la batería principal, en este caso para las pruebas realizadas se seleccionó a 20°C.
- Sistema de audio o multimedia; este sistema consumidor, en la toma de datos de prueba recibe energía desde la batería de 12v.

3.6. Protocolo de muestreo.

En los diagramas 10 ,11,12 representa el protocolo de muestreo para la adquisición de datos;

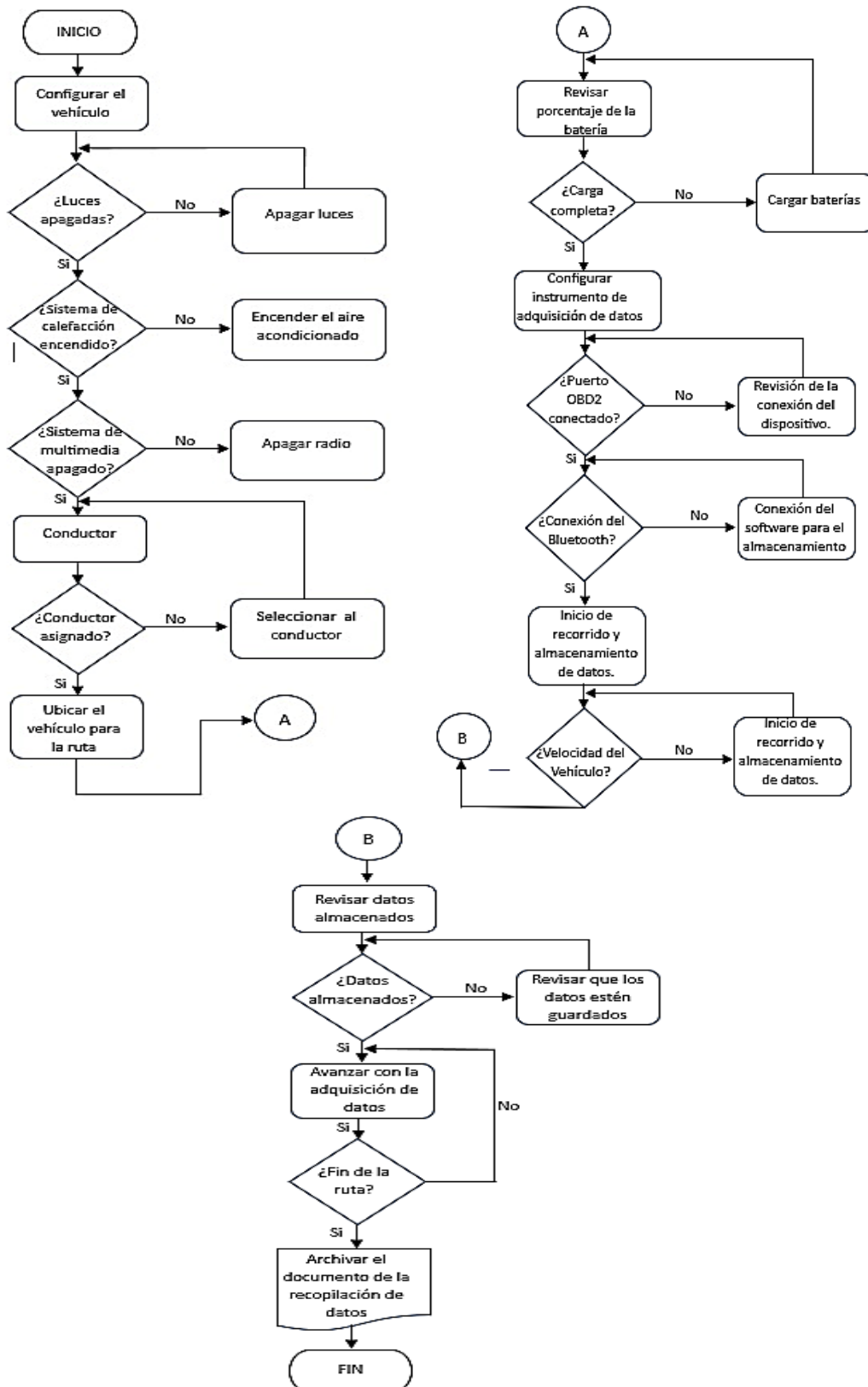


Fig. 10, 11,12. Protocolo de prueba configurar vehículo.

TABLA XI
VARIABLES DE OBTENCION DE DATOS [91].

ITEM	VARIABLE	UNIDAD
ITEM 1	Vehicle Speed	MPH
ITEM 2	Tiempo	s
ITEM 3	Engine RPM	RPM
ITEM 4	Engine reference torque	lb*ft

3.7. Método HiLS-Simulacion

En esta sección del capítulo se define y justifica la elección del modelo de simulación, realizados por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa conocida como UNECE por sus siglas en ingles en colaboración con las universidades Chalmers University of technology, Vienna University of Technology y Graz University of Technology, en la plataforma de programación Matlab Simulink®[110].

La elección del modelo de simulación se efectúa por los avances tecnológicos en movilidad sostenible, debido que esta metodología es una tendencia actual en investigaciones de gran impacto utilizada por su manejo de simulación, desarrollo de sistemas de gestión energéticos y de potencia. Mediante la página oficial de la UNECE [111] se adquieren los elementos para la realización del modelado vehicular tales como;

- Documentación, define y estandariza estructuras de modelos que pueden utilizarse en Global Technical Regulation (GTR) para simulación mediante entorno HiLS
- Ciclo de conducción archivo, por defecto WHVC.
- Librería o caja de herramientas de modelos HiLS, dentro se ubican los componentes básicos del vehículo, sistema auxiliar, chasis, conductor, componentes eléctricos, convertidor de energía, componentes mecánicos y sistemas de almacenamiento recargables.
- Post procesamiento.
- Los modelos vehiculares contienen tres ejemplos, siendo uno de referencia y dos de configuraciones en serie y paralelo.

3.7.1 Estructura

En la figura 13 se detalla la estructura del modelado que parte desde la unidad de control (1) hacia la salida del hardware (4), recibiendo datos hasta el modelado vehicular Hils representado el bloque (2), el cual receipta señal paralelamente del modelo del conductor (3) bloque. El bloque del modelado envía señal hasta la entrada de hardware (5) y al modelo del conductor (3) cerrando el ciclo de la estructura del modelado, acotando que cada bloque mantiene configuración interna mediante subsistemas de retroalimentación.

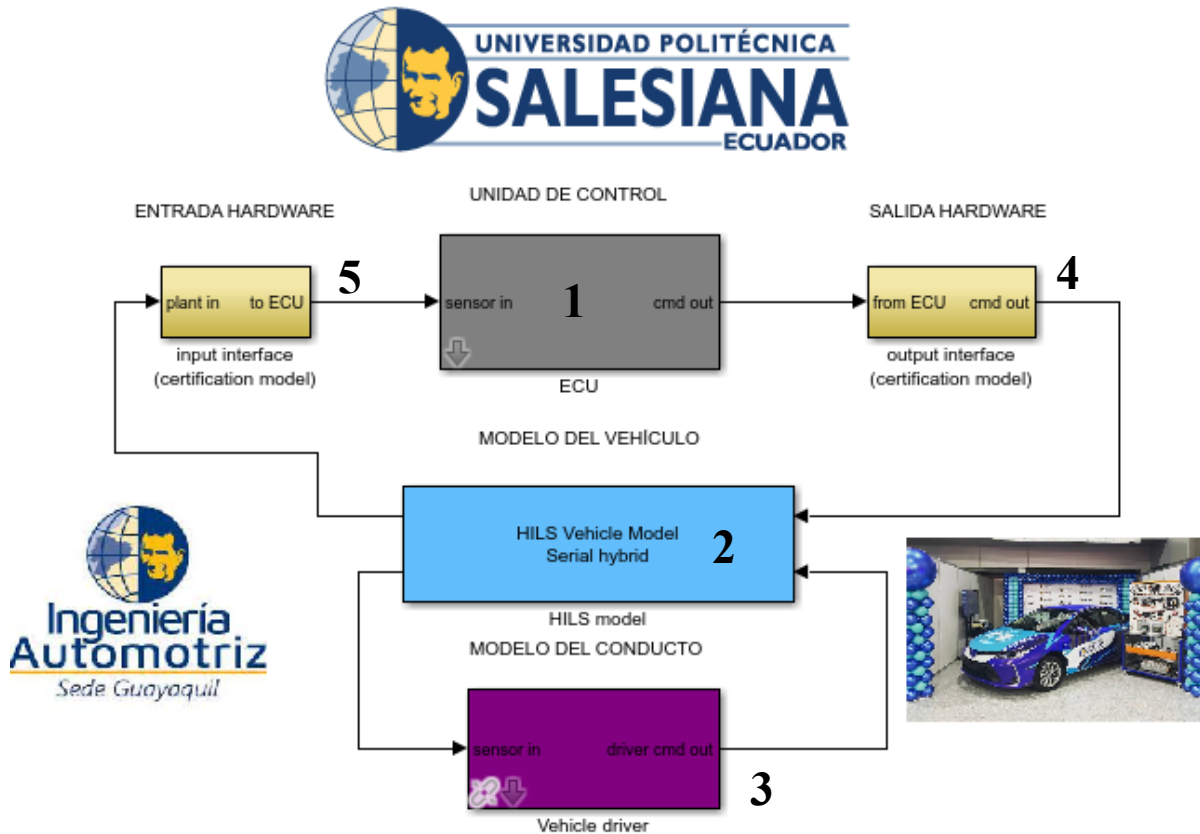


Fig. 13. Estructura de la simulación.

3.7.1.1. Modelo del vehículo-HiLS Vehicle Model Serial.

En la figura 14 se representa el bloque del modelo del vehículo (2), el cual se detallará posteriormente. Este bloque se encarga de caracterizar el comportamiento del vehículo y su tren de potencia de manera física, conectada entre sí según su interfaz estandarizada;

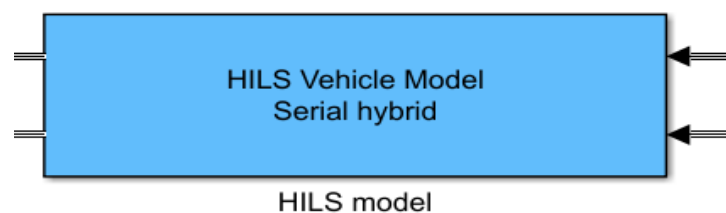


Fig. 14. Modelo del vehículo-HiLS

- Batería (RC model)-color verde.
- Chasis-color celeste.
- Máquina eléctrica 1-2-color rojo.
- Motor-color azul.
- Volante-color naranja.
- Engranaje mecánico-color gris.

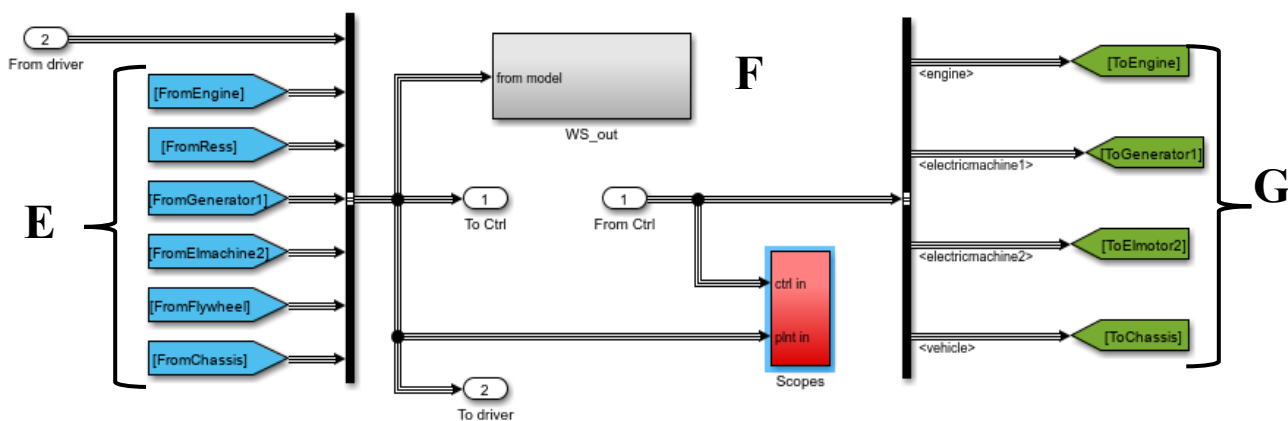


Fig. 15. Bloque de los componentes.

En la figura 15, se visualiza los bloques de los componentes vehiculares que se comentarán posteriormente. En la parte izquierda (E) se sitúa bloques receptores de señal externa que trabajan para enviar señal de retroalimentación al modelo del vehículo (A).

- FromEngine; este bloque recepta señal desde el motor de combustión sin la necesidad de estar conectado directamente, tales como velocidad angular y torque del recorrido del motor.
- FromRess; este bloque trabaja con la señal enviada de la batería del funcionamiento de amperaje, voltaje y estado.
- FromGenerator1; capta señal procedente del generador como torque, velocidad angular, amperaje y temperatura mediante los scopes u osciloscopios.
- FromElmachine2; logra captar señales de torque, velocidad angular, amperaje y temperatura procedente desde el motor eléctrico.
- FromFlywheel; recepta señal de velocidad angular del volante de motor.

- FromChassis-, bloque capta señales de velocidad lineal del vehículo y velocidad angular de los neumáticos, que es posteriormente enviada al modelo vehicular para el proceso de retroalimentación.

Cómo se menciona a los scopes graficados en un bloque son osciloscopios, estos permiten visualizar el comportamiento de las señales mediante la en la simulación con sus curvas respectivas. El Bloque (F) comentado anteriormente pertenece a la retroalimentación al modelo vehicular de todas estas señales de ingreso provenientes del exterior.

El lado derecho representad los bloques (G) de salida de las señales tales como;

- ToEngine; este bloque permite la salida de señal de retroalimentación del motor.
- ToGenerator; envía señal desde la maquina eléctrica 1 al generador.
- ToElmotor; envía señal desde la maquina eléctrica 2 al motor.
- ToChassis; envía señal desde el modelado del vehículo al chasis.

La figura 16 representa el modelo Hils de compontes que esta estructura y sus conexiones de cada bloque.

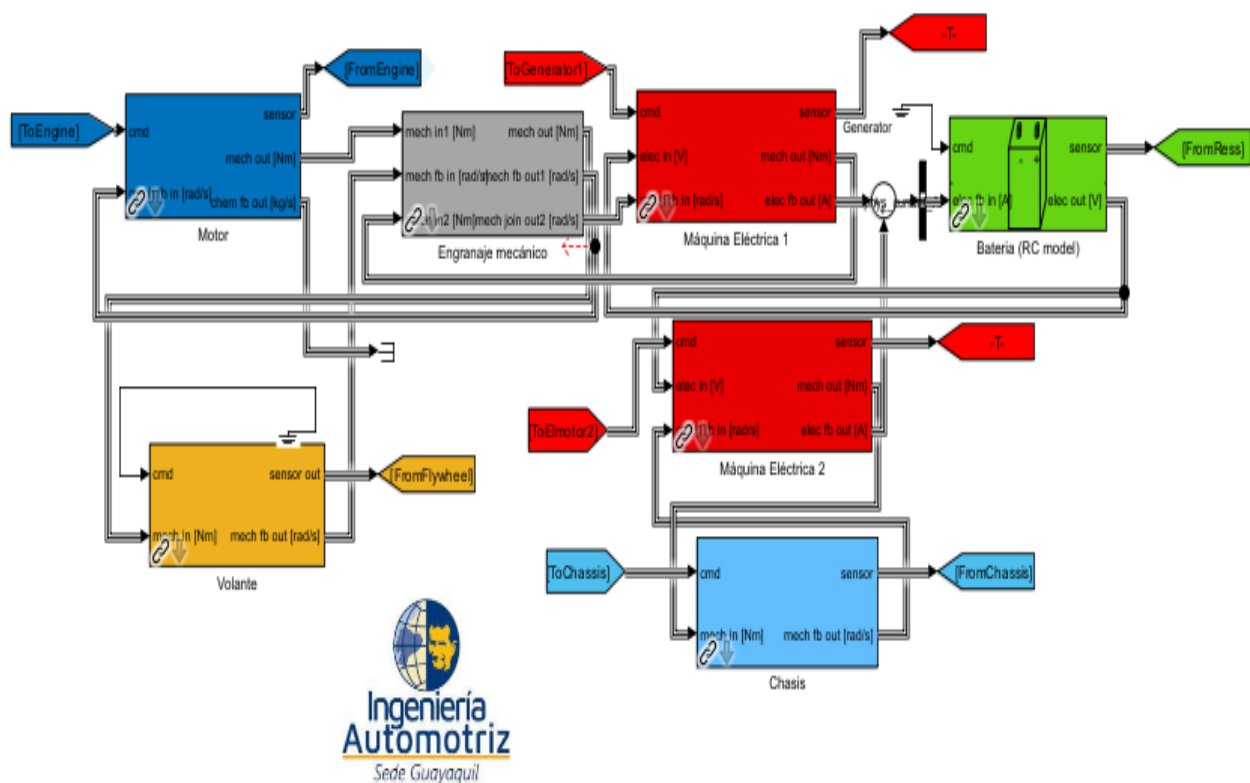


Fig. 16. Modelo de simulación Hils.

Batería (RC model).

Su funcionamiento en términos generales se define como la encargada de suministrar energía a los motores para lograr el impulso en las ruedas. La figura 17 representa el diagrama del bloque de batería de un vehículo híbrido en serie, la cual absorbe corriente eléctrica (A) de los dos motores o en este caso maquina eléctrica 1 y 2, para posteriormente renviarles voltaje realizando un ciclo retroalimentación. Este sistema trabaja continuamente con la corriente real, voltaje de salida, estado de carga y temperatura de la batería.

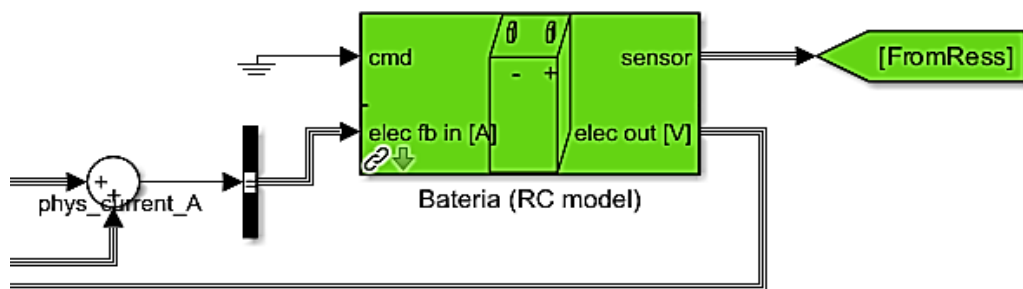


Fig. 17. Batería RC model,

El bloque de la batería contiene internamente un bloque de control local y de ReESS model, la cual trabaja con un circuito de resistencia y condensadores en su interior, que se puede visualizar en la figura 18. Está constituido por 2 señales de entrada -cmd- la cual cierra circuito con tierra y -elec fb in- esta es la suma del amperaje de la maquina eléctrica 1 y 2, la salida del bloque trabaja con la corriente real enviada y dividida a la maquina eléctrica 1 y 2, incluyendo un sensor indicar.

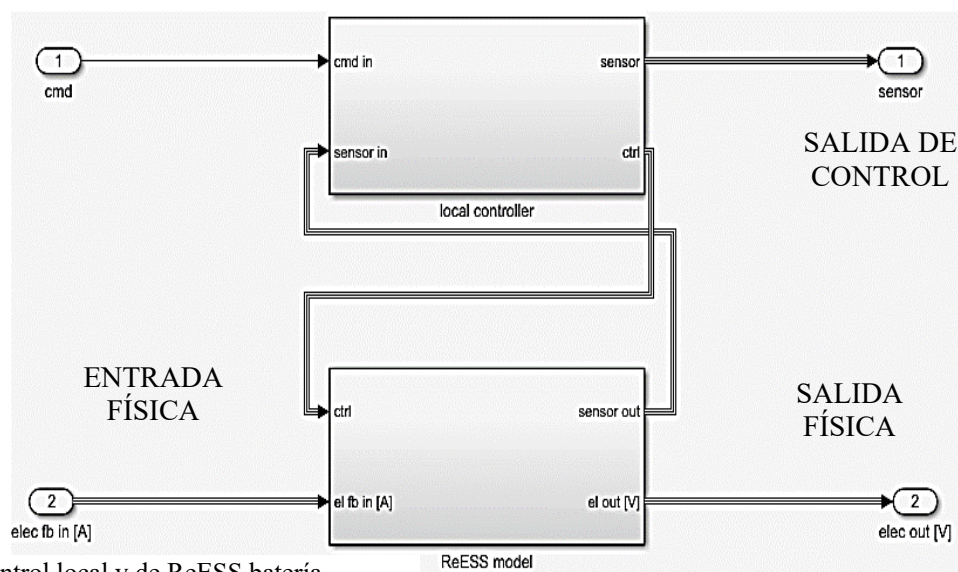


Fig. 18. Control local y de ReESS batería.

Chasis.

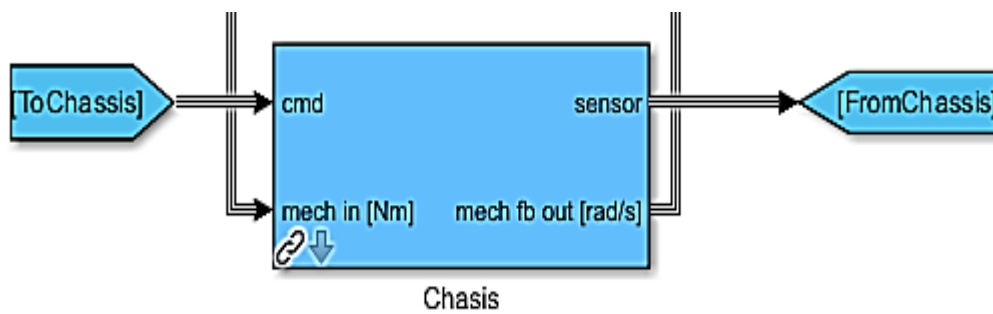


Fig. 19. Chasis del Modelo.

El chasis en la librería lo encontramos como un modelo básico que trabaja con la velocidad actual del vehículo, velocidad angular de los neumáticos, masa del vehículo e inclinación de la calzada, se observar mediante la figura 19. Internamente está constituido por dos bloques representado gráficamente en la figura 20; control local entrada -cmd- y chasis -mech in-. El bloque local de control tiene una entrada de comando -cmd- y un -sensor in- todo esto con salida a un -sensor out- y retroalimentación al bloque del chasis. El bloque chasis ingresa señal de torque Nm proveniente desde maquina eléctrica 2 (esta señal de retroalimentación sirve como indicador de regeneración de energía mediante el movimiento d ellos neumáticos) y del local control -ctrl-, enviando señal de salida a la maquina eléctrica 2 siendo la velocidad angular de los neumáticos.

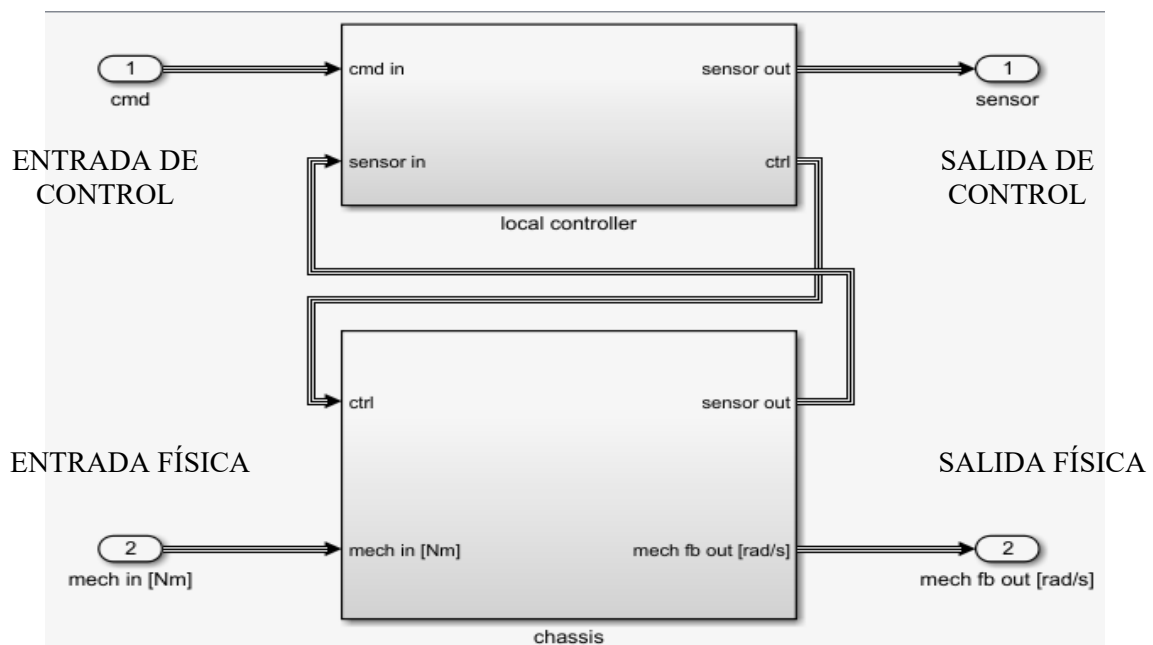


Fig. 20. Control local y Chassis.

Máquina eléctrica 1.

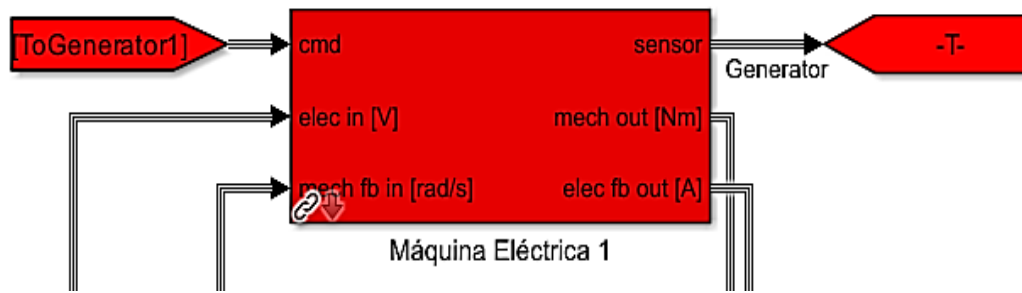


Fig. 21. Máquina Eléctrica 1.

En la figura 21 se observa el bloque de la maquina eléctrica 1 con sus respectivas señales de ingreso y salida como se encuentra en el modelo.

La **máquina eléctrica 1**, este bloque que contiene 3 entradas de señales, la primera señal enviada es desde el generador cmd, como alimentación la batería envía señales de Voltaje y desde el engrane mecánico señales de rad/s siendo la velocidad angular de este elemento, como consecuente sus señales de salida se dirigen a un sensor indicador de estado posicionado en la maquina eléctrica, en el segundo puerto de salida de señal realiza retroalimentación al engranaje mecánico siendo torque Nm, teniendo así una señal de amperaje (A) que se suma a la **maquina eléctrica 2** que es dirigida a la batería del modelado en este caso RC(resistencias y capacitadores), este bloque trabaja internamente con dos subsistemas local y el “electric machine” siendo la máquina eléctrica.

Maquina eléctrica 2 es un bloque el cual receipta señal desde el motor cmd del motor, alimentado por voltaje proveniente desde la batería y una señal de velocidad angular de los neumáticos que es enviada desde el bloque del chasis en rad/s, procesando estas señales arroja así salida a un sensor indicador de estado, enviando señal de torque Nm al bloque del **chasis** y sumando amperaje (A) a la batería con la **maquina eléctrica 1**. La figura 22 se trata de visualizar el bloque de la máquina eléctrica 2 como se encuentra en el modelado

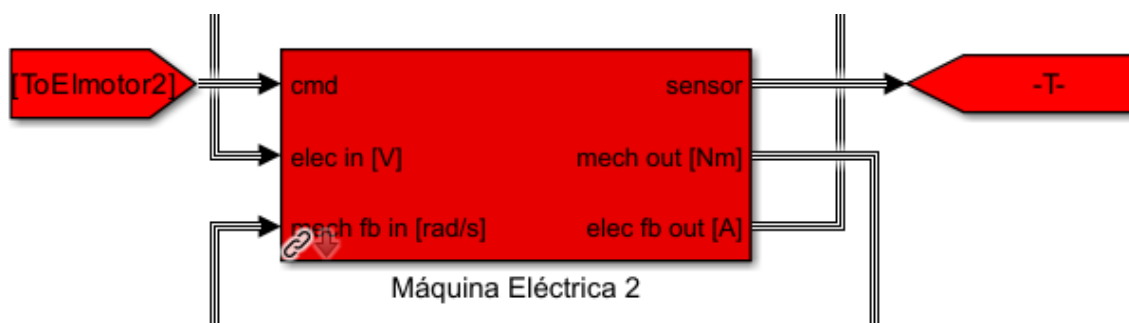


Fig. 22. Maquina Eléctrica 2

Estas entradas trabajan para dar salida a variables como torque, velocidad angular, corriente, temperatura de la máquina térmica desde el control local 1. El bloque físico llamado electric machine, tiene dos entradas numeradas como -2 elec in V unidades en voltaje y -3 mech fb in rad/s, el puerto de salida 2 arroja señales de torque en unidades de Nm, la salida 3 envía corriente (amperios) a la batería, apreciándose en la figura 23 sus conexiones internas.

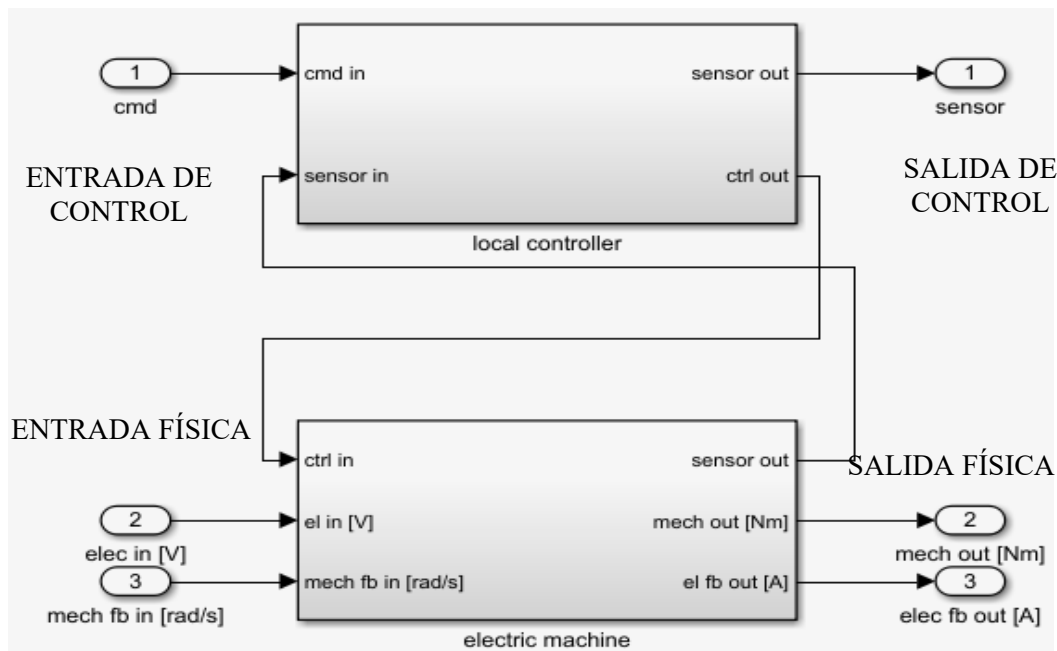


Fig. 23. Control local de la Máquina eléctrica.

Motor.

El motor cumple la función del MCI, está constituido por dos bloques control local y modelo de motor, representada en la figura 23, la entrada -cmd- trabaja con señales como la velocidad requerida, torque requerido y accionamiento del freno. La parte de conexión del puerto nombrado -sensor- trabaja con señales de medición como torque del cigüeñal, torque total requerido, velocidad del vehículo y temperatura del aceite.

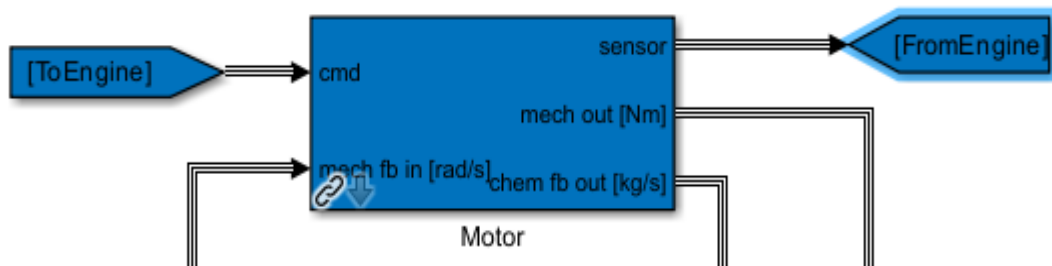


Fig. 24. Modelo del Motor.

La secuencia de bloques del modelado representado en la figura 25 se genera desde el **motor**, con dos señales de entrada, -cmd- y -mech fb in (rad/s)-, consta de 3 puertos de salida del bloque, envían señal a un sensor, salida torque Nm dirigido al engrane mecánico y flujo masico en unidades de kg/s como señal de cierre del circuito.

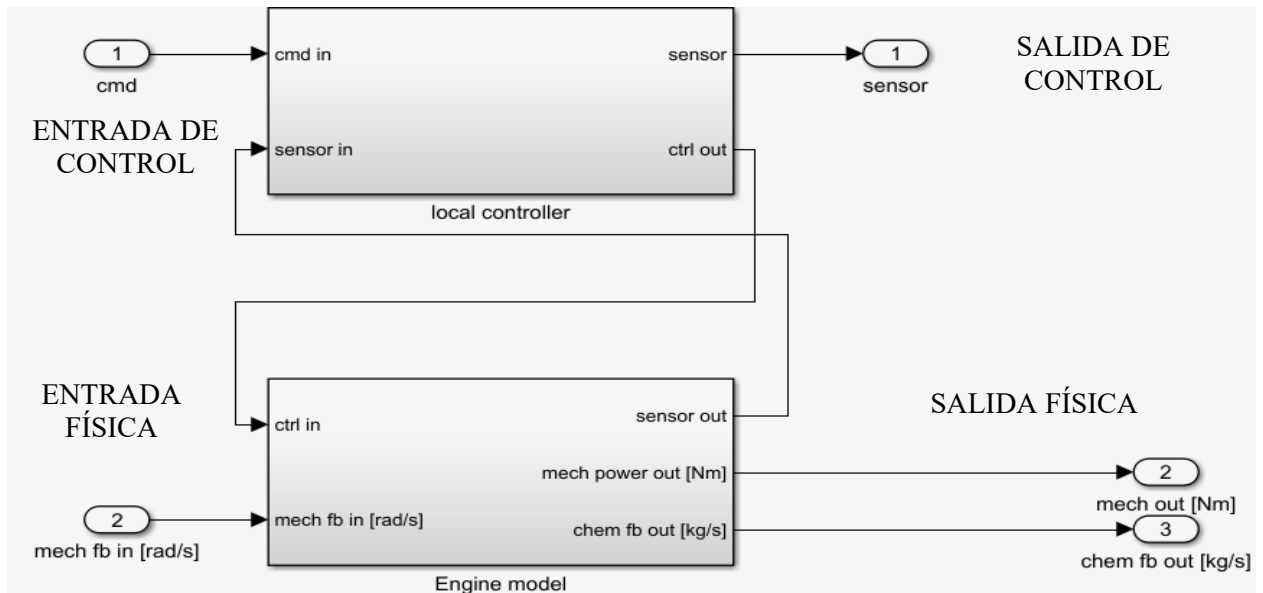


Fig. 25. Modelo del control del motor.

Volante de inercia.

La representación del **volante de inercia** del modelado se genera por dos señales de entrada, -cmd- comando a tierra que sirve como protección y cierre de circuito ya que no está entrelazada a otros bloques, entrada de torque Nm proveniente desde engranaje mecánico respectivamente con salida a un sensor y al engranaje mecánico siendo velocidad angular de este rad/s siendo este un proceso de retroalimentación.

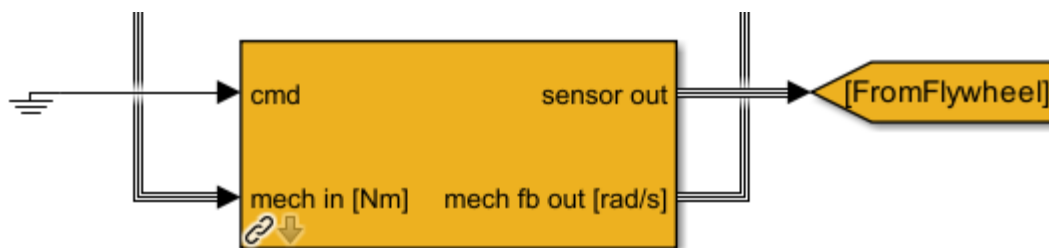


Fig. 26. Modelo del Volante.

Mediante la figura 27, se logra observar como son las conexiones externas de este bloque con respecto a todo el modelado, y en la figura 26 como está constituido internamente por dos bloques uno de control local y el volante.

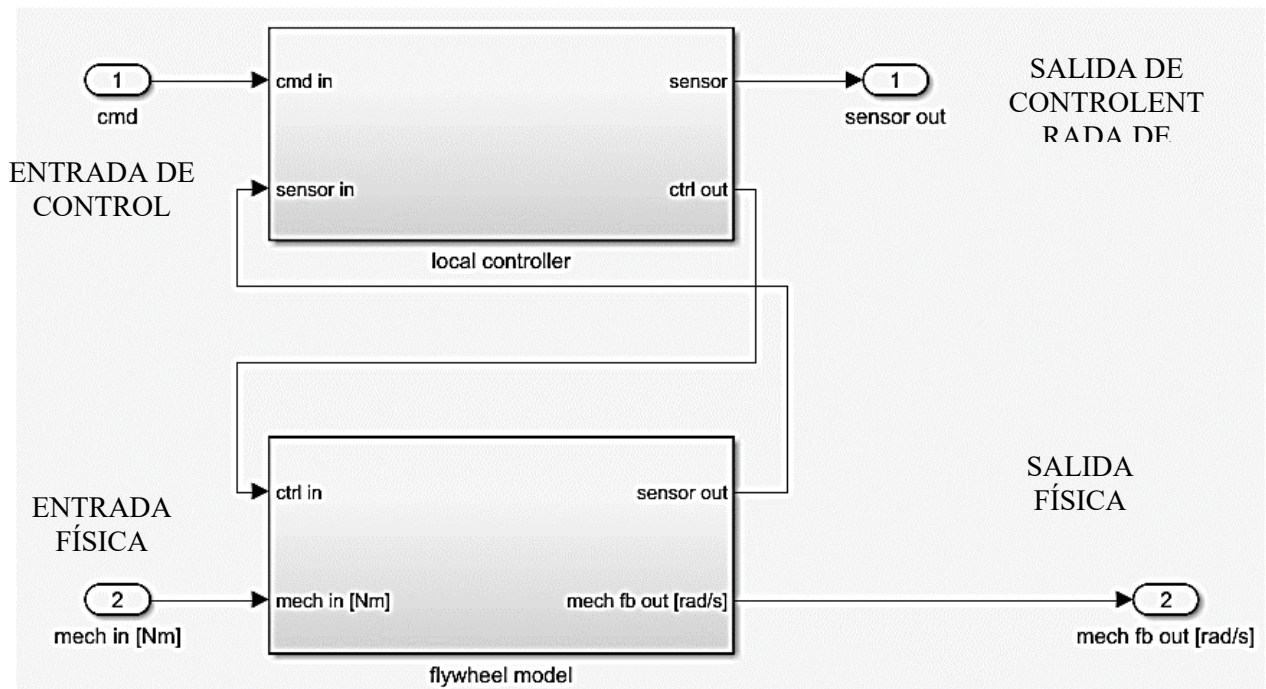


Fig. 27. Control del Modelo del volante

Conjunto de engranajes

El **conjunto de engranajes** representado en la figura 28 recibe está constituido por 3 tipos de puertos en la primera entrada proveniente desde el **motor** señales de torque Nm, la segunda casilla es una entrada de señal desde el volante señal de rotación en rad/s y la tercera sección es una entrada originaria desde la **maquina eléctrica 1** refiriendo a el torque Nm, contiene 3 puertos de salida el engranaje mecánico dirigido la primera señal al volante Nm, en segundo caso al motor señal de rotación rad/s, y como puerto final se dirige a la maquina eléctrica siendo la velocidad angular rad/s. Como su secuencia lo determina el bloque del **engrane mecánico** y **maquina eléctrica 1** están en constante retroalimentación de señal.

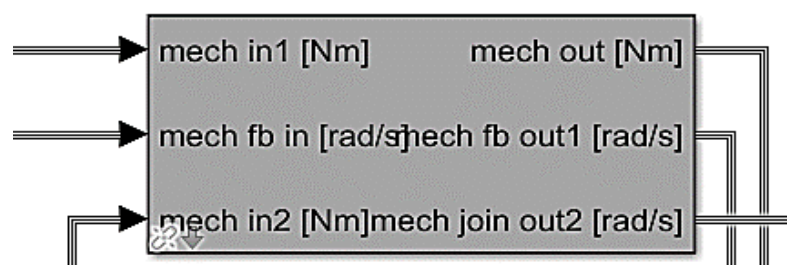


Fig. 28. Modelo de engranaje mecánico.

En el anexo 11 se logra visualizar los componentes internos del engranaje mecánico, como se comenta anteriormente ese bloque trabaja con 3 entradas las cuales; la -1- torque del motor el cual es multiplicado por la contaste de relación de transmisión del sistema de transmisión, pasa a ser multiplicado con los datos de la eficiencia evaluada del vehículo, para después ser sumada con el -2- torque de la maquina eléctrica que realiza el mismo proceso del motor. La suma de estos torques es enviada a un bloque creador de señal que capta de igual manera la señal procesada de la inercia tanto del motor y la maquina eléctrica. Teniendo como valor torque total del vehículo y velocidades angulares enviadas al volante y maquina eléctrica como retroalimentación.

Visores.

Estos bloques scopes/visores son osciloscopios que permiten visualizar datos de la simulación con respecto al tiempo. Dentro de estas curvas, mediante los datos de simulación se puede observar de los sistemas;

- Driver; curva de velocidad en mps (figura 29)



Fig. 29. Visores

- Motor térmico; curvas torque proveniente del cigüeñal, torque indicado es la suma del par de fricción del motor y del frenado, velocidad angular del motor y la temperatura del aceite (figura 30)

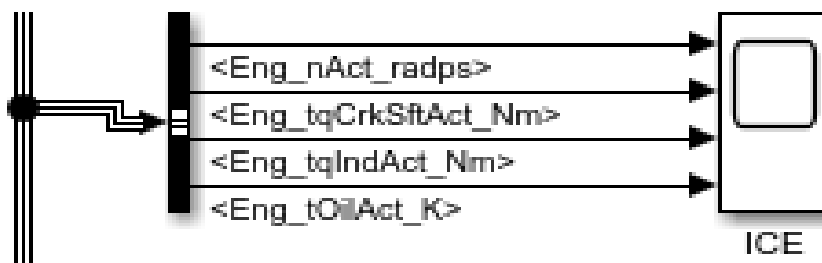


Fig. 30. IEC

- Batería; en este visor se puede representar señales provenientes de la batería tales como amperaje actual (ReESS_iAct_A), voltaje real (ReESS_uAct_V), estado de carga (ReESS_socAct_Rt) y temperatura (ReESS_tAct_K). (figura 31)

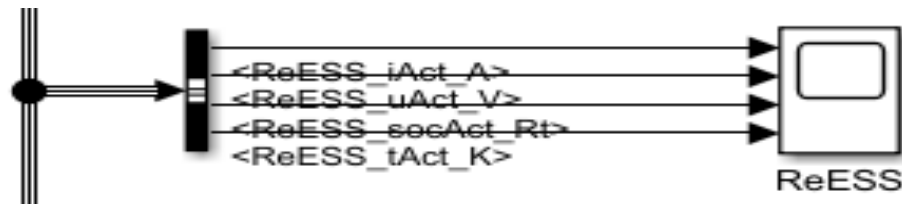


Fig. 31. ReESS

- Generator; en el generador mediante los osciloscopios se puede visualizar curvas de torque (ElectMac_tqAct_Nm), velocidad ($\text{ElectMac_nAct_radps}$), corriente (ElectMac_iAct_A), y temperatura del bloque (ElectMac_iAct_k), (figura 32)

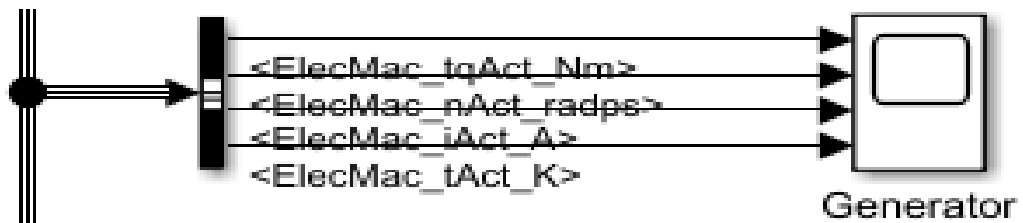


Fig. 32 . Visor de Generador

- ElectricMachine; de igual manera que el general la maquina eléctrica envía señales a los osciloscopios de torque (ElectMac_tqAct_Nm), velocidad ($\text{ElectMac_nAct_radps}$), corriente (ElectMac_iAct_A), y temperatura del bloque (ElectMac_iAct_k), (figura 33)

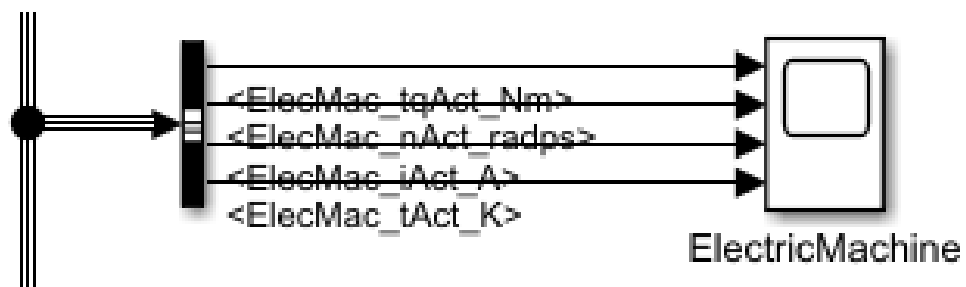


Fig. 33. Visor de maquina eléctrica.

- Chassis; en este bloque del Chassis se logra visualizar el comportamiento del vehículo mediante la velocidad lineal ($\text{Chassis_vVehAct_mps}$), velocidad angular de los neumáticos ($\text{Chassis_nWheelAct_radps}$), masa del vehículo ($\text{Chassis_massVehAct_kg}$) y pendiente de la calzada ($\text{Chassis_slopRoad_rad}$) (figura 34).

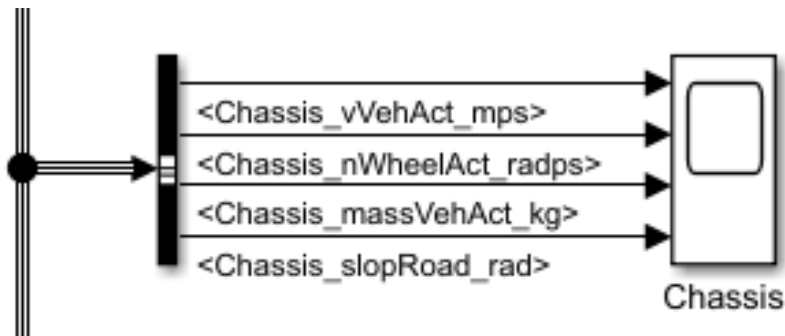


Fig. 34. Visor del Chassis.

- Volante de inercia; volante se visualiza su velocidad angular (flywheel_nAct_radps) (figura 35).

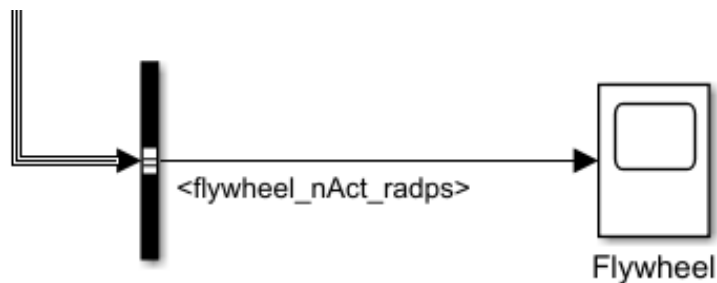


Fig. 35. Visor del volante.

WS_ salida.

En la figura 36, se representa un bloque del modelo la salida de datos que están entrelazados con los demás esquemas. Como se comentó anteriormente estos bloques trabajan como retroalimentación, en este caso esa señal de salida del From model de todos los bloques de estudios (conductor, motor, reESS, generador, máquina eléctrica, volante y chasis) es enviada al workspace como variable de serie temporal.



Fig. 36. Modelo de salida de datos.

3.7.1.2 Modelo del conductor.

El modelo del conductor se logra representar mediante la figura 37, la cual se detallará su funcionamiento y elementos posteriormente.

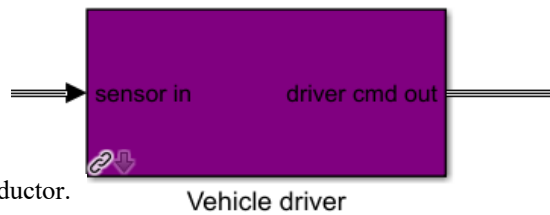


Fig. 37. Modelo del conductor.

Vehicle Driver, este bloque se encarga de enviar señales de manera que se ejecuten como el proceso de aceleración y frenado del vehículo mediante la entrada física. De la misma manera el sistema de transmisión y embrague envía señales si el sistema lo requiere, todo esto por la demanda exigida en el ciclo de conducción y las velocidades, enviando información al bloque del modelo del vehículo, se logra observar la configuración del modelo en la figura 38. En este modelo ingresa la señal de la velocidad del chasis en m/s, para derivar en salidas de la velocidad referente del ciclo -driver cmd out-.

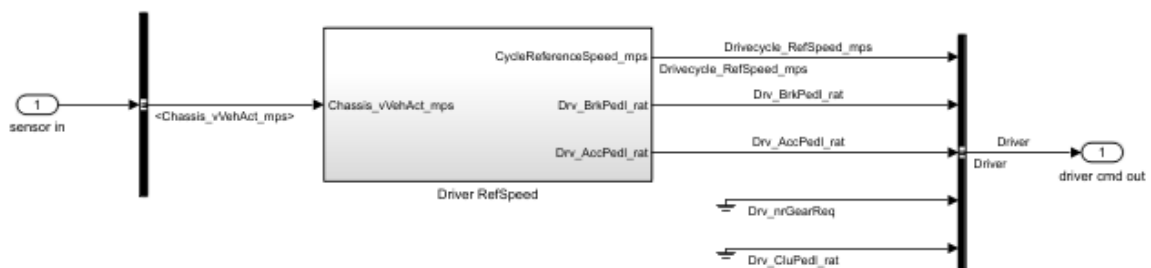


Fig. 38. Controlador del modelo.

3.7.1.3 Unidad de control ECU

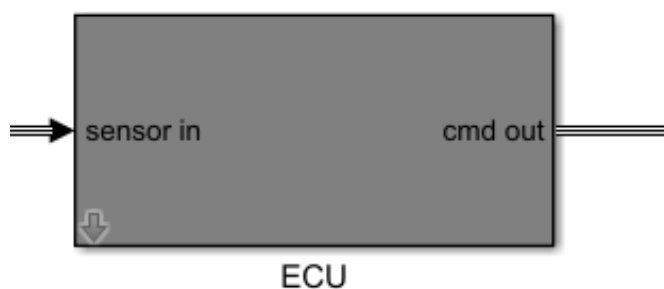


Fig. 39. Unidad de control.

En la figura 39 está representado el bloque de la unidad de control del modelado. El funcionamiento de la unidad de control se origina de las señales enviadas por el bloque ejecutando acciones como la aceleración y frenado del vehículo, trabajando de manera

semejante al bloque del conductor. En este caso, este bloque realiza estrategias de control mediante valores establecidos previamente, como la tensión de salida DC/DC demandada por el sistema. Otro de los casos donde se puede aplicar la estrategia de control, es mediante los datos proporcionados por los componentes internos, enviando una vez al bloque y concluyendo el lazo de realimentación. Este bloque tiene la finalidad de comandar el vehículo y sus componentes, en el anexo 12 se logra visualizar la estructura del modelo de la ECU.

Dentro de este bloque está compuesta por señales demandadas por;

- **Conductor;** este bloque BUS trabaja con el accionamiento del pedal, esta fuerza es trasformada a torque dirigida a la maquina eléctrica y chasis, paralelamente estos torques son restados entre sí, para posteriormente ser enviados a la maquina eléctrica 2 (figura 40), (-Drv_AccPedl_rat- aceleración, -Drv_BrkPedl_rat, -freno, -ElecMactqReq_Nm- torque solicitado por la máquina eléctrica, -Chassis_tqBrakeReq_Nm- toque de freno solicitado por el sistema de freno).

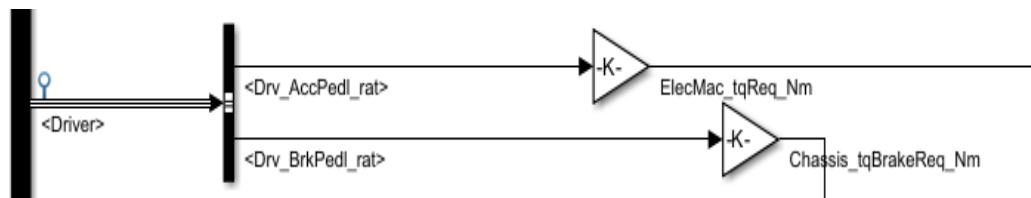


Fig. 40. Modelo del conductor.

- **Motor;** en este bloque ECU el subsistema del Engine cierra ciclo todas sus señales (figura 41), (-Eng_nAct_radps- velocidad actual del motor, -Eng_tqCrkSftAct_Nm- torque del cigüeñal, -Eng_tqIndAct_Nm- torque indicado, Eng_tOilAct_k- temperatura del aceite del motor)

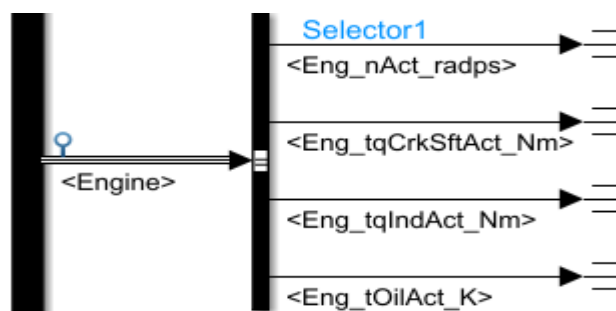


Fig. 41. Bloque Ecu.

- **Batería:** bloque representativo de la batería cierra sus señales de amperaje, voltaje, temperatura, pero el motor y la maquina eléctrica están en constante conocimiento del estado de batería para el accionamiento del tren de potencia en función de la demanda energética para la carga de esta (figura 42) (-ReESS_iAct_A- corriente actual de la batería, -ReESS_uAct_V- voltaje de salida, -ReESS_socAct_Rt-estado de carga, -ReESS_tAct_K- temperatura de la batería.

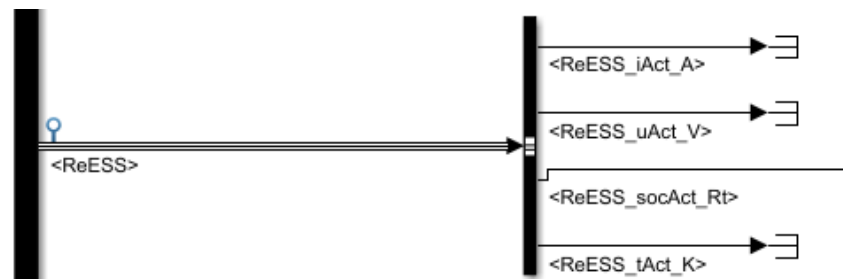


Fig. 42 Bloque de la batería

- **Generador;** mantiene señales de torque, velocidad angular amperaje y temperatura cerrando ciclo en esta sección (figura 43) (-ElecMac_tqAct_Nm- actual torque de la máquina eléctrica, -ElecMac_nAct_radps- velocidad actual de la máquina eléctrica 1, -ElecMac_iAct_A- corriente de la máquina eléctrica 1, -ElecMac_tAct_k-) temperatura del sistema.

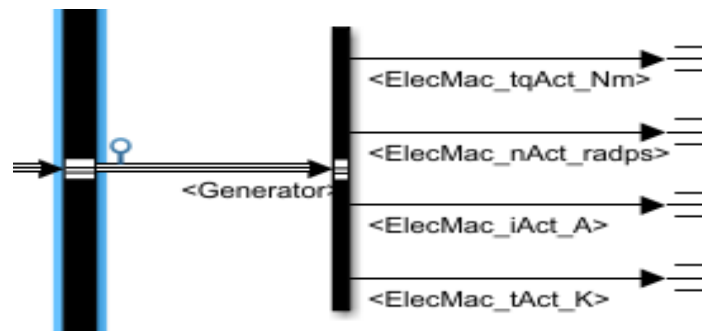


Fig. 43. Señal de Generador.

- **Máquina eléctrica;** la unidad de control en la maquina eléctrica cierra el bloque con las señales de torque, velocidad angular, amperaje y temperatura (figura 44) (-ElecMac_tqAct_Nm- actual torque de la máquina eléctrica 2, -ElecMac_nAct_radps- velocidad actual de la máquina eléctrica, -ElecMac_iAct_A- corriente de la máquina eléctrica 2, -ElecMac_tAct_k- temperatura del sistema).

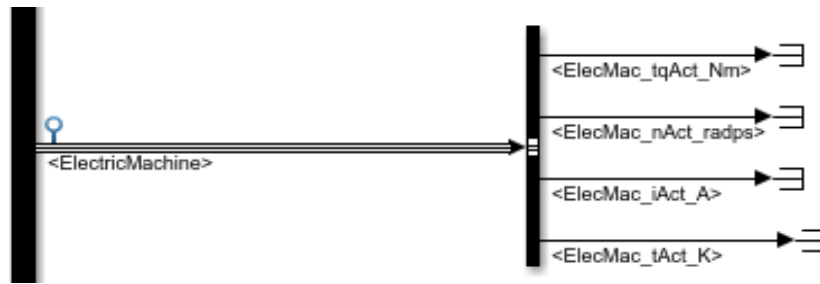


Fig. 45. Señal de la maquina eléctrica.

- **Volante de inercia;** componente básico de rotación de masa, mantiene velocidad angular cerrando su bloque en este diagrama (figura 45) (-flywheel_nAct_radps- velocidad actual del sistema).

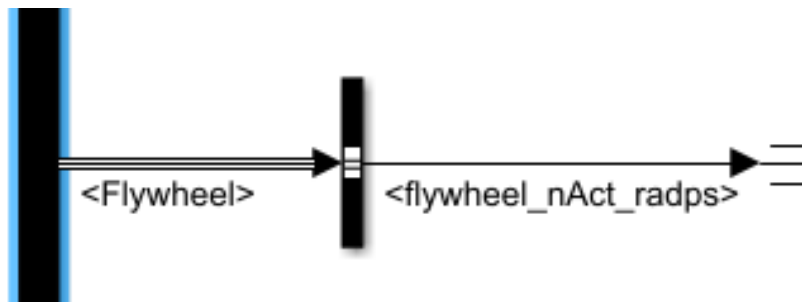


Fig. 44. Señal del Volante de inercia.

- **Chassis;** como se menciona anteriormente estos bloques trabajan con señales de retroalimentación del modelo Hils, en este caso cierra señal de la velocidad lineal del vehículo, velocidad angular de los neumáticos, masa del vehículo e inclinación de la calzada (figura 46) (-Chassis_vVehAct_mps- velocidad actual del vehículo, -Chassis_nWheelAct_radps- velocidad actual de los neumáticos, -Chassis_massVehAct_kg- masa del vehículo, -Chassis_slopRoad_rad- inclinación de la calzada).

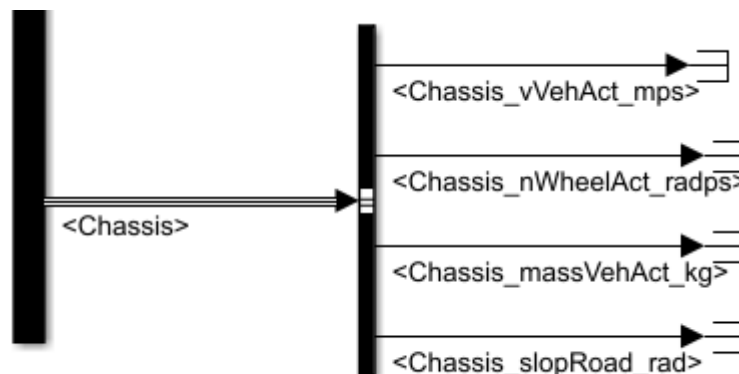


Fig. 46. Señal del Chasis.

El comando de salida está integrado por un bloque BUS de motor, maquina eléctrica 1, maquina eléctrica 2 y vehículo.

- **Motor;** su descripción denota señal de velocidad angular requerida en rad/s, torque requerido en Nm, incluyendo operadores lógicos de toma de decisión que cumple la función de interrupto de ingreso de velocidad/torque y activación/desactivación del freno.

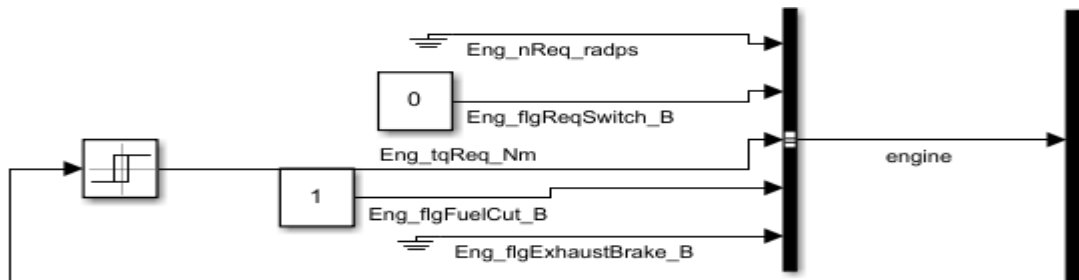


Fig. 47. Señal del motor.

- **Máquina eléctrica 1;** de la misma manera que el motor, la maquina eléctrica trabaja con velocidad requerida, operador lógico con la decisión de accionamiento de velocidad/torque y requerimiento de torque como cierre de ciclo (figura 48).

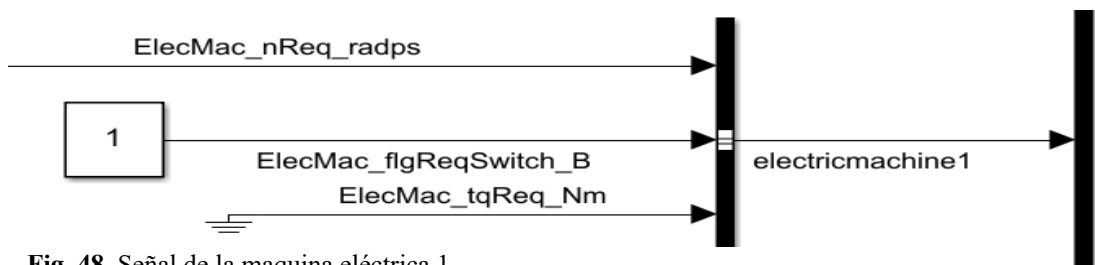


Fig. 48. Señal de la maquina eléctrica 1.

- **Máquina eléctrica 2;** en este caso la velocidad angular de la maquina eléctrica sirve como cierre de ciclo y el torque requerido es la diferencia entre el frenado y accionado (figura 49).

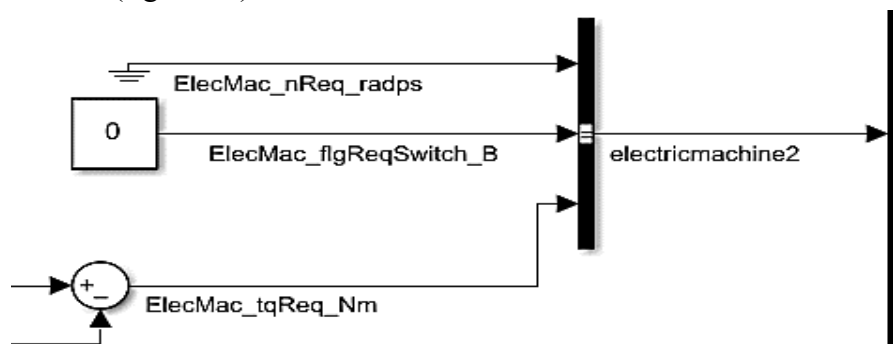


Fig. 49. Señal de la maquina eléctrica 2.

- **Chassis;** par de frenado solicitado representado con un operador lógico de ingreso o no al bloque de BUS del vehículo (figura 50).

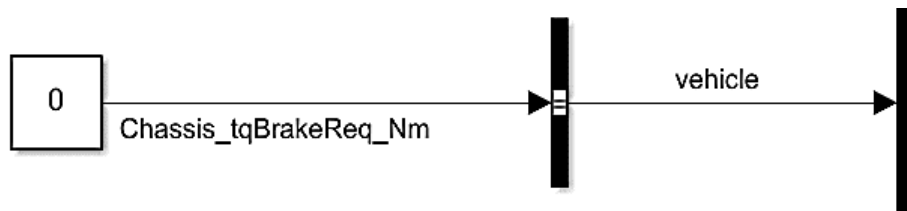


Fig. 50. Señal de Chasis.

Interfaces hardware (input-output).

Estas interfaces sirven para entrelazar el sistema software en caso de que se implementara una ECU de manera física como hardware, está incluido en el Hils model.

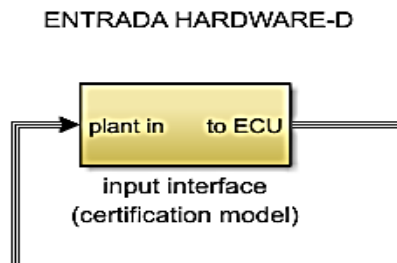


Fig. 51. Interfaces de Hardware.

Input: La interfaz como se representa en la figura 51 en función del modelo Hils, su manejo se genera por la señal enviada desde modelo del vehículo que en este caso en particular su tren de potencia es en serie hasta la unidad de control (C), en la figura 52 se observa el esquema representativo.



Fig. 52. Interfaz.

Output Este bloque trabaja con la señal proveniente de la unidad de control para posteriormente importar la señal al modelo del vehículo (A), como se logra representar en las figuras 53 y 54 la conexión y esquema del bloque **output**.

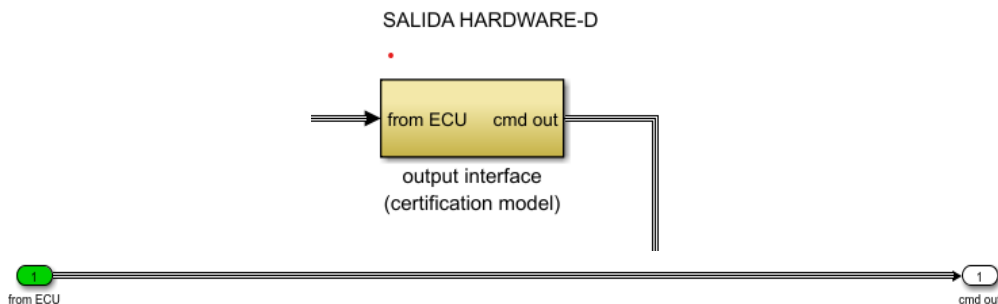


Fig. 53, 54. Esquema de bloque output.

3.7.2. Variables de códigos de programación.

En este apartado se menciona los archivos que contienen los criterios de simulación en función del vehículo y su entorno, se encuentra dentro de la librería.

1. hilsparameters_main_file.m
2. para_accumulator.m
3. para_battery_rcmodel.m
4. para_battery_resistormodel.m
5. para_chassis.m
6. para_clutch.m
7. para_cvt.m
8. para_dcdc.m
9. para_drivecycle.m
10. para_driver_automatic.m
11. para_driver_manual.m
12. para_elauxiliary.m
13. para_elmachine.m
14. para_engine_exhtemp.m
15. para_engine_ver1.m
16. para_engine_ver2.m
17. para_flywheel.m
18. para_hydraulicmachine.m
19. para_mechauxiliary.m
20. para_mechgear.m
21. para_retarder.m
22. para_supercapacitor.m
23. para_transmission.m

3.7.3. Vehículos/modelos para procesamiento.

La librería de la caja de herramientas de los modelos HILS contiene una estructura general del vehículo, en este caso, la ECU está modelada mediante MiLS, la cual está preparada para el uso de su interfaz mediante la ECU con hardware en el entorno HiLS.

El ciclo de conducción, que sirve de punto de partida para la definición de la simulación, establece las velocidades necesarias del vehículo para cada instante de tiempo. Para ello, un bloque que hace las veces de conductor controlador PID (proporcional, integral y derivado

MiLS: modelo de simulación de bucles.

PID: controlador proporcional, integral y derivativo

[115]) accionará el vehículo actuando sobre los pedales de acelerador y freno (y, en su caso, sobre la caja de cambios) en función de la velocidad actual y de la deseada. Por otro lado, el tren motriz eléctrico utilizará los datos del conductor y del sistema de control (ECU) para determinar su funcionamiento, lo que en última instancia dará lugar a un comportamiento específico del vehículo. Todo ello mientras produce datos que servirán de retroalimentación para los bloques anteriores

3.8. Parámetros de simulación.

El proceso de simulación sigue diferentes parámetros de evaluación, en la siguiente tabla XII se definen en función de su categoría, detallando el método de selección de cada uno de ellos.

TABLA XII
PARÁMETRO DE SIMULACIÓN

Categoría	Parámetro
Ambientales	*Densidad del aire (ρ_a).
	*Gravedad del aire (g)
	*Temperatura (T)
Operación de vehículo	*Velocidad (V).
	*Pendiente (θ).
Vehículo	*Peso bruto vehicular(kg).
	*Área frontal del vehículo (Af).
	*Radio efectivo (rg).
	*Coeficiente a la rodadura (fr).
	*Resistencia a la rodadura (Rd).
	*Coeficiente de aerodinámico (Cx).
	*Aceleración(a).
	*Resistencia a la inercia (Ri).
*Relación de transmisión.	

Estos parámetros de simulación son introducidos en los códigos de programación de;

1. para_drivecycle.m

En este parámetro de simulación se ingresa una matriz del recorrido realizado en la ruta establecida mediante OBD2, con las variables;

- Tiempo (s).
- Velocidad (m/s).
- Inclinación de la calzada (%).

```
%load drivecycle
```

```
load WHVC % time [sec], vehicle speed [m/s], slope [%]
```

```
dat.comment = 'WHVC without slopes is currently used as example';
```

```
dat.time.unit = 'sec';
```

```
dat.time.value = drivecycle(:,1);
```

```
dat.speed.unit = 'm/s';
```

```
dat.speed.value = drivecycle(:,2);
```

```
dat.slope.unit = 'rad';
```

```
dat.slope.value = atan(drivecycle(:,3)./100);
```

```
clear drivecycle
```

2. hilsparameters_main_file.m

En esta sección se ingresan los parámetros de;

- Temperatura ambiental (K).
- Presión atmosférica (Pa).
- Gravedad (m/s²).
- Densidad (kg/m³).

```
% HILS parameters for a pre transmission parallel hybrid electric vehicle
```

```
%-----
```

```
% Model: hilsmodel_parallel_pretrans.mdl
```

```
%-----
```

```
% Model parameters correspond to the parameters given in the open-source  
% models from Kokujikan No.281
```

```
%-----
```

```
clear
```

```
%-----
```

```
% Simulation parameters
```

```
%-----
```

```
hilsmdl.simulation.stepsize=0.01;
```

```

% Store sample data with this rate
hilsmdl.simulation.sampletime=0.1;
%-----
% Surrounding (environment) conditions
% (global parameters)
%temperatura ambiente 25
%densidad de aire Guayaquil 1.184
%-----
hilsmdl.init.comment = 'global initialization data';
hilsmdl.init.temp.comment = 'temperature';
hilsmdl.init.temp.unit = 'K';
hilsmdl.init.temp.value = 273 + 25;
hilsmdl.constants.ambientTemp.comment = 'global temperature of ambient air';
hilsmdl.constants.ambientTemp.unit = 'K';
hilsmdl.constants.ambientTemp.value = 273 + 25;
hilsmdl.constants.ambientPressure.comment = 'global atmospheric pressure';
hilsmdl.constants.ambientPressure.unit = 'Pa';
hilsmdl.constants.ambientPressure.value = 101300;
hilsmdl.constants.g.comment = 'gravitational constant';
hilsmdl.constants.g.unit = 'm/s^2';
hilsmdl.constants.g.value = 9.80665;
hilsmdl.constants.airdensity.comment = 'air density';
hilsmdl.constants.airdensity.unit = 'kg/m^3';
hilsmdl.constants.airdensity.value = 1.184;
%-----
% Driving cycles (enhanced environment)
%-----
para_drivecycle
hilsmdl.drivecycle = dat;
clear dat
%-----
%Chassis model parameters
%-----

```

```
para_chassis_example2
hilsmdl.chassis = dat;
clear dat
%-----
% Battery model parameters
%-----

para_battery_example2
hilsmdl.battery = dat;
clear dat
%-----
% Electric motor model parameters
%-----

para_elmotor_example2
hilsmdl.elmachine = dat;
clear dat
%-----
% Combustion engine model parameters
%-----

para_engine_example2
hilsmdl.eng = dat;
clear dat
%-----
% Generator model parameters
%-----

para_generator_example2
hilsmdl.generator = dat;
clear dat
%-----
% Mechanical Gear model parameters
%-----

para_mechgear_example2
hilsmdl.mechgear = dat;
clear dat
```

```

%-----
%Flywheel model parameters
%-----
para_flywheel_example2
hilsmdl.flywheel = dat;
clear dat
%-----
%ECU parameters
%-----
para_ecu_example2
hilsmdl.ecu = dat;
clear dat
%-----
%Driver parameters
%-----
para_driver_automatic_example2
hilsmdl.driver = dat;
clear dat

```

3. para_chassis.m

Los parámetros que influyen directamente al chasis se determinan mediante cálculos y sustentación investigativa, las cuales son;

- Masa del vehículo (kg).
- Relación de transmisión.
- Área frontal (m²).
- Coeficiente aerodinámico.
- Radio efectivo (m).
- Resistencia a la rodadura (kg/m²).
- Coeficiente a la rodadura.

```

%-----
% Vehicle parameters
%-----

```

```

dat.vehicle.mass.comment = 'vehicle mass';
dat.vehicle.mass.unit = 'kg';
dat.vehicle.mass.value = 1405;
%-----
% Brake system
%-----
dat.brakeactuator.timeconstant.comment = 'brake actuator time constant';
dat.brakeactuator.timeconstant.unit = 's';
dat.brakeactuator.timeconstant.value = 0.1;
%-----
% Final gear parameters
%dat.fg.ratio.value = 4.9;
%dat.fg. efficiency.value = 0.99;
%dat.fg.inertia.value = 0;
%-----
dat.fg.comment = 'final gear parameters';
dat.fg.ratio.comment = 'final gear ratio';
dat.fg.ratio.unit = '-';
dat.fg.ratio.value = 4.9;
dat.fg. efficiency.comment = 'final gear efficiency';
dat.fg. efficiency.unit = '-';
dat.fg. efficiency.value = 0.99;
dat.fg.inertia.comment = 'final gear inertia';
dat.fg.inertia.unit = '-';
dat.fg.inertia.value = 0;
%-----
% Aerodynamical vehicle properties
%dat.aero.af.value = 4;
%-----
dat.aero.comment = 'aerodynamical load parameters';
dat.aero.af.comment = 'frontal area';
dat.aero.af.unit = 'm^2';
dat.aero.af.value = 1.906;

```



```

dat.aero.cd.comment = 'aerodynamical drag coefficient';
dat.aero.cd.unit = '-';
dat.aero.cd.value = 0.267;
%-----
% Wheel parameters
%-----
dat.wheel.comment = 'wheel parameters'
dat.wheel.radius.comment = 'wheel radius';
dat.wheel.radius.unit = 'm';
dat.wheel.radius.value = 0.309;
dat.wheel.inertia.comment = 'wheel inertia';
dat.wheel.inertia.unit = 'kgm^2';
dat.wheel.inertia.value = 3225.694;
dat.wheel.rollingres.comment = 'rolling resistance coefficient';
dat.wheel.rollingres.unit = '-';
dat.wheel.rollingres.value = 0.80;

```

3.8.1 Ambientales.

Estas variables se efectúan en función de la geografía, relieve y entorno de la región en

- **Densidad del aire**, esta variable depende de las condiciones atmosféricas como temperatura (25°C), presión atmosférica (1013hPa) y humedad relativa (76%), en este caso aplicado para la ruta de análisis en la ciudad de Guayaquil, obteniendo así la densidad mediante la metodología empleada por la revista digital de ciencia, ingeniería y tecnología, representada en la siguiente ecuación (1) [115].

$$\rho_a = \frac{0.34848\rho - 0.009hr * \exp(0.061T)}{273.15 + T} \quad (1)$$

$$\rho_a = 1.184 \text{ kg/m}^3$$

- **Gravedad**, es una fuerza principal y fundamental del universo, considerada una constante, que mantiene a todo los objeto y cuerpos adheridos al planeta. Recalcando que existe variación de esta constante, la cual puede darse en función de la altitud en la cual se encuentre el objeto de estudio, tomando como valor estándar 9.80665

m/s²[116].

- **Temperatura**, la temperatura ambiente promedio anual de la ciudad de Guayaquil es 25°C detalla el INAMHI. [63].

3.8.2 Operación del vehículo.

En este punto de la investigación se hace referencia a la velocidad del vehículo y la pendiente de la calzada, variables que se declaran en función de la ruta preestablecida que fue detallada anteriormente en la tabla XI. Como velocidad máxima **90 km/h**, la ciudad de Guayaquil se encuentra a 4.02 m del nivel del mar, considerando 0° de inclinación.

3.8.3 Vehículo.

Teniendo en cuenta que cada vehículo mantiene diferentes características en función de su diseño. Tales como el peso, capacidad de pasajeros y medidas son diferentes. Cada tipo de vehículo exhibe características particulares generando diferentes clasificaciones según su diseño. Derivando así el coeficiente de arrastre (cd), área frontal (Af), coeficiente a la rodadura (fr) y peso bruto vehicular. Especificando a continuación cada uno de estos parámetros y metodología de aplicación.

- **Peso bruto vehicular**, esta característica depende del diseño, tamaño y elementos que lo conforman en este caso en particular el peso 1405kg valor establecido por el fabricante.
- **Área frontal del vehículo (Af)**, para determinar los datos de una manera exacta, se utiliza el software Inventor Professional 2023. Modelando el perfil del vehículo, mediante una imagen de la parte frontal, referenciando el perfil con las medidas del fabricante $1.906m^2$, representado en la figura 27 el valor del área frontal respectivamente.

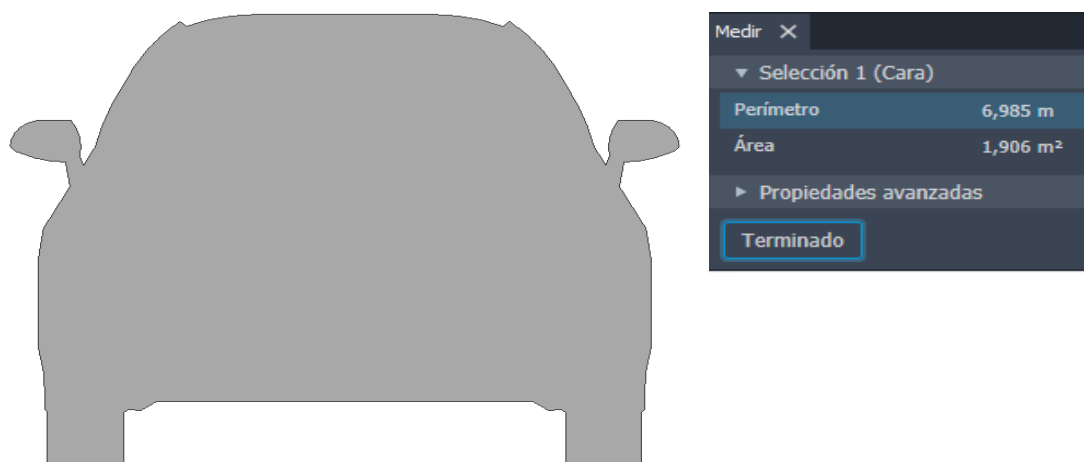


Fig. 55. Área frontal del vehículo

- **Radio dinámico o radio efectivo**, el vehículo tiene neumáticos R16 equivalente a **406.4mm** el radio como detalla el fabricante[85].



Fig. 56. Radio Dinámico del Vehículo.

Para determinar el radio efectivo se utiliza la siguiente ecuación (2).

$$r_g = \frac{An * \frac{Pa}{100} * 2 + Dc * 25.4}{2} \quad (2)$$

An=205 mm (ancho del neumático)

Pa=55 (indicador de altura del flanco)

Dc=16 in (Diámetro del neumático en pulgada)

$$r_g = \frac{An * \frac{Pa}{100} * 2 + Dc * 25.4}{2} = 315.95mm$$

$$r_e = r_g * 0.98 = 309.631mm$$

- **Coefficiente a la rodadura**(μ_{rod}), esto parte por el rozamiento producido del neumático con respecto a la calzada, generando así la resistencia a la rodadura que se la define como la energía que consume un neumático por el desplazamiento efectuado, detalla la Asociación Argentina de Mecánica Computacional en el año 2016[117]. Es un valor adimensional generado gracias a las propiedades físicas del neumático y la calzada. Este coeficiente es calculado mediante pruebas controladas en pista o laboratorio en función de las dimensiones del vehículo, en la tabla XIII se establece diferentes valores usados en función de la calzada.

TABLA XIII
COEFICIENTE A LA RODADURA [118]

Materiales	μ_e	μ_c
Acero sobre acero	0,7	0,6
Latón sobre acero	0,5	0,4
Cobre sobre hierro fundido	1,1	0,3
Vidrio sobre vidrio	0,9	0,4
Teflón sobre teflón	0,04	0,04
Teflón sobre acero	0,04	0,04
Caucho sobre hormigón (seco)	1,0	0,80
Caucho sobre hormigón (húmedo)	0,3	0,25
Esquí encerado sobre nieve (0°C)	0,10	0,05

- **Resistencia a la rodadura.** Es una fuerza de oposición cuando un cuerpo en este caso el vehículo se desliza sobre la calzada. Esta fuerza es de sentido contrario a la dirección de movimiento y es proporcional a la fuerza normal del vehículo. Se estima mediante la ecuación (3) siguiente, μ_{rod} es el coeficiente a la rodadura, m la masa del vehículo, a aceleración y la θ la pendiente de la calzada.

$$R_x = f_r * m * g * \cos(\theta) \quad (3)$$

Donde:

$R_x =$ Resistencia a la rodadura (N).

$f_r =$ coeficiente de resistencia a la rodadura.

$m =$ masa del vehiculo (kg).

$g =$ gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$.

$\theta =$ pendiente (rad)

$$R_x = 11015.2N$$

- **Coefficiente de aerodinámico (Cx),** este coeficiente se puede determinar mediante cálculos matemáticos, la universidad de São Paulo Escola Politécnica departamento de Engenharia Mecánica en el 2020, determinaron los coeficientes aerodinámicos de un Toyota Corolla XEI 2020 con motor convencional. En base a esta

investigación se decidió estimar el coeficiente mediante este tipo de metodología de cálculo que se detalla en la ecuación (4), parámetros de cálculo en la tabla XV.

TABLA XIV

COEFICIENTE AERODINÁMICO

Datos	
Largo-mm	4630
Ancho-mm	1780
Altura-mm	1455
Distancia entre eje	2700
Potencia combinada en ruta-kw	47.122

$$C_x = \frac{P_{di}}{\frac{1}{2} * \rho * A_f * V^3} \quad (4)$$

$C_x =$ *coeficiente a la rodadura*

$\rho =$ *densidad del aire* $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$.

$A_f =$ *area frontal del vehiculo* (m^2) .

$V =$ *velocidad lineal del vehiculo* $\left(\frac{m}{s}\right)$.

Como se detalló anteriormente, el área frontal se la estimó mediante un programa computacional siendo $1.906m^2$. Se toma en cuenta que la velocidad máxima es de 90km/h detallado en la caracterización de la ruta.

$$V = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s} \quad (5)$$

La potencia nominal combinada del vehículo es de 47.122kW, investigación previa por la Universidad de Sao Paulo se estima que la potencia disipada (perdida de potencia que se genera al rededor del sistema de transmisión) es aproximadamente el 10% de la total del vehículo que se aprecia en la ecuación (6). (Potencia disipada-P_{di}).

$$Pdi = pt * 10\% \quad (6)$$

$$Pdi = 47122W - 10\% = 4712W$$

$$\rho = 1.184 \frac{kg}{m^3}$$

$$af = 1.906m^2$$

$$Cx = 0.267$$

- **Aceleración.** La aceleración de un cuerpo es la medida que se toma de la velocidad con respecto al tiempo para determinar su variación que se representa en la ecuación (7). La aceleración del vehículo de prueba que consta de dos motores combinados es de un promedio de 0-100km/h en 12,1 segundos, dato estimado en la investigación realizada en la ciudad de Quito por la Universidad Politécnica Salesiana [119].

$$a = \text{aceleracion } (m/s^2)$$

$$a = \frac{Vf - V0}{t2 - t1}$$

$$a = 2.296 m/s^2$$

- **Resistencia a la inercia (Ri),** la segunda ley de newton indica que la aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza que actúa sobre ella y es inversamente proporcional a la masa que se detalla en la educación (8)(9)[120].

$$R_i = m * a \quad (7)$$

Donde:

$$R_i = \text{resistencia a la inercia}(N)$$

$$m = \text{masa del vehiculo } (kg)$$

$$a = \text{aceleracion } (m/s^2) \quad (8)$$

$$a = \frac{Vf - V0}{t2 - t1}$$

$$R_i = 2902.893N$$

- **Relación de transmisión.** La estimación de la relación de transmisión es de 2.834 valor expresado desde la concesionaria de origen del vehículo, considerada con la potencia máxima el motor de 122cv en 5200rpm, en este caso puntual se alcanzó una velocidad máxima de 25.83891m/s con un régimen de giro del motor de 3063.3rpm determinando así la relación de transmisión de 0.96 el mismo de observa en la ecuación (11)(12).

$$rt = \frac{wm * R}{v} \quad (11)$$

$$rt = 3.8$$

Teniendo en cuenta que el valor obtenido es de la relación de transmisión entre la salida del motor y la rueda la cual quedaría expresada.

$$rtt = \frac{rt}{4} \quad (12)$$

$$rt = 0.96$$

3.9. Programas computaciones obtención de datos y estadística.

La extracción de datos se dio mediante la herramienta escáner OBDLINK MX el cual permitió recopilar los datos de las variables para posteriormente crear la matriz para el proceso de modelado en el software **MATLAB-SIMULINK**. Este proceso se genera mediante bluetooth desde el escáner hasta una laptop mediante la conexión del software **OBD WIZ**. Considerando los factores controlados por el conductor del vehículo que pueden afectar al consumo energético, como factores principales el encendido de la calefacción y radio/multimedia del vehículo, procesando un diseño de experimento factorial mediante el software **MINITAB** para la estimación de repeticiones de rutas que se debe realizar.

3.9.4 MATLAB-SIMULINK.

Matlab Software que combina el análisis iterativo y proceso de diseño mediante un lenguaje de programación con matrices y arrays, simulink es una caja de herramientas de Matlab las que permite simular el comportamiento de diferentes sistemas dinámicos mediante bloques sean en tiempo continuo y discreto[121].

3.9.5 MINITAB

Software de estadística usado para solventar procesamiento de datos ayudando a la organizaciones o empresas a predecir, visualizar y analizar, pronosticando factores y tendencias de las variables desde sus relaciones que permite procesar los datos adquiridos para determinar la cantidad de repeticiones del diseño de experimento en este caso rutas que se deben realizar mediante la cantidad de factores[122].

Tamaño muestral

El tamaño muestral es una función matemática primordial en los diseños de investigación que permite una expresión de relación entre las variables, como es la cantidad de datos para conocer los numero de observaciones a obtener o poder determinar un grupo de datos para el respectivo estudio para eso se debe lograr un equilibrio entre lo deseable y lo

factible. [123]

Prueba de normalidad de Kolmorov Smirnov

Esta prueba de normalidad es la más recomendada se basa en una comparación datos entre la distribución normal y la distribución teórica, el cual consiste en una prueba de hipótesis donde la nula afirma que los datos se sustentan a la distribución mientras que a la alterna no concuerda. Se basa el valor p el cual indica los datos analizados de una manera normal, se puede adaptar sobre un conjunto de datos para afirmar si la variable se distribuye normalmente. [123] , [124].

Pruebas no paramétricas Wilcoxon

Es una prueba no paramétrica que se utiliza para realizar la respectiva comparación del rango medio y determinar si la media de un conjunto de datos discrepa notablemente a un valor referencial, por lo cual no se necesita una distribución específica, se usa más bien el nivel ordinal de la variable dependiente para poder cotejar dos mediciones. [124].

OBSERVACIONES: El cronograma planteado al comienzo del trabajo de titulación no se cumplió a cabalidad por inconvenientes que se presentaron al momento de realizar la recopilación de los datos con el Vehículo Híbrido de la Universidad Politécnica Salesiana-Sede Guayaquil extendiendo todos los plazos fijados en el cronograma.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS

En este capítulo se detalla los resultados determinados en la presente investigación en función de los datos cuantitativos adquiridos. Mediante cálculos matemáticos desarrollados y el uso de software Minitab se estima diferentes modelos estadísticos tales como prueba de normalidad, y prueba no paramétrica de Wilcoxon en este caso debido por su distribución no normal que mantiene las observaciones. La finalidad del uso de métodos estadísticos es determinar el error porcentual y la inferencia de las curvas simuladas con respecto a las reales estimadas en el software Matlab Simulink con la metodología Hils.

4.1.1. Determinación de la ruta.

La selección de la ruta se la genero mediante criterios influyente por ser una vía de flujo constante y conexión interprovincial todo esto respaldado con datos estadísticos por la Autoridad de Tránsito Municipal (ATM). RUTA A: Av. Domingo Comín - Av. Pio Jaramillo Alvarado –Vía Perimetral - Vía a la costa; distancia 31.6km; tiempo 32 variante en función de la velocidad aplicada.

4.1.2. Tamaño de la muestra

Para determinar el tamaño de la muestra real del presente estudio, se realizó una prueba de ensayo el cual se obtuvo 4164 observaciones de velocidad, mediante el software Minitab se empleó el método estadístico descriptivo calculando la desviación estándar de la variable preliminar de observación en este caso la velocidad como se comprueba en la tabla XVI.

TABLA XVI

TAMAÑO DE LA MUESTRA	
Variable	Desviación estándar
Velocidad (m/s)	15,060

En este caso se calcula el tamaño de la muestra en la variable de velocidad debido que el torque en sus datos mantiene una proporción constante y la potencia es obtenida en función de esta variable por la velocidad. Posteriormente se procedió a calcular el tamaño de la muestra por estimación de la variable de estudio tabla XVII.

TABLA XVII

Variable	Observaciones (cantidad de muestra)
Velocidad (m/s)	20468

4.1.3. Diseño factorial.

Después de recabar los datos en un primer recorrido se determinó que la variable dependiente es la velocidad y la independiente el tiempo pero que existen factores externos los cuales pueden ser controlados, razón por la cual es un análisis de datos descriptivos ya que el modo de conducción varía en función de la persona, tratando de ajustar variables descriptas en la caracterización de ruta optando por un diseño de experimento factorial porque existen dos factores controlados por el conductor que son el sistema de calefacción con dos niveles y así mismo el sistema multimedia con dos niveles se determinó que se realizara 4 corridas o recorridos con su respectiva combinaciones descrita en la tabla XVIII .

Resumen del diseño

TABLA XVIII

DISEÑO FACTORIAL			
Factores:	2	Diseño de la base:	2; 4
Corridas:	4	Réplicas:	1
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0

La tabla XIX representa las combinaciones en función de una tabla de verdad 1 encendido y 0 apagado, determinando la combinación para el estudio a realizar.

TABLA XIX

COMBINACIONES		
Combinación	Sistema de calefacción	Sistema de multimedia
A	1	1
B	1	0
C	0	1
D	0	0

4.1.4. Adquisición de datos.

La adquisición de datos se realiza mediante OBD-II enviando datos a un ordenador para posteriormente ser procesados e ingresados al modelo Hils, extrayendo 2 variables de respuestas en función del tiempo siendo velocidad e inclinación de la calzada.

El proceso de adquisición de datos como se detalla anteriormente arrojó los resultados descritos en la tabla XX, estos datos trabajan en función del tamaño de la muestra y las combinaciones determinadas en el diseño factorial. En la toma 1 se realizó con el sistema de calefacción y multimedia encendidos (combinación A), este recorrido genera mayor gasto energético siendo seleccionado para el estudio realizado.

TABLA XX
ADQUISICIÓN DE DATOS

Combinación	Toma	Tamaño de la muestra (m/s)	Tiempo (s)
A	Toma 1	20754	2075
B	Toma 2	20754	2261
C	Toma 3	20754	2353,5
D	Toma 4	20754	2105

4.1.5. Dinámica del vehículo.

En esta sección se detalla en la tabla XXI datos resumidos de la dinámica del vehículo, velocidad del aire, gravedad del aire, temperatura, coeficiente a la rodadura, resistencia a la rodadura, coeficiente aerodinámico, relación de transmisión entre otras variables aplicadas en la metodología y simulación HiLS.

TABLA XXI
DINÁMICA DE VEHÍCULO

	Cálculo/valor
Peso bruto vehicular	1405 kg
Área frontal del vehículo	1.906m ²
Radio efectivo	309.631mm
Coficiente a la rodadura (fr).	0,80
Resistencia a la rodadura (Rd).	11015.2 N
Coficiente aerodinámico (Cx).	0.267

Aceleración(a).	2.296 m/s^2
Resistencia a la inercia (Ri).	3225.694 N
Relación de transmisión.	0.96
Densidad del aire (ρ_a).	1.184 kg/m^3
Gravedad (g)	9.80665 m/s^2
Temperatura (T)	25°C
Velocidad (V).	25 m/s
Pendiente (θ).	0°

4.1.6. Simulación.

El proceso de modelado del vehículo híbrido preestablecido por la UNECE mediante metodología HiLS diseñado en simulink-Matlab, su modelado de tren de **potencia serie** el cual se ajusta más a nuestras prestaciones debido a que el tren de potencia del vehículo es combinado serie-paralelo, dentro de este proceso se interviene varios parámetros determinados en función del modelo del vehículo teniendo como principal velocidad, tiempo e inclinación de la calzada.

Para determinar el consumo energético del vehículo se extrajo datos para ser procesados estimando curvas reales y simuladas de velocidad, torque y potencia del vehículo, como se detalló anteriormente estas presentan diferencias significativas y no siguen una distribución normal. Con los datos reales y simulados se realiza una comparación para determinar el error presente en cada zona de estudio. Para estimar el porcentaje de error de las muestras reales y simuladas se usa la formula siguiente;

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n 100|Real_i - Pronóstico_i|}{n \cdot Real_i}$$

La fórmula de error porcentual absoluto determina la variación que existe entre las curvas de lo simulación con respecto a la real de las variables de estudio velocidad, torque y potencia representados en la tabla XXII.

TABLA XXII

MAPE

Variables	MAPE
Velocidad (m/s)	6,76%
Torque (Nm)	5,84%
Potencia (Kw)	6,77%

4.1.6.1. Velocidad

La figura 57 representa el comportamiento de la velocidad tanto en la parte real como simulada, manteniendo un margen de error porcentual absoluto medio es de **6,76%** entre ambas curvas. Tomando 3 zonas de referencias donde se aprecia la mayor variación de velocidad entre las dos curvas.

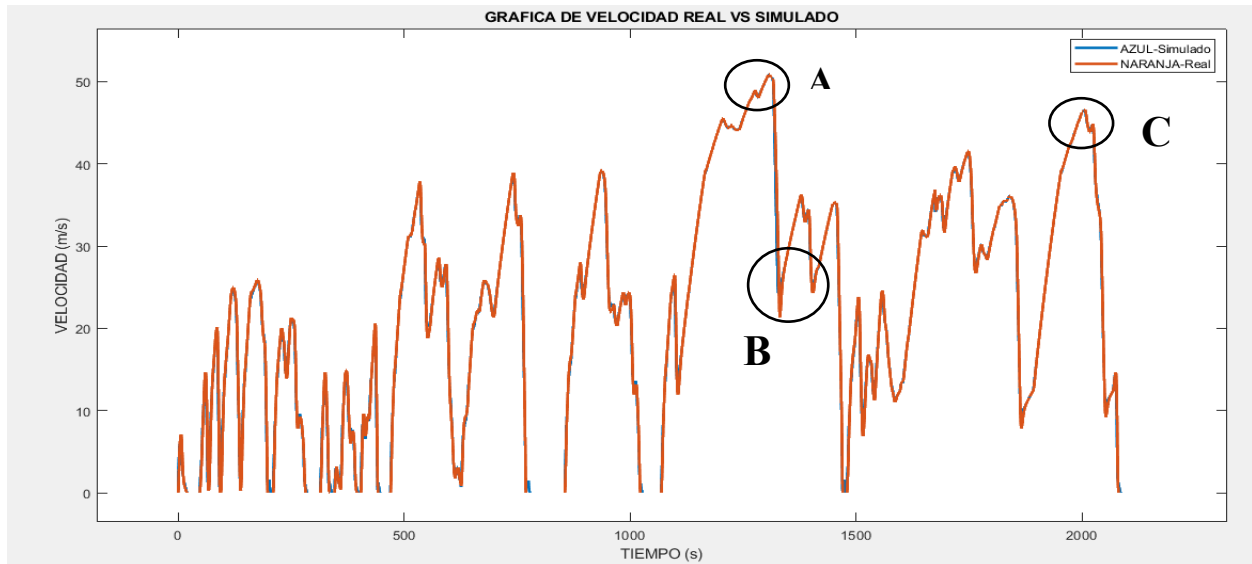


Fig. 57 Velocidad

Para poder observar con más detalles la zona **A** de mayor variación de velocidad se toma de referencias en el lapso 1255 segundos a 1320 segundos representada en la figura 58 presenta una variación entre el 46,5 m/s al 50,796 m/s en la curva real y la simulada de 46,5 m/s a 50,870 esta zona presenta un error porcentual absoluto medio de **0,29%**. La figura 59 de la zona **B** presenta un error porcentual absoluto medio es 2,52% de desde el intervalo de tiempo de 1320 segundos a 1430 segundos con velocidades de 20 m/s a 30 m/s, en esta zona se ve reflejado el mayor índice de error debido que abarca un intervalo de tiempo alto con respecto a las otras zonas.

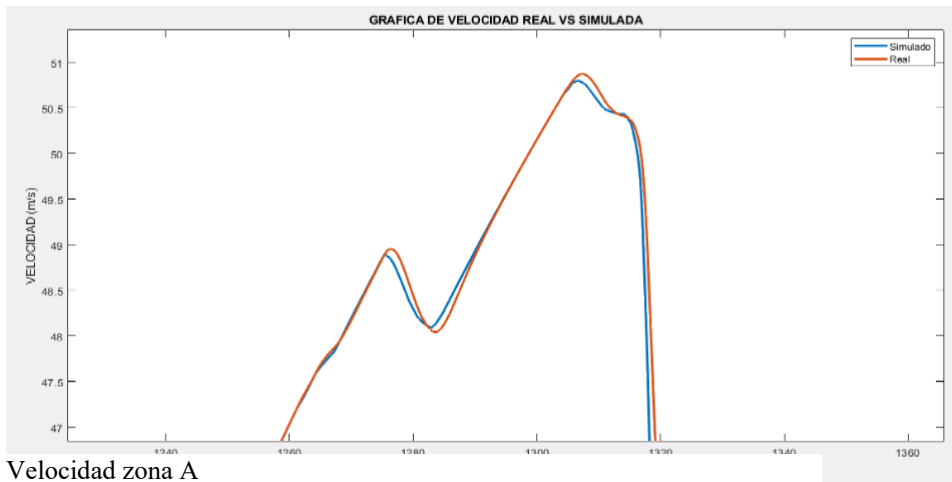


Fig. 58 Velocidad zona A

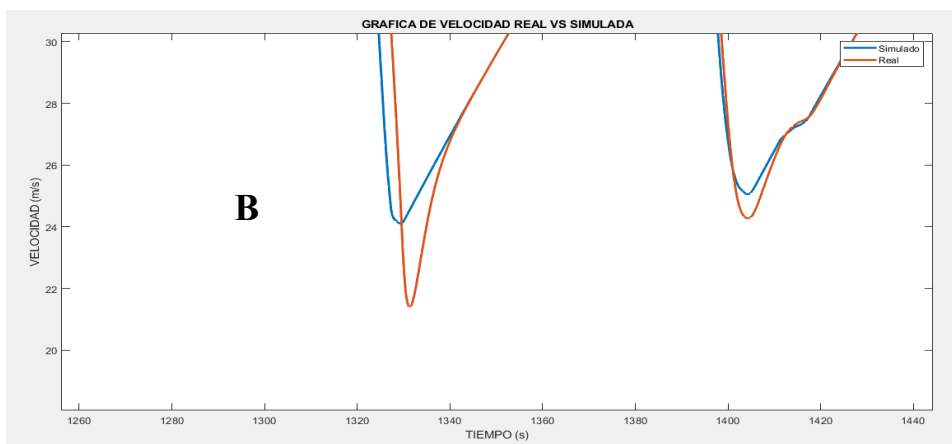


Fig. 59 Velocidad zona B

La figura 60 de la zona C el intervalo de tiempo va de 1960 segundos a 2030 segundos determinando un error porcentual absoluto medio de **0,28%**, en este caso las velocidades varían constante mente desde 19m/s a 30 m/s.

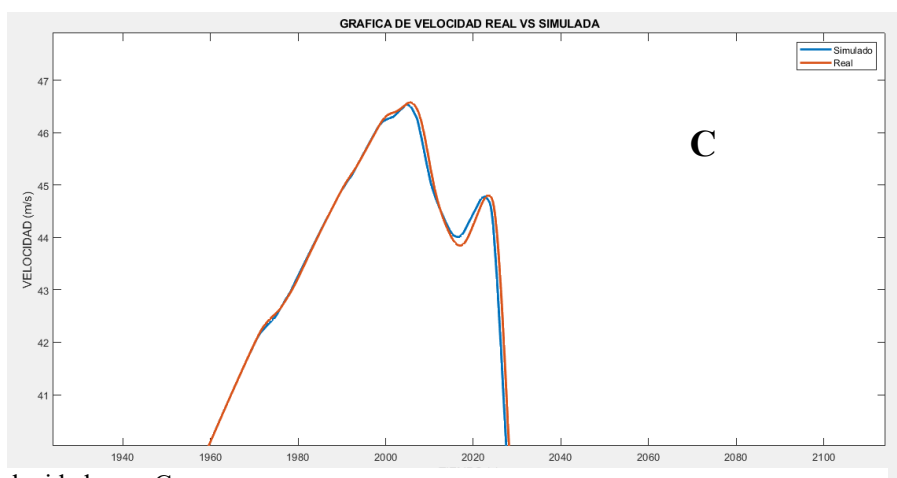


Fig. 60 Velocidad zona C

4.1.6.2. Torque.

El torque mediante la figura 61 se logra observar su comportamiento tanto de lo real y simulado, en este caso el torque real máximo alcanzado fue de 149,97 Nm y el simulado de

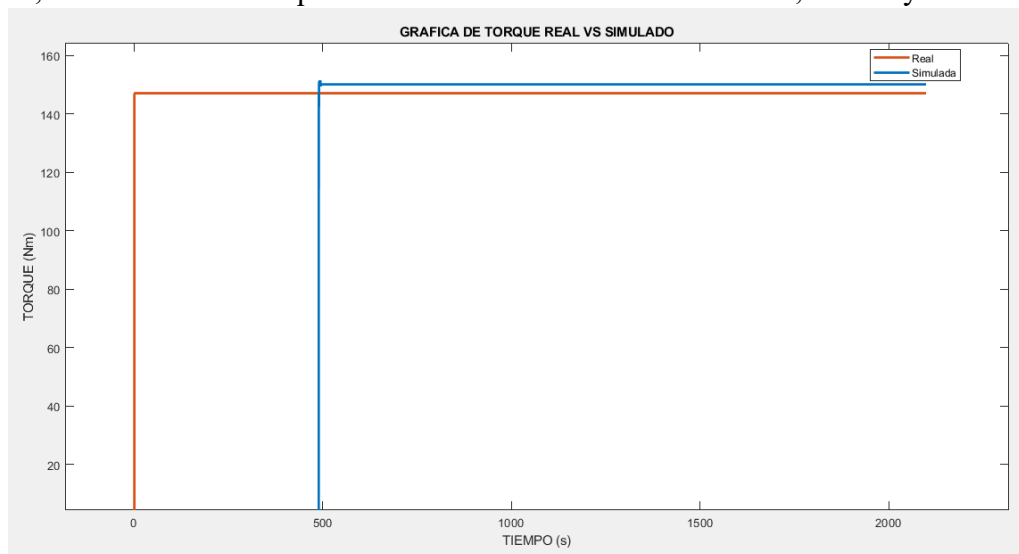


Fig. 61 Torque

151,54 Nm manteniendo a lo largo de su trayectoria un error porcentual absoluto medio de **5,84%**.

4.1.6.3. Potencia.

La potencia estimada se genera mediante el torque requerido y la velocidad angular, en la figura 62 se visualiza el comportamiento de las curvas tanto real y simuladas determinando zonas con notable variación las cuales mantienen un consumo energético elevado del recorrido realizado. El error porcentual absoluto medio es de 6,77% de todo el recorrido.

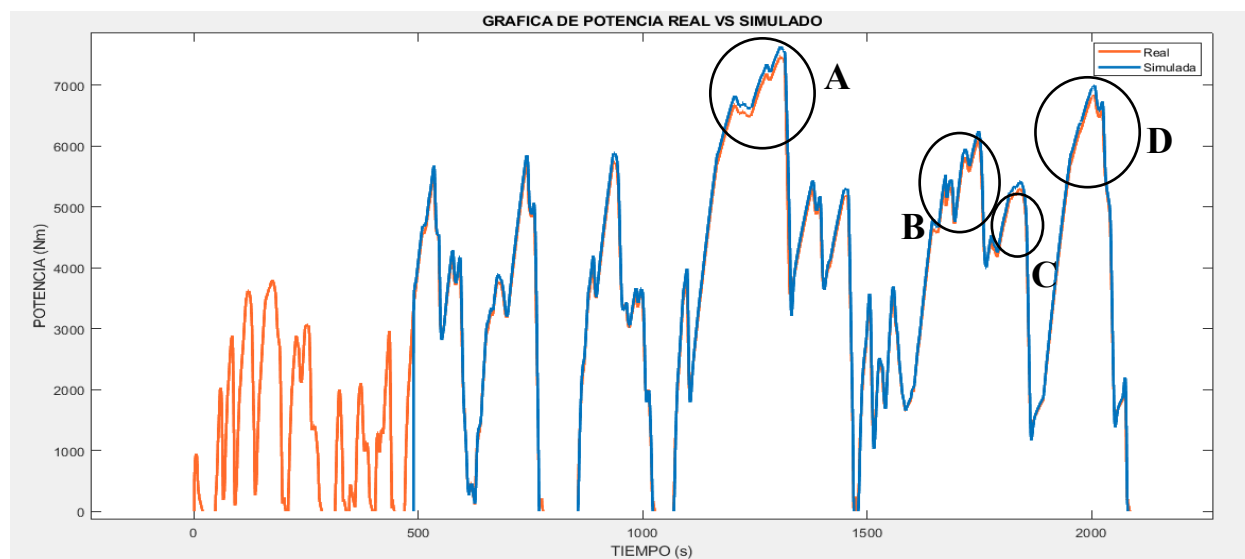


Fig. 62 Potencia

Zona A como se observa en la figura 63 la variación que existe entre las dos curvas con un margen de error porcentual absoluto medio 2,20% de en un lapso de 1650 segundos a 1760 segundos

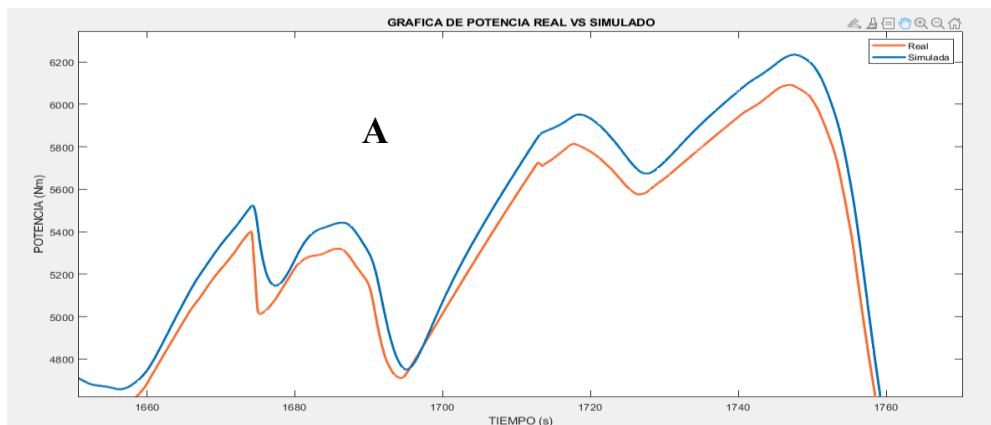


Fig. 63 Potencia zona A

En la **zona B** se estima un error porcentual absoluto medio de 2,67 en un lapso de 1180 segundos a 1325 segundos como se observa en la figura 64 la variación de las curvas que siguen un patrón, pero la curva de potencia simulada aumenta su consumo energético.

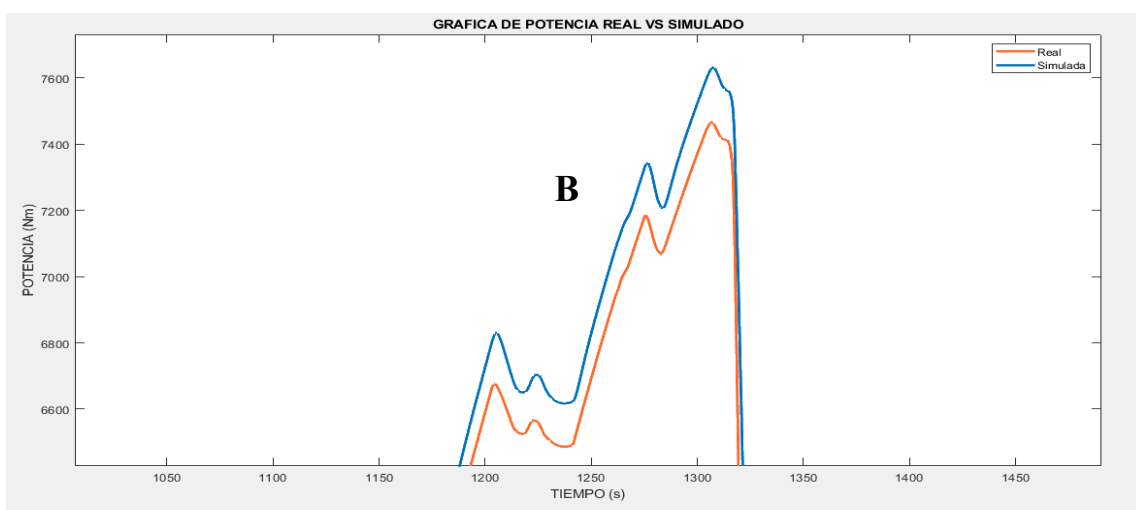


Fig. 64. Potencia zona B

En este caso la **zona C** la curva de potencia simulada realiza un mayor gasto energético debido al aumento del torque requerido, el error porcentual absoluto medio de 2,07 en un lapso de 1790 segundos a 1850 segundos representado en la figura 65.

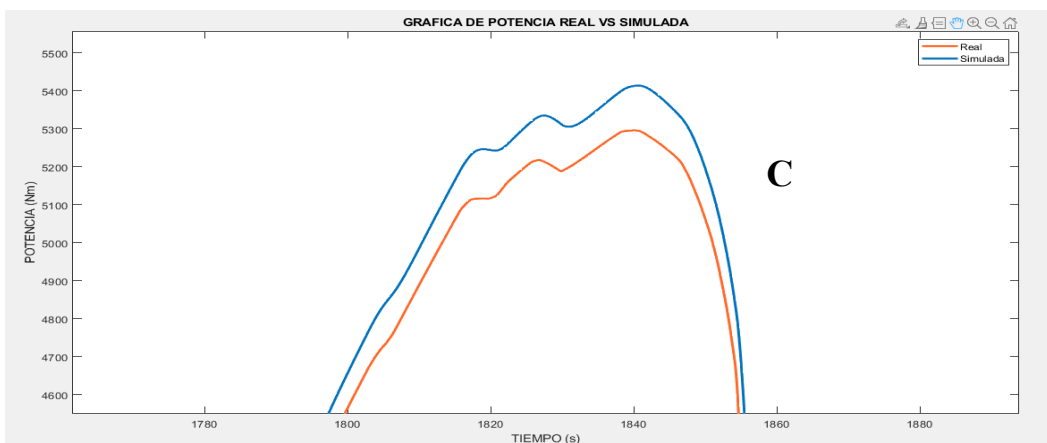


Fig. 65. Potencia zona C

Zona D mantiene un error porcentual absoluto medio de 2,13% en un lapso de 1940 segundos a 2040 segundos, pero se logra visualizar en la figura 66 que en una parte de la gráfica se interceptan las curvas, pero la curva simulada mantiene un mayor consumo energético.

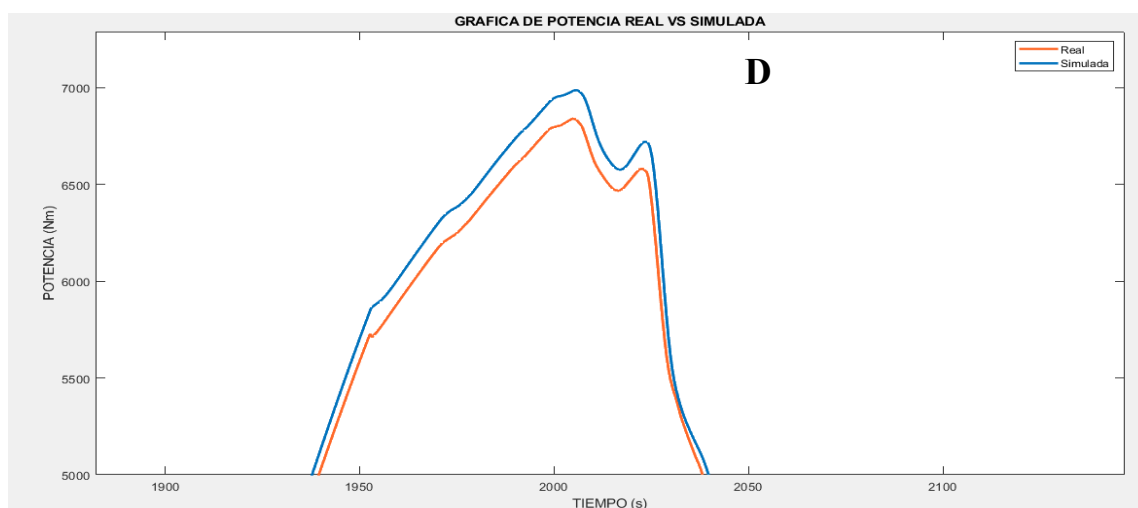


Fig. 66. Potencia zona D

4.1.7. Prueba de normalidad (Kolmogórov-Smirnov).

Esta prueba se realizó para determinar la distribución normal de las variables de datos muestrales, realizando pruebas de normalidad a las variables de respuestas con el método estadístico Kolmogórov-Smirnov debido que el tamaño de la muestra es superior a 50. La tabla XXIII se logra observar los resultados de normalidad que existe en las variables del procedimiento real, para aceptar la hipótesis nula debe cumplirse que el valor de p sea mayor a alfa 0,05 caso contrario se determina que la distribución no es normal. El valor de p es 0,010 de las variables siendo rechazada la hipótesis nula dando a entender que no cumplen con una distribución normal.

Real

TABLA XXIII
PRUEBA DE NORMALIDAD (KOLMOGÓROV-SMIRNOV).

Variables	Valor p	alfa
Velocidad (m/s)	<0,010	
Torque (Nm)	<0,010	0,05
Potencia (Kw)	<0,010	

Mediante la misma metodología de aplicación para determinar la distribución normal de las variables en el procedimiento real. Se determina que no sigue una distribución normal el procedimiento simulado como se observa en la tabla XXIV.

Simulada

TABLA XXIV
RESULTADO DE PRUEBA DE NORMALIDAD (KOLMOGÓROV-SMIRNOV).

Variables	Valor p	alfa
Velocidad (m/s)	<0,010	
Torque (Nm)	<0,010	0,05
Potencia (Kw)	<0,010	

Transformada de Johnson y Box Cox.

En este caso al realizar la transformada de Johnson y Box Cox para conseguir la distribución normal, el sistema determino que contiene datos demasiado pequeños lo que no permite la transformación.

4.1.8. Prueba no paramétrica Wilcoxon.

Se realizo esta prueba debido a la distribución de los datos que no es normal, con la finalidad de determinar si las medianas de estos datos difieren significativamente, utilizando el valor de referencia 0 de la mediana de la prueba. Para estimar el valor de p se tiene que sacar el valor de diferencia de lo simulado con respecto a lo real de cada variable siendo velocidad real menos la velocidad simulada de la misma manera se realiza el cálculo a las variables de torque y potencia.

Para estimar el valor de p mediante este método se expresa que la hipótesis nula es igual al nivel de significancia 0,05 de la mediana de las observaciones y la hipótesis alterna establece que es diferente de la mediana de 0,05.

En la tabla XXV se determina el valor de p mediante la prueba de Wilcoxon en este

caso el valor de p es 0 en todas las variables, estimando que existe diferencias significativas entre las muestras ya que el valor de alfa es 0,05 aceptando la hipótesis alterna.

TABLA XXV
RESULTADOS DE PRUEBA NO PARAMÉTRICA WILCOXON.

Variables	Valor p	alfa
Velocidad (m/s)	0	0,05
Torque (Nm)	0	
Potencia (Kw)	0	

4.1.9. Análisis de zonas de mayor consumo.

Una vez validado el modelo mediante metodología Hils se analiza el comportamiento de la potencia a lo largo del recorrido, donde podemos determinar zonas en la cual se evidencia un mayor consumo energético. Analizando el recorrido en estas zonas, el consumo energético generado se puede disminuir a través de la velocidad en función de la posición pedal de aceleración que demandaría menor velocidad de giro del motor requiriendo un mínimo de potencia.

Mediante la caracterización de ruta se establece que en el tramo 4 que parte desde Av. C. 48 South a lo largo de la vía perimetral hasta la intersección de la Av. del bombero que recorre una distancia de 5,5 km no contiene semaforizaciones permitiendo mantener la velocidad constante y el tramo 5 parte desde la intersección de la Av. del bombero hasta la Universidad Politécnica Salesiana Campus María Auxiliadora solo mantiene un intersección semaforizada siendo estos tramos de flujo vehicular continuo, efectuando un rango de velocidad constante para disminuir la potencia requerida en el vehículo. En la figura 67 se puede observar el comportamiento de potencia del vehículo y una mejora planteada en zonas estratégicas para determinar el ahorro de consumo energético que se desarrollaría en función de la velocidad.

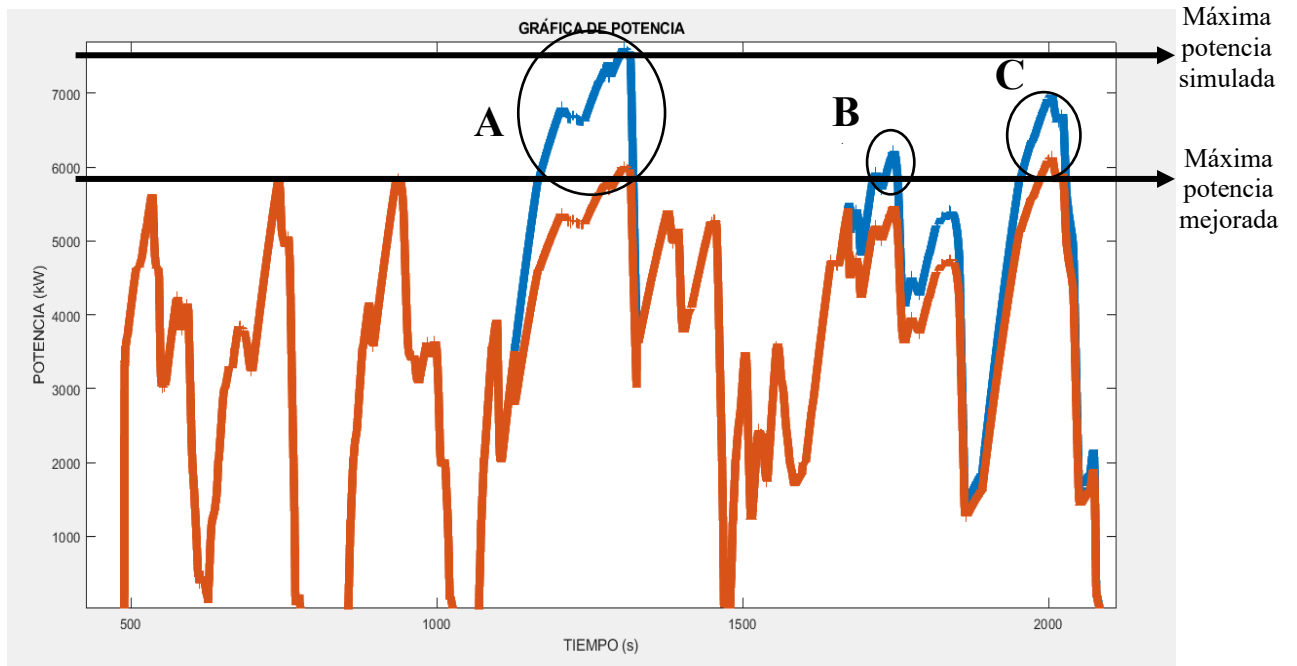


Fig. 67. Resultados de curva comparativa

4.1.10. Estrategia de mejora de consumo

La mejora del consumo energético que se puede realizar en esta ruta preestablecida es mediante el control de la velocidad en zonas específicas en este caso de estudio en la zona A, B y C.

Zona A

La figura 68 se observa la curva de potencia requerida en la **zona A**, datos obtenidos en el recorrido en el lapso de 1150 segundos a 1325 segundos, la potencia máxima requerida en esta zona fue de 7602,24kW ajustando a una mejora de 5966,48 kw con un rango de velocidad de 40,0718 m/s, estimando el 21% de ahorro de energía.

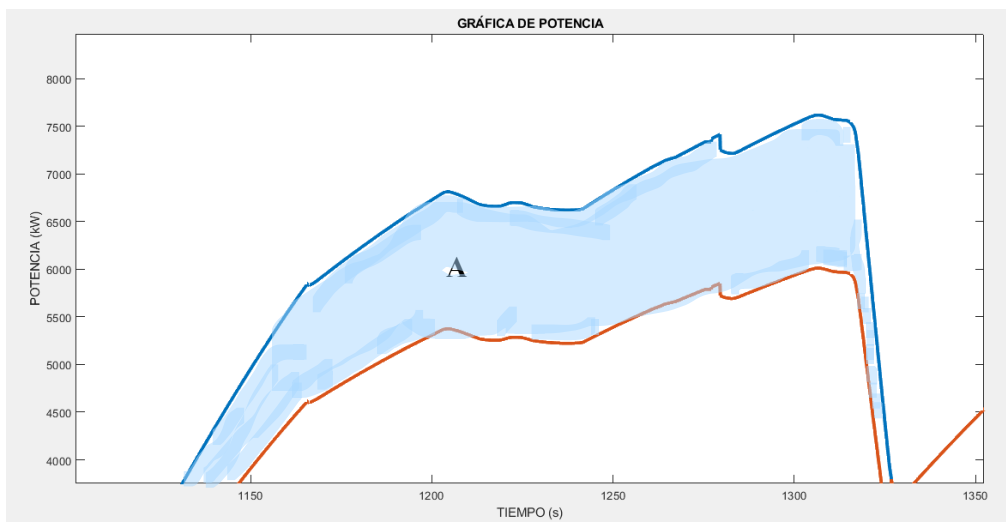


Fig. 68. Zona A

Zona B

La zona B mediante la figura 69 se realiza una mejora en función de la velocidad para obtener una potencia máxima mejorada de 5446,31kW en un intervalo de tiempo de 1080 segundos a 1780 segundos, con velocidad máxima de 36,4003 m/s, con un ahorro del 11% de energía.

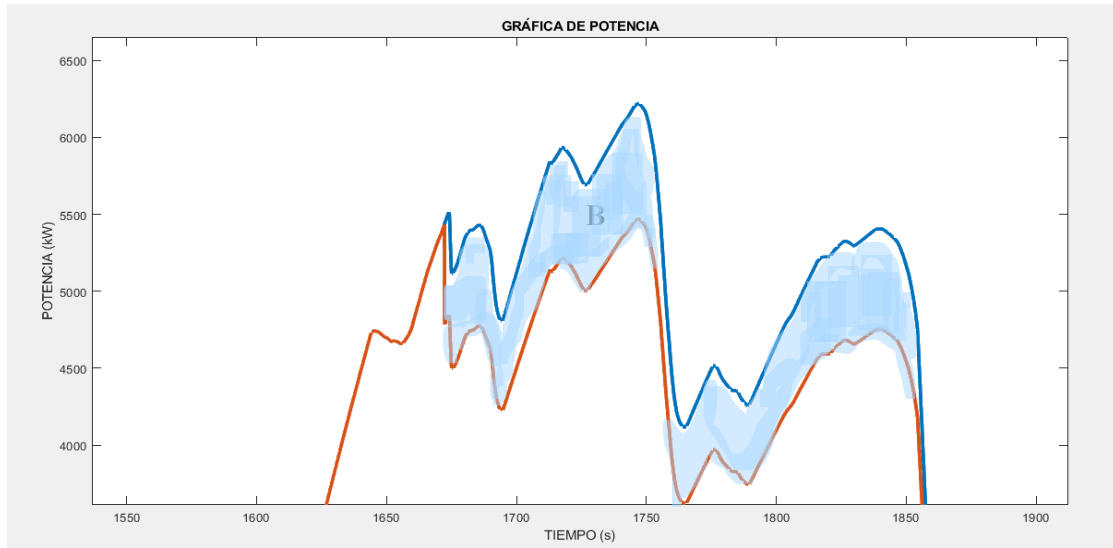


Fig. 69. Zona B

Zona C

La figura 70 representa la zona C del estudio la cual se obtuvo una potencia máxima 6089,45kW mejorada a partir de la velocidad ejercida para reducir el consumo de potencia en el recorrido en un tiempo de 1970 segundos a 2040 segundos en un rango de velocidad de 40,6189 m/s, obteniendo un ahorro energía hasta en un 12%.

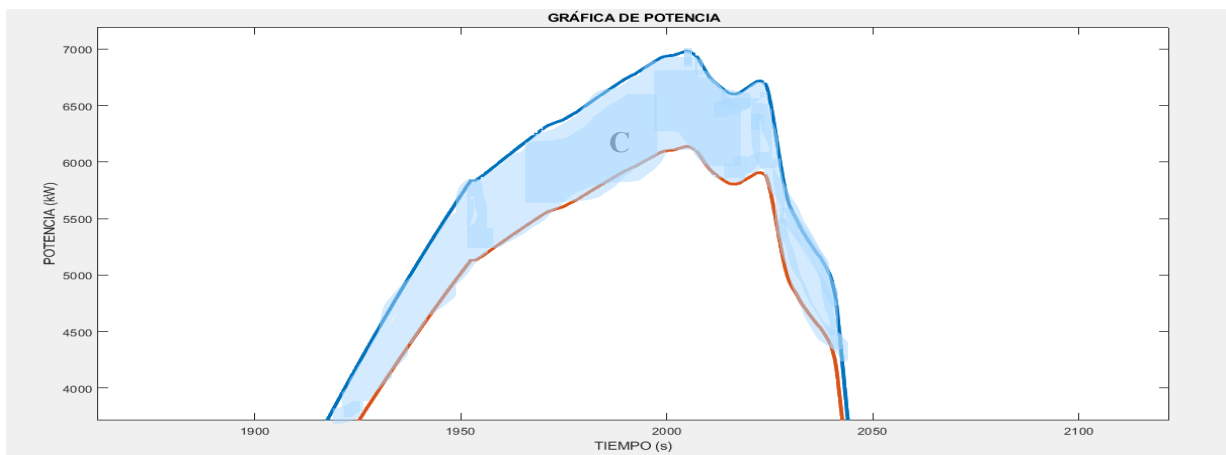


Fig. 70. Zona C

4.2. DISCUSIÓN

En la presente sección se representa los resultados obtenidos pruebas preestablecidos utilizando el modo de conducción EV y normal, con el fin de recopilar datos de la ECU del vehículo para determinar la potencia y torque desarrollado tanto en el proceso de simulación y real. Dentro de este proceso se determinó tres variables de suma importancia para el proceso de simulación, las variables son tiempo e inclinación de calzada como variable independiente, en este caso la velocidad es la variable dependiente. Estas variables para poder realizar el proceso de validación del modelado escogido del método Hils en serie debido que el tren de potencia del vehículo híbrido del cual se realizó en ruta es serie-paralelo conducido en un modo puramente eléctrico. En el proceso de validación del modelado se introdujo datos determinados a su vez calculados en función del vehículo y sus características.

El proceso de recopilación de datos de la ECU a través de su comunicación mediante el OBDWiz, estimando las variables tiempo velocidad e inclinación de la calzada, las cuales se usan para validar el modelado en método Hils analizando el tren de potencia del vehículo HEV.

La elaboración de las curvas de velocidad, torque y potencia mediante el software Matlab/Simulink permite visualizar el comportamiento de estas 3 variables obtenidas mediante el proceso de modelado y el módulo de la ECU del vehículo en un tiempo estimado de 21000 segundos, con lo consiguiente se analiza las gráficas respectivas considerando el error absoluto y su diferencia significativa en función de su la prueba de normalidad en las variables de respuesta del presente proyecto técnico.

Una vez validado el modelo y el análisis de la curva de potencia permite determinar un estilo de conducción mejorado con respecto al análisis de simulación, siendo la velocidad la variable de mayor relevancia para la reducción del consumo energético, en este caso se plantea que la velocidad máxima en la zona A sea de 40 m/s, en la zona B sea 36 m/s y en la zona C sea 40 m/s.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La configuración de tren de propulsión se valida en el modelado del tren de potencia en el software Matlab/Simulink propuesto por la UNECE mediante metodología Hils, el cual consta con una configuración del tren de potencia en serie-paralelo, dentro de la simulación se trabaja con un modelo en serie debido a que las pruebas de recorrido es puramente eléctrico, se define las variables de ingreso y salida fijas, permitiendo estimar la velocidad, torque y potencia máxima que se requiere en el recorrido. El tipo de configuración que se estableció es factible y eficiente para el desarrollo de las simulaciones con los vehículos híbridos.

- Mediante el desarrollo de análisis de los resultados estimados prácticos y simulados, juntamente con el error relativo, se ha determinado que existe un rango de error máximo de 10%, planteado por el nivel de confianza en los procesos estadísticos. Lo cual indica que existe una gran similitud entre lo real y lo simulado con un margen de error mínimo, por lo tanto, es competente y factible para realizar simulaciones.

- Por medio del análisis de zonas de mayor gasto energético en los ciclos de condición experimental y simulado, se estima un ahorro de energía hasta en un 15% de la potencia requerida en el recorrido. La reducción en la potencia máxima consumida se traduce directamente en un menor consumo energético de la batería y mayor autonomía. Acotando que en algunas zonas del recorrido no existe la posibilidad de disminuir la velocidad debido a la caracterización de la ruta por lo que se realizó el estudio en zonas que se encuentra en tramos que no mantienen tráfico denso.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para realizar la compilación de los datos del vehículo es recomendable desarrollar las respectivas verificaciones, configuración del software y el equipo a utilizar, así como también el correcto almacenamiento de los datos recopilados durante el recorrido para en su posterior manipulación.
- Al momento de generar la matriz de ingreso para el modelado el tiempo mantenerlo progresivamente y con 10 observaciones en 1 segundo para que cuando se realice la extracción de datos del modelado tengan la misma cantidad de observaciones la data generada por el OBD-II y la del simulador.
- Al realizar la respectiva simulación en el software Matlab/Simulink se recomienda verificar las configuraciones preestablecidas, componentes de la biblioteca como también las unidades de los datos recabados, para de esta manera evitar errores al momento de ejecutar la simulación.
- Para trabajar con modelos preestablecidos se debe tener en cuenta la programación efectuada ya que al momento de generar algún cambio de característica del programador puede generar error en la validación, manteniendo documentación de respaldo en estos casos.
- Para las futuras investigaciones se debe considera mejorar los protocolos y coordinación para realizar el respectivo pedido de equipos, herramientas entre otras disposiciones de los próximos tesis de la Universidad Politécnica Salesiana.

REFERENCIAS

- [1] J. J. Castro Mediavilla, L. X. Orbea Hinojosa, J. A. Toapaxi Csanoba, and C. A. Guano Calvache, “Análisis de incentivos y proyecciones del vehículo 100% eléctrico en el ecuador,” *INNOVA Research Journal*, vol. 2, no. 4, 2017, doi: 10.33890/innova.v2.n4.2017.243.
- [2] L. Gerardo *et al.*, “REVISIÓN DE LA NORMATIVA INTERNACIONAL SOBRE LÍMITES DE EMISIONES CONTAMINANTES DE VEHÍCULOS DE CARRETERA”.
- [3] “Gráfico: ¿Dónde en América Latina está el aire más contaminado? | Statista.” <https://es.statista.com/gráfico/18721/paises-y-ciudades-capitales-con-mayor-contaminacion-del-aire-en-latinoamerica/> (accessed May 31, 2023).
- [4] SGil, “Eficiencia energética en el transporte Autos eléctricos,” 2012.
- [5] Armijos Luis and Gomez Walter, *Análisis de consumo energético del vehículo eléctrico kia soul por la utilización del sistema de calefacción y audio en la ciudad de Cuenca*. HMIe, 2018.
- [6] P. A. Aburto Jarquín, “El planeta amenazado y amenazante por el cambio climático,” *Revista Humanismo y Cambio Social*, 2022, doi: 10.5377/hcs.v19i19.14126.
- [7] U. Department of Energy, “Energy Efficient Mobility Systems 2020 Annual Progress Report Vehicle Technologies Office,” 2020.
- [8] Constitución de la República del Ecuador, “Reglamento ley organica eficiencia energetica,” 2022.
- [9] “LEY DE GESTION AMBIENTAL, CODIFICACION”, Accessed: May 31, 2023. [Online]. Available: www.lexis.com.ec
- [10] Díaz Juan, “Eficiencia Energética de Vehículos Eléctricos en Ecuador,” 2018.
- [11] Benalcázar Sebastian and Fermín Pedro, “Ecuador apuesta al uso de vehículos eléctricos en instituciones públicas en el marco del cambio de matriz energética.” <https://www.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/blog/noticias/659-ecuador-apuesta-al-uso-de-vehiculos-electricos-en-instituciones-publicas-en-el-marco-del-cambio-de-matriz-energetica> (accessed May 31, 2023).
- [12] “Exportaciones de la UE de vehículos de motor - ACEA - Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles.” <https://www.acea.auto/figure/eu-exports-of-motor-vehicles/> (accessed May 28, 2023).
- [13] INEC, “Estadísticas de Trasportes-ESTRA,” 2021.
- [14] “AEADE – Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador,” 2022. <https://www.aeade.net/> (accessed Apr. 14, 2023).
- [15] Instituto de Investigación Geológico y Energético, “Balance Energético Nacional 2021,” 2021. [Online]. Available: www.rekursosyenergia.gob.ec
- [16] A. Ortega, “Disponibilidad de energías renovables,” 2022. <https://h2lac.org/paises/ecuador/> (accessed Apr. 12, 2023).
- [17] Banco Central del Ecuador, “Cifras del Sector Petrolero Ecuatoriano,” 2023. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cspe2023192.pdf> (accessed Apr. 11, 2023).
- [18] Sebastián Ángulo, “Autos híbridos: más atractivos en tiempos de gasolina cara,” 2022. <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/autos-hibridos-atractivos-tiempos-gasolina-cara-121327.html> (accessed Apr. 14, 2023).
- [19] AEDA, “Sector Automotor,” 2022.
- [20] ACEA, “MATRICULACIONES,” 2023. [Online]. Available: www.acea.auto
- [21] “El precio sugerido de gasolina Súper sube a USD 3,98 en marzo de 2022.” <https://www.primicias.ec/noticias/economia/petroecuador-gasolina-super-gasolineras->

- precios/ (accessed Jul. 04, 2023).
- [22] “Gobierno de Ecuador reduce el precio de los combustibles, los indígenas dicen que no es suficiente.” <https://www.france24.com/es/am%C3%A9rica-latina/20220627-gobierno-de-ecuador-redujo-el-precio-de-los-combustibles-pero-los-ind%C3%ADgenas-dicen-que-no-es-suficiente> (accessed Jun. 26, 2023).
- [23] R. Granda and R. Gabriel, “Estudio del Consumo de Combustible en Carretera de un Vehículo Híbrido en Modo de Manejo Económico y Deportivo,” 2022, Accessed: Jun. 26, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/5017>
- [24] J. Ros and Ó. Barrera, “Vehículos Eléctricos e Híbridos,” p. 224, 2017, Accessed: Mar. 26, 2023. [Online]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=3LwrDwAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- [25] Pablo Waliño, “Vehículos híbridos. Pasado, presente y futuro.,” 2020.
- [26] M. Weiss, A. Zerfass, and E. Helmers, “Fully electric and plug-in hybrid cars - An analysis of learning rates, user costs, and costs for mitigating CO₂ and air pollutant emissions,” *J Clean Prod*, vol. 212, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.12.019.
- [27] Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, “¿Cómo funciona un coche híbrido y cuáles son sus características?,” 2023. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/como-funciona-un-coche-hibrido-y-cuales-son-caracteriza/> (accessed Apr. 14, 2023).
- [28] D. Gregorio and C. Sancan, “Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna,” *INNOVA Research Journal*, vol. 2, no. 12, pp. 1–10, Dec. 2017, doi: 10.33890/innova.v2.n12.2017.527.
- [29] K. G. Høyer, “The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars,” *Util Policy*, vol. 16, no. 2, 2008, doi: 10.1016/j.jup.2007.11.001.
- [30] “Modelización del sistema propulsor de vehículos eléctricos con extensión de rango y enchufables. Índice”.
- [31] “REEV: Coche eléctrico de autonomía extendida | Ford ES.” <https://www.ford.es/experiencia-ford/noticias-ford/reev-coche-electrico-de-autonomia-extendida> (accessed May 25, 2023).
- [32] M. Cuello Andy, C. Vélez Mauricio, and M. Monar Willan, “Diseño del Sistema de Freno Regenerativo de Automóviles Híbridos Design of the Regenerative Braking System for Hybrid Cars,” 2016.
- [33] O. P. R. van Vliet, T. Kruithof, W. C. Turkenburg, and A. P. C. Faaij, “Techno-economic comparison of series hybrid, plug-in hybrid, fuel cell and regular cars,” *J Power Sources*, vol. 195, no. 19, 2010, doi: 10.1016/j.jpowsour.2010.04.077.
- [34] Ángel García, “Desarrollo de un modelo de tren propulsor electrico basado en baterias, ultracondensadores y pila de combustible,” 2016.
- [35] D. Hervás, C. Tutor, and D. Ignacio Jesús Pérez Guerrero, “VEHÍCULO HÍBRIDO. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA. GESTIÓN DE LA ENERGÍA Y ESTRATEGIAS DE LA TRANSMISIÓN HIBRIDA VEHÍCULO HÍBRIDO. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA. GESTIÓN DE LA Trabajo Fin de Máster,” 2017.
- [36] C. C. Chan, “The state of the art of electric and hybrid vehicles,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 90, no. 2, 2002, doi: 10.1109/5.989873.
- [37] A.: Luis *et al.*, “Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria THE CHANGE OF THE ENERGY MATRIX IN ECUADOR AND ITS INCIDENCE IN THE SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE POPULATION,” p. 29, 2017.
- [38] M. G. Carignano, “Optimización Energética de Vehículos Eléctricos Híbridos,” 2018.

- [39]“El vehículo eléctrico: elementos principales y funcionamiento | SIMON.” <https://www.simonelectric.com/blog/el-vehiculo-electrico-elementos-principales-y-funcionamiento> (accessed Jun. 26, 2023).
- [40]G. Mejía Cisneros, E. Ordoñez Casanova, H. A. Trejo Mandujano, G. Mejía Cisneros, E. Ordoñez Casanova, and H. A. Trejo Mandujano, “Tecnologías en los sistemas de propulsión híbridos: revisión de literatura,” *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, vol. 12, no. 23, Nov. 2021, doi: 10.23913/RIDE.V12I23.1078.
- [41]G. C. Capellan, “Trabajo final de máster Caracterización del tren de potencia de un vehículo eléctrico de categoría L7 tipo Smart MEMORIA Autor: Escola Tècnica Superior d’Enginyeria Industrial de Barcelona.”
- [42]ORBIS, “Manual de introducción para la recarga de vehículos eléctricos,” *Energía inteligente*, 2018.
- [43]M. Lafoz, P. Concha, G. Navarro, M. Blanco, and C. Rodríguez, “Utilización del frenado regenerativo de trenes suburbanos para la recarga rápida de automóviles eléctricos en corriente continua,” *VERTICES- CIEMAT*, vol. 21, 2014.
- [44]J. Ros and Ó. Doblado, “Vehículos Eléctricos e Híbridos,” p. 224, 2017, Accessed: Apr. 19, 2023. [Online]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=3LwrDwAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- [45]K. T. Chau and C. C. Chan, “Emerging energy-efficient technologies for hybrid electric vehicles,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 95, no. 4, 2007, doi: 10.1109/JPROC.2006.890114.
- [46]S. Ou, D. Gohlke, and Z. Lin, “Quantifying the impacts of micro- and mild- hybrid vehicle technologies on fleetwide fuel economy and electrification,” *eTransportation*, vol. 4, p. 100058, May 2020, doi: 10.1016/J.ETTRAN.2020.100058.
- [47]J. Axsen and K. S. Kurani, “Hybrid, plug-in hybrid, or electric—What do car buyers want?” *Energy Policy*, vol. 61, pp. 532–543, Oct. 2013, doi: 10.1016/J.ENPOL.2013.05.122.
- [48]E. A. Nanaki, “Electric vehicles,” *Electric Vehicles for Smart Cities*, pp. 13–49, Jan. 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-815801-2.00006-X.
- [49]P. García, L. M. Fernández, J. P. Torreglosa, and F. Jurado, “Control Difuso de un Tranvía Híbrido Propulsado por Pila de Combustible, Batería y Supercondensador,” *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, vol. 9, no. 2, pp. 162–169, Apr. 2012, doi: 10.1016/J.RIAI.2012.02.008.
- [50]J. Saavedra, “Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular,” *Shapu Giho/Sharp Technical Journal*, no. 92, 2014.
- [51]A. Emadi and F. Berthold, *Advanced electric drive vehicles*. Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.routledge.com/Advanced-Electric-Drive-Vehicles/Emadi/p/book/9781138072855>
- [52]D. Gregorio and C. Sancan, “Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna,” *INNOVA Research Journal*, ISSN-e 2477-9024, Vol. 2, N^o. 12, 2017, págs. 1-10, vol. 2, no. 12, pp. 1–10, 2017, Accessed: Jun. 26, 2023. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6236355&info=resumen&idioma=EN>
- [53]M. Yolanda, R. Morales, and A. H. Guzmán, “CARACTERIZACIÓN DE UN MOTOR

DE COMBUSTIÓN INTERNA CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE”.

- [54] J. B. Parra Cárdenas and W. S. Cacuango Tuquerrez, “Estudio de reducción de consumo de combustible y emisiones contaminantes de un motor de 250cc de 4 tiempos con sistema de alimentación a carburador vs un sistema de inyección adaptado,” 2022, Accessed: Jun. 26, 2023. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23444>
- [55] R. Aláez Aller, “Del motor de combustión interna al vehículo eléctrico: cuatro alternativas técnicas,” *Economía industrial*, no. 377, 2010.
- [56] S. Ruan, Y. Ma, N. Yang, C. Xiang, and X. Li, “Real-time energy-saving control for HEVs in car-following scenario with a double explicit MPC approach,” *Energy*, vol. 247, 2022, doi: 10.1016/j.energy.2022.123265.
- [57] “Evaluación de la huella de carbono de vehículos con motor eléctrico y de combustión interna según la matriz energética de Ecuador: Caso de estudio KIA Soul vs KIA Soul EV.,” *NOVASINERGIA REVISTA DIGITAL DE CIENCIA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA*, vol. 5, no. 2, pp. 58–75, Jul. 2022, doi: 10.37135/NS.01.10.04.
- [58] D. G. P. Darquea, “Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales,” *INNOVA Research Journal*, vol. 3, no. 3, pp. 23–34, Mar. 2018, doi: 10.33890/innova.v3.n3.2018.635.
- [59] “Mientras el transporte público sea deficiente, el parque automotor seguirá engordando | Gestión.” <https://revistagestion.ec/sociedad-analisis/mientras-el-transporte-publico-sea-deficiente-el-parque-automotor-seguira> (accessed Jun. 26, 2023).
- [60] D. G. P. Darquea, “Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales,” *INNOVA Research Journal*, vol. 3, no. 3, pp. 23–34, Mar. 2018, doi: 10.33890/innova.v3.n3.2018.635.
- [61] Coba Gabriela, “Las ventas de vehículos híbridos y eléctricos crecen casi 300%.” <https://www.primicias.ec/noticias/economia/ventas-vehiculos-hibridos-electricos-ecuador/> (accessed Jun. 26, 2023).
- [62] “Petróleo y Desarrollo Sostenible en Ecuador”, Accessed: Jun. 26, 2023. [Online]. Available: www.ildis.org.ec
- [63] “Las ventas de vehículos híbridos y eléctricos crecen casi 300%.” <https://www.primicias.ec/noticias/economia/ventas-vehiculos-hibridos-electricos-ecuador/> (accessed Jul. 05, 2023).
- [64] Malla Juan and Samaniego Francisco, “Desarrollo de un protocolo de pruebas de funcionamiento para el vehículo fórmula SAE eléctrico 2017,” 2017.
- [65] L. Sánchez, M. Molano, M. Fabela, and J. Hernández, “Revisión documental del protocolo CAN como herramienta de comunicación y aplicación en vehículos,” *Instituto Mexicano del Transporte*, vol. 474, no. 474, 2016.
- [66] A. Rodríguez, J. R. Vento Álvarez, and R. Inouye Rodríguez, “Implementation of an OBD-II diagnostics tool over CAN-BUS with Arduino,” *Sistemas y Telemática*, vol. 16, no. 45, Apr. 2018, doi: 10.18046/syt.v16i45.2747.
- [67] E. De Ingeniería, A. De, L. A. Espoch, " Tyron, and M. L. Zhang, “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ "CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESCÁNER AUTOMOTRIZ PARA PROTOCOLOS OBDII PARA LA Previa a la obtención del Título de: INGENIERO AUTOMOTRIZ”.
- [68] Daniel Abelardo Gárate Montalvo, “DESARROLLO DE UN ALGORITMO PARA LA ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE DIAGNÓSTICO A BORDO OBD II,” 2018.
- [69] Pág, “Diseño e implementación de un sistema OBD-Radar para automóviles”.
- [70] A. Angulo, A. Galindo, R. Avendaño, and C. Perez, “I. Actividades de la CEPE y sus

- órganos subsidiarios 1.,” *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, pp. 1–60, 2010.
- [71] “Search results for hils | UNECE.” https://unece.org/search_content_unece?keyword=hils (accessed Jul. 10, 2023).
- [72] K. Morita *et al.*, “Development of a HILS method for testing heavy-duty HEVs,” in *22nd International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exposition, EVS 2006*, 2006.
- [73] K. Morita *et al.*, “Development of a fuel economy and exhaust emissions test method with hils for heavy-duty hevs,” *SAE Int J Engines*, vol. 1, no. 1, 2009, doi: 10.4271/2008-01-1318.
- [74] J. Fredriksson and G. Silberholz, “HILS model library toolbox Component model structures and component model for HDH Hardware-in-the-loop simulation HILS model library toolbox,” 2013.
- [75] R. González-Oropeza, “Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte,” 2005.
- [76] C. Zaragoza, “Nuevos Ciclos de Conducción para Homologar Emisiones Contaminantes,” *Revista Centro Zaragoza*, p. 5, 2018, [Online]. Available: <https://revistacentrozaragoza.com/nuevos-ciclos-de-conduccion-para-homologar-emisiones-contaminantes/>
- [77] “Perfiles de velocidad WLTP y NEDC y características básicas (Alessandro... | Descargar Diagrama Científico.” https://www.researchgate.net/figure/WLTP-and-NEDC-speed-profiles-and-basic-characteristics-Alessandro-Marotta-et-al-2015_fig1_317420498 (accessed May 25, 2023).
- [78] “Ciclo de homologación WLTP.” <https://www.mitsubishi-motors.mx/company/wltp> (accessed Jul. 03, 2023).
- [79] I. Montero Piñar, I. Hernández-Aguado, and I. Ruiz Pérez, “Métodos estadísticos.,” *Medicina Clínica*, vol. 104, no. 10. 1995. doi: 10.15381/anales.v28i3.9646.
- [80] P. Faraldo and B. Pateiro, “Estadística y metodología de la investigación Tema 1. Estadística Descriptiva”.
- [81] H. Gutiérrez Pulido and R. de la Vara Salazar, “Análisis y diseño de experimentos”, Accessed: Aug. 11, 2023. [Online]. Available: www.FreeLibros.org
- [82] “Modelo de diseños factoriales y diseños 2 k”.
- [83] Benitez Celia, Pece Marta, and Galindez Margarita, “ANÁLISIS DE LA VARIANCI EN EXPERIMENTOS FACTORIALES Serie Didáctica Nro. 21”.
- [84] “Revisión general de Correlación”.
- [85] TOYOTA, “ficha-tecnica-toyota-corolla-2022”.
- [86] “Modos de conducción de los coches híbridos Toyota.” <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/modos-conduccion-coches-hibridos-toyota-eco-ev-sport> (accessed Jul. 05, 2023).
- [87] “Modos de Conducción del Vehículo Eléctrico - Hyundai.” <https://www.hyundai.com/canarias/es/blog/modos-conduccion-coche-electrico/> (accessed Jul. 05, 2023).
- [88] “Sistema ECO Hyundai: qué es, ventajas y cómo usarlo.” <https://www.hyundai.com/es/zonaeco/eco-drive/conduccion/sistema-eco-hyundai> (accessed Jul. 05, 2023).
- [89] “Modos de conducción de los coches híbridos Toyota.” <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/modos-conduccion-coches-hibridos-toyota-eco-ev-sport> (accessed Jul. 05, 2023).
- [90] García Cristhian, “Microsimulación de tráfico en el sector de Pedro Menéndez y Carlos

Plaza Dañin,” 2022.

- [91]González Kevin and Pesantes Darío, “Adquisición y caracterización de datos del vehículo blue drive del laboratorio de movilidad sostenible de la carrera de ingeniería automotriz de la universidad politécnica salesiana-sede guayaquil,” 2022.
- [92]“Estudio conjunto de la Oficina Internacional del Trabajo y la Secretaría de la Organización Mundial del Comercio”.
- [93]“AGENCIA DE TRÁNSITO MUNICIPAL – Alcaldía Ciudadana de Guayaquil.” <https://www.guayaquil.gob.ec/agencia-de-transito-municipal/> (accessed Jun. 23, 2023).
- [94]Berrones Baque Marcos Alejandro and Parrales Anchundia Carlos Andres, “Evaluación de los niveles de ruido en los sectores adyacentes de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil Campus Centenario y Campus María Auxiliadora provocado por el tráfico vehicular, mediante el uso de instrumentos de medición y comparación con los límites máximos permisibles,” 2022.
- [95]S. N. Narayanan, S. Mittal, and A. Joshi, “Using Data Analytics to Detect Anomalous States in Vehicles,” Dec. 2015, Accessed: Jun. 26, 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1512.08048v1>
- [96]“Vista de Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo Remoto del Motor de un Vehículo basado en Obd-II y la plataforma Arduino.” https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/573/pdf (accessed Jul. 05, 2023).
- [97]“OBDLink® MX+ - Outstanding Bluetooth-Compatible OBD II Scan Tool.” <https://www.obdlink.com/products/obdlink-mxp/> (accessed Jun. 26, 2023).
- [98]H. Lee and K. Lee, “Comparative Evaluation of the Effect of Vehicle Parameters on Fuel Consumption under NEDC and WLTP”, doi: 10.3390/en13164245.
- [99]“Mind the Gap! Why official car fuel economy figures don’t match up to reality,” 2013.
- [100] S.
Vial, “Riesgos Prevención de riesgos laborales”.
- [101] “Análisis del flujo vehicular Generalidades”.
- [102] “Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo.” https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432016000200223 (accessed Jul. 03, 2023).
- [103] “Vista de Conducción ecológica: evaluación de los parámetros operacionales del Motor de Encendido Provocado (MEP) en una ruta mixta de la ciudad de Quito.” <https://incyt.upse.edu.ec/ciencia/revistas/index.php/rctu/article/view/552/490> (accessed Jul. 03, 2023).
- [104] “Checklist / Listas de chequeo: ¿Qué es un checklist y cómo usarlo? – PDCA Home.” <https://www.pdcahome.com/check-list/> (accessed Jul. 03, 2023).
- [105] “Checklist de documentación que debe llevar tu flota de camiones - Andamur.” <https://www.andamur.com/documentacion-que-debe-llevar-tu-flota-de-camiones/> (accessed Jul. 03, 2023).

- [106] Caguana Maria and Jara Javier, “Modelado del tren de potencia de un vehículo eléctrico mediante la herramienta driveline/simscape para el análisis de desempeño en la ciudad de Cuenca,” 2022.
- [107] Calipasa Ivan and García Stalin, “Análisis económico del consumo energético de un vehículo híbrido al movilizarse dentro del distrito metropolitano de Quito,” 2022.
- [108] Corral Serafín and Quintero María, “La Metodología Multicriterial y los Métodos de Valoración de Impactos Ambientales,” 2006.
- [109] O. A. Salazar Sabas and E. Betanzo Quezada, “Determinación de ciclos de conducción de camiones y emisiones contaminantes,” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 39, pp. 105–115, Mar. 2023, doi: 10.20937/RICA.54386.
- [110] “Heavy Duty Hybrids (HDH) - Transport - Vehicle Regulations - UNECE Wiki.” <https://wiki.unece.org/pages/viewpage.action?pageId=2523163> (accessed Jul. 07, 2023).
- [111] “HDH General Files - Transport - Vehicle Regulations - UNECE Wiki.” <https://wiki.unece.org/display/trans/HDH+General+Files> (accessed Jul. 31, 2023).
- [112] García Bago Ángel María, “DESARROLLO DE UN MODELO DE TREN PROPULSOR ELÉCTRICO BASADO EN BATERÍAS, ULTRACONDENSADORES Y PILA DE COMBUSTIBLE,” 2016.
- [113] K. Morita *et al.*, “Development of a fuel economy and exhaust emissions test method with hils for heavy-duty hevs,” *SAE Int J Engines*, vol. 1, no. 1, 2009, doi: 10.4271/2008-01-1318.
- [114] “¿Qué es el control PID? - MATLAB & Simulink.” <https://la.mathworks.com/discovery/pid-control.html> (accessed Jul. 07, 2023).
- [115] “Vista de Influencia de la densidad del aire en el consumo de combustible en vehículos livianos | Novasinerгия, ISSN 2631-2654.” <https://novasinerгия.unach.edu.ec/index.php/novasinerгия/article/view/290/260> (accessed Jul. 22, 2023).
- [116] J. Oswaldo and C. Aguirre, “La gravedad: fuerza, geometría e ilusión,” 2017.
- [117] G. N. Curtosi, P. N. Zitelli, and T. Arechaga, “CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA RODADURA DE NEUMÁTICOS MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS

- FINITOS,” 2008. [Online]. Available: <http://www.fate.com.ar://www.amcaonline.org.ar>
- [118] P. A. Tipler, Gene. Mosca, and A. Bramón Planas, “Física para la ciencia y la tecnología,” p. 600, 2003.
- [119] Calis pa Procel Ivan and García Suárez Stalin, “ANÁLISIS ECONÓMICO DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO AL MOVILIZARSE DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO,” 2022.
- [120] Dipl. -I. Benedikt Jäger and M. Lienkamp, “Smartphone-based Energy Consumption Simulation for Electric Vehicles”.
- [121] “Simulación y diseño basado en modelos con Simulink - MATLAB.” <https://la.mathworks.com/products/simulink.html> (accessed Aug. 11, 2023).
- [122] “Herramientas estadísticas, de análisis de datos y de mejora de procesos | Minitab.” <https://www.minitab.com/es-mx/> (accessed Aug. 11, 2023).

ANEXOS

Anexo 1 Caracterización de ruta Tramo 1.

Tramo	Inicio	Fin	Recorrido (Km)	Tiempo estimado (min)	Velocidad máxima (km/h)
1	AVENIDA 12 SE - GRAL. FRANCISCO ROBLES 304-308	Av. Domingo Comín	2.4 km	5 min	40 km/h
Descripción de la red vial básica					
Sentido			SURESTE-SUROESTE		
Características geométricas					
Número de carriles	Ancho de Vía	Direccionalidad	Señalización		
2	3.5 m	Una vía	Estándar		
Semaforización	14	No semaforizadas	14		
Capacidad promedio	60.000	T	10		
Nº de intersecciones	28	Cruz	0		
Nodos con viario principal	5	Rotonda	2		
Nodos con viario local	23	Distribuidor	3		
Tramos homogéneos	No	Otros	13		
Especificaciones técnicas	1683 Intensidad veh/h/c 2 carriles	Parámetros de selección de ruta	Límite de velocidad permitida (vías rápidas)		
	Ancho de carril 3.65 m				
	Plataforma de acera con un mínimo de 0.5 m libres		Congestión vehicular		
	Infraestructura para transporte público				

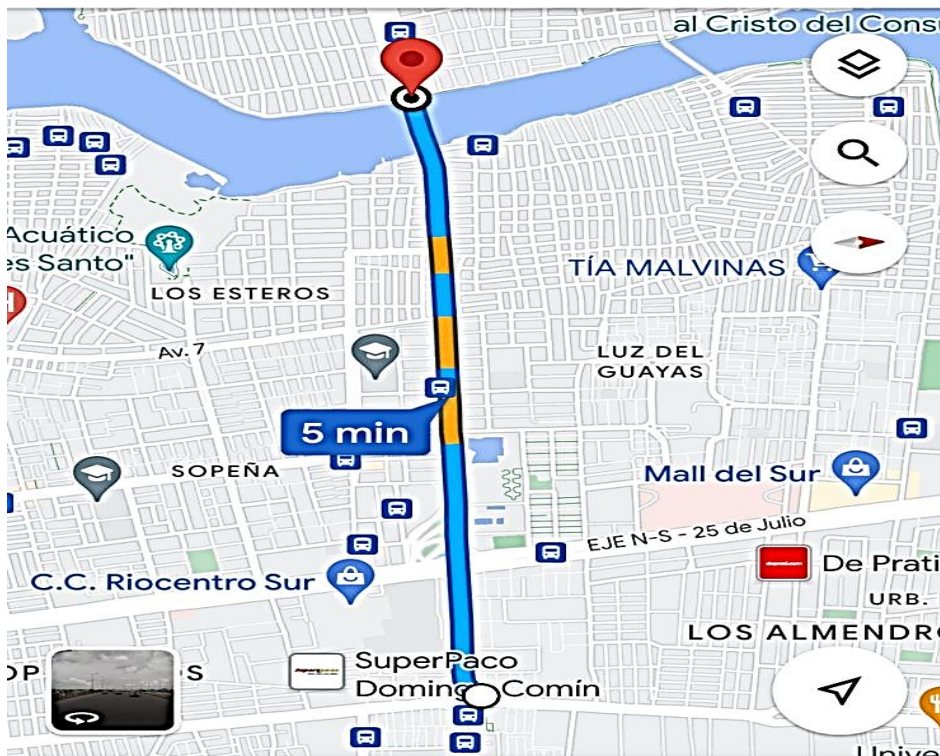
Anexo 2 Tramo 1



Anexo 3 Caracterización de ruta Tramo 2.

Tramo	Inicio	Fin	Recorrido (Km)	Tiempo estimado (min)	Velocidad máxima (km/h)
2	Av. Domingo Comín	Av. Pio Jaramill o Alvarad o	2.5 km	5 min	40 km/h
Descripción de la red vial básica					
Sentido			SURESTE-SUROESTE		
Características geométricas					
Número de carriles	Ancho de Vía	Direccionalidad	Señalización		
3	3.5 m	Una vía	Estándar		
Semaforización	3	No semaforizadas	14		
Capacidad promedio	60.000	T	13		
Ni de intersecciones	17	Cruz	0		
Nodos con viario principal	3	Rotonda	0		
Nodos con viario local	14	Distribuidor	1		
Tramos homogéneos	No	Otros	3		
Especificaciones técnicas	2054 Intensidad veh/h/c 2 carriles	Parámetros de selección de ruta	Límite de velocidad permitida (vías rápidas)		
	Ancho de carril 3.5 m				
	Plataforma de acera con un mínimo de 0.5 m libres		Congestión vehicular		
	Infraestructura para transporte publico				
No Infraestructura para ciclistas.					

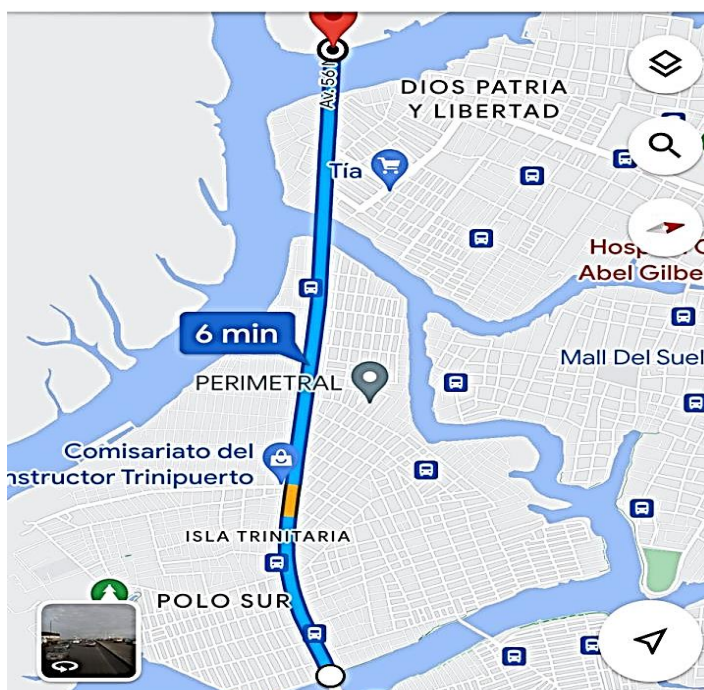
Anexo 4 Tramo 2



Anexo 5 Caracterización de ruta Tramo 3.

Tramo	Inicio	Fin	Recorrido (Km)	Tiempo estimado (min)	Velocidad máxima (km/h)
3	Av. Pio Jaramillo Alvarado	C. 48 South.	4 km	6 min	90 km/h
Descripción de la red vial básica					
Sentido			SURESTE-SUROESTE		
Características geométricas					
Número de carriles	Ancho de Vía	Direccionalidad	Señalización		
3	3.5 m	Una vía	Estándar		
Semaforización	2	No semaforizadas	7		
Capacidad promedio	99.840	T	0		
Ni de intersecciones	9	Cruz	0		
Nodos con viario principal	2	Rotonda	0		
Nodos con viario local	7	Distribuidor	2		
Tramos homogéneos	No	Otros Lateral Oblicua	7		
Especificaciones técnicas	5785 Intensidad veh/h/c 3 carriles	Parámetros de selección de ruta	Límite de velocidad permitida (vías rápidas)		
	Ancho de carril 3.5 m				
	Plataforma de acera con un mínimo de 1 m libres				
	Infraestructura para transporte publico				
	No Infraestructura para ciclistas.		Congestión vehicular		

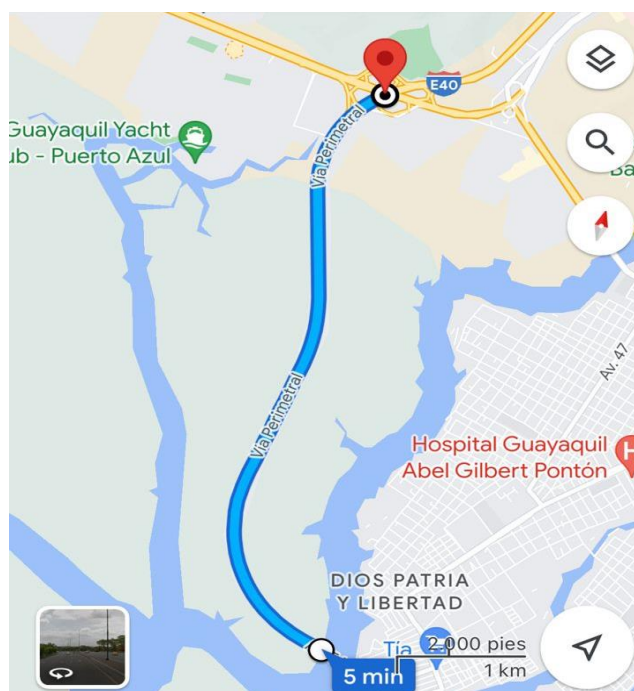
Anexo 6 Tramo 3



Anexo 7 Caracterización de ruta Tramo 4

Tramo	Inicio	Fin	Recorrido (Km)	Tiempo estimado (min)	Velocidad máxima (km/h)
4	C. 48 South	Vía Perimetral	5.5 km	5 min	90 km/h
Descripción de la red vial básica					
Sentido			SURESTE-SUROESTE		
Características geométricas					
Número de carriles	Ancho de Vía	Direccionalidad	Señalización		
3	3.5 m	Una vía	Estándar		
Semaforización	0	No semaforizadas	3		
Capacidad promedio	99.840	T	1		
Ni de intersecciones	3	Cruz	0		
Nodos con viario principal	1	Rotonda	0		
Nodos con viario local	2	Distribuidor	0		
Tramos homogéneos	No	Otros Lateral Oblicua	2		
Especificaciones técnicas	5785 Intensidad veh/h/c 3 carriles		Parámetros de selección de ruta	Límite de velocidad permitida (vías rápidas)	
	Ancho de carril 3.5 m Plataforma de acera con un mínimo de 1 m libres				
	Infraestructura para transporte público				
	No Infraestructura para ciclistas.			Congestión vehicular	

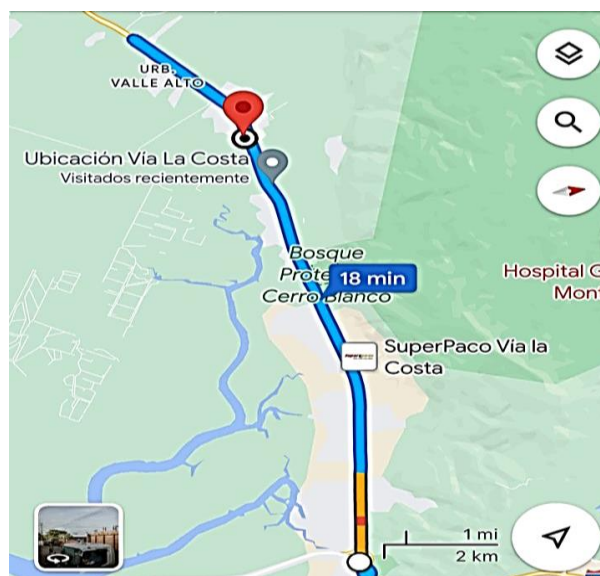
Anexo 8 Caracterización de ruta Tramo



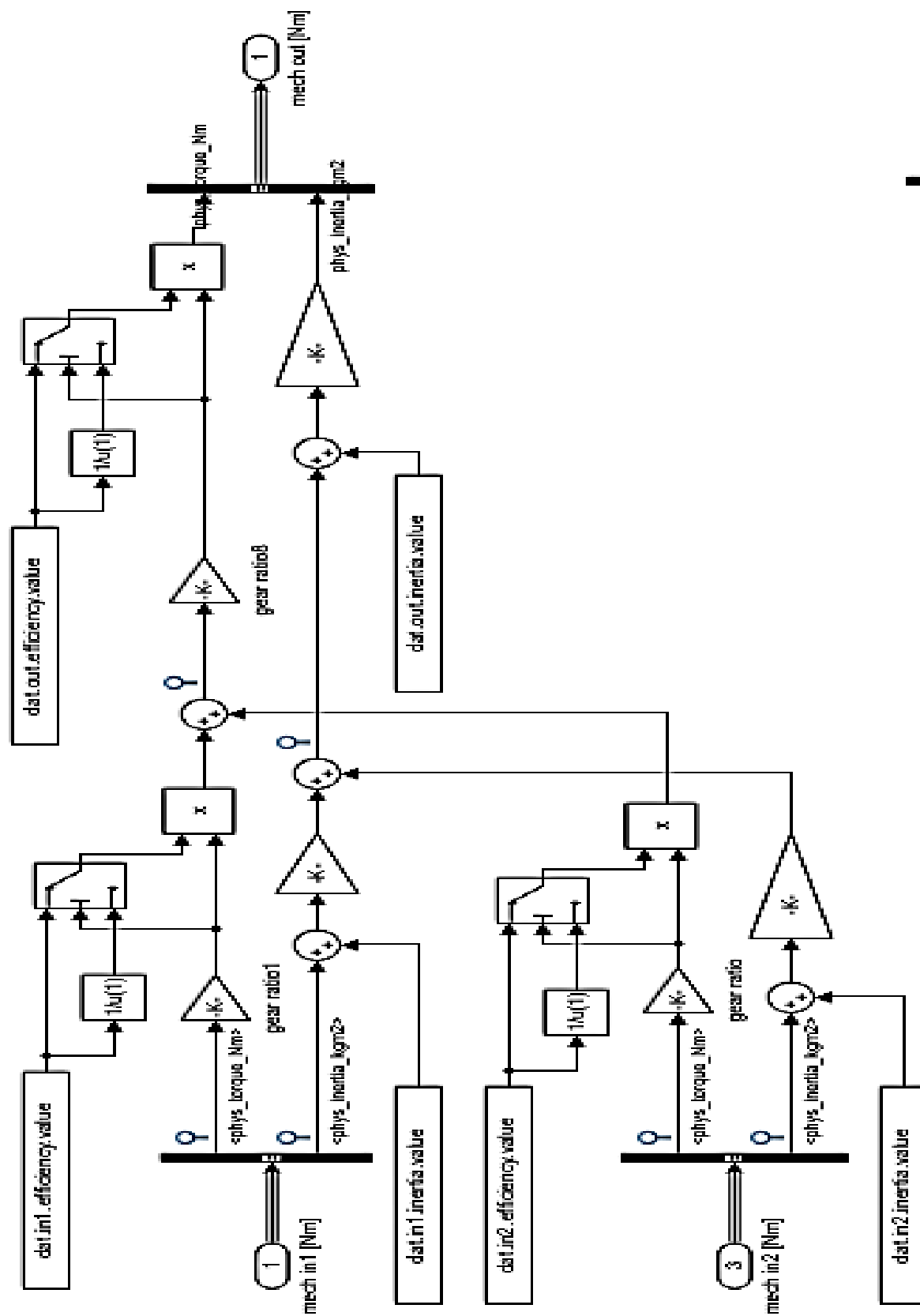
Anexo 9 Caracterización de ruta Tramo 5

Tramo	Inicio	Fin	Recorrido (Km)	Tiempo estimado (min)	Velocidad máxima (km/h)
5	Vía Perimetral	Vía la Costa	17 km	18 min	90 km/h
Descripción de la red vial básica					
Sentido			SURESTE-SUROESTE		
Características geométricas					
Número de carriles	Ancho de Vía	Direccionalidad	Señalización		
3	3.5 m	Una vía	Estándar		
Semaforización	1	No semaforizadas	94		
Capacidad promedio	99.840	T	89		
Ni de intersecciones	95	Cruz	0		
Nodos con viario principal	3	Rotonda	1		
Nodos con viario local	92	Distribuidor	1		
Tramos homogéneos	No	Otros	4		
Especificaciones técnicas	8830 Intensidad veh/h/c 3 carriles	Parámetros de selección de ruta	Limite de velocidad permitida (vías rápidas)		
	Ancho de carril 3.5 m				
	Plataforma de acera con un mínimo de 1 m libres		Congestión vehicular		
	Infraestructura para transporte publico				
Si Infraestructura para ciclistas.					

Anexo 10 Tramo 5



Anexo 11 Esquema interno del bloque del engranaje mecánico.



Anexo 13 Check list combination A.

RECORRIDO DE RUTA DEL 31 DE JULIO DEL 2023

DATOS DE RUTA			
Fecha: 31 de Julio del 2023	Combinación: A	Tipo de prueba: De campo	
Variables de inicio		Variables de llegada	
Hora de inicio de la prueba	07h22	Hora de llega de la prueba	07h56
Documentación-licencia de conducir.	Licencia Matricula	Temperatura de funcionamiento del motor (°C)	80-90 °C
Presión de neumáticos (psi)	34 psi	Cantidad combustible (%)	100 %
Verificar tablero de instrumento sin alertas.	Sin alertas	Porcentaje de batería alto voltaje (%)	50%
Verificación de luces y A/C.	Encendido	Kilometraje en odómetro del vehículo (km)	36.4km
Temperatura del habitáculo (°C)	20 °C	Correcto funcionamiento de los transmisores de datos	Correcto
Temperatura exterior (°C)	27 °C	Verificar tablero de instrumento sin alertas	Sin Alertas
Temperatura de funcionamiento del motor (°C)	80-90 °C	Presión de neumáticos (psi)	34 psi
Cantidad combustible (%)	100%	Temperatura del habitáculo (°C)	20 °C
Porcentaje de batería alto voltaje (%)	50%	Temperatura exterior (°C)	27 °C
Kilometraje en odómetro del vehículo (km)	0.0 km	Verificación de luces y A/C encendidos	Correcto
Datos de ruta	Correcto	Almacenamiento de datos	4523 m/s
Conexión de OBD a PC portátil	Correcto		
Correcto funcionamiento de los transmisores de datos	Correcto		

Anexo 14 Check list combinación B.

RECORRIDO DE RUTA DEL 01 DE AGOSTO DEL 2023

DATOS DE RUTA			
Fecha: 01 de Agosto 2023	Combinación: B	Tipo de prueba: De campo	
Variables de inicio		Variables de llegada	
Hora de inicio de la prueba	07h00	Hora de llega de la prueba	07h39
Documentación-licencia de conducir.	Licencia Matricula	Temperatura de funcionamiento del motor (°C)	80-90 °C
Presión de neumáticos (psi)	34 psi	Cantidad combustible (%)	100 %
Verificar tablero de instrumento sin alertas.	Sin alertas	Porcentaje de batería alto voltaje (%)	50%
Verificación de luces y A/C.	Encendido	Kilometraje en odómetro del vehículo (km)	36 km
Temperatura del habitáculo (°C)	20 °C	Correcto funcionamiento de los transmisores de datos	Correcto
Temperatura exterior (°C)	27 °C	Verificar tablero de instrumento sin alertas	Sin Alertas
Temperatura de funcionamiento del motor (°C)	80-90 °C	Presión de neumáticos (psi)	34 psi
Cantidad combustible (%)	100%	Temperatura del habitáculo (°C)	20 °C
Porcentaje de batería alto voltaje (%)	50%	Temperatura exterior (°C)	27 °C
Kilometraje en odómetro del vehículo (km)	0.0 km	Verificación de luces y A/C encendidos	Correcto
Datos de ruta	Correcto	Almacenamiento de datos	2353.5 m/s
Conexión de OBD a PC portátil	Correcto		
Correcto funcionamiento de los transmisores de datos	Correcto		

Anexo 15 Check list combinación C.

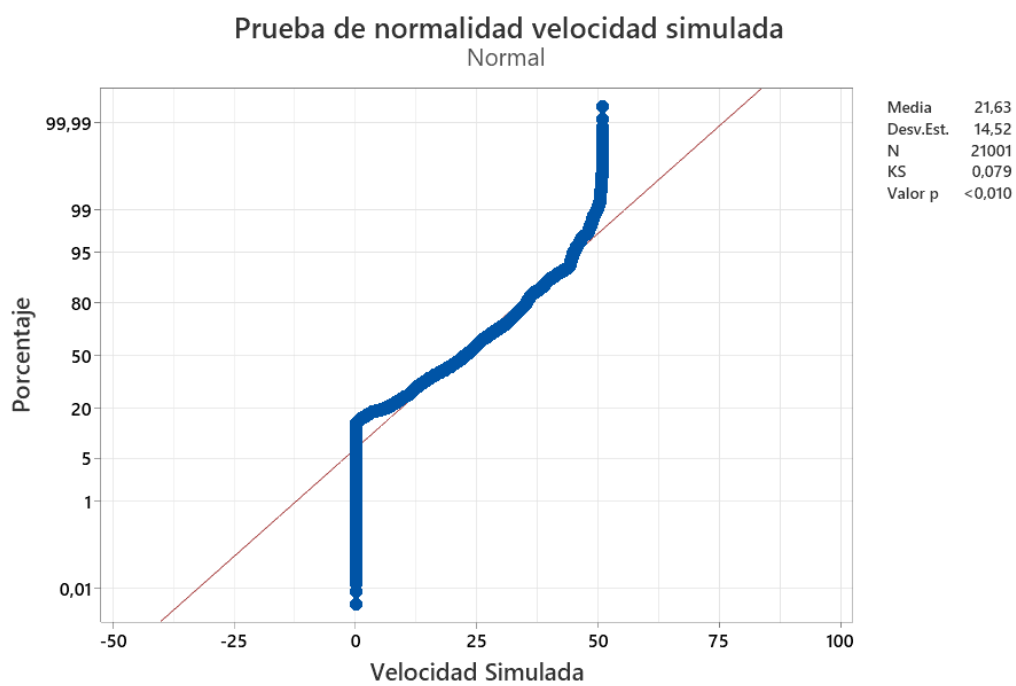
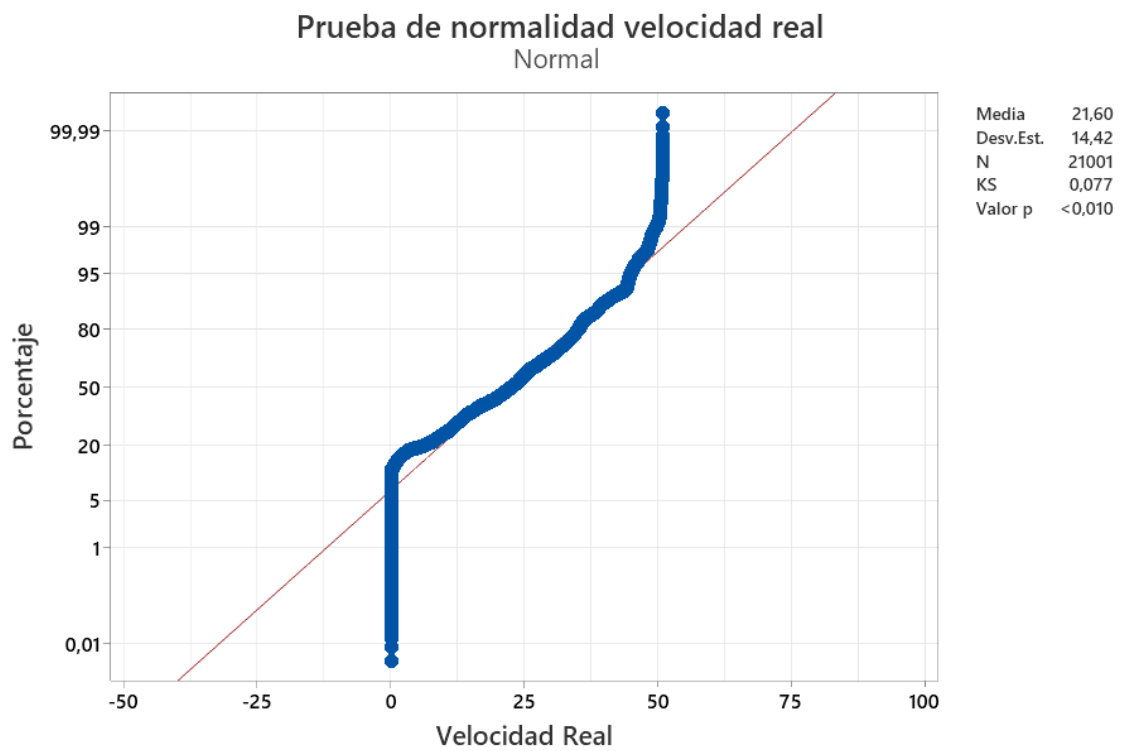
RECORRIDO DE RUTA DEL 02 DE AGOSTO DEL 2023

DATOS DE RUTA			
Fecha: 02 de agosto del 2023	Combinación: C	Tipo de prueba: De campo	
Variables de inicio		Variables de llegada	
Hora de inicio de la prueba	07h20	Hora de llega de la prueba	07h55
Documentación-licencia de conducir.	Licencia Matricula	Temperatura de funcionamiento del motor (°C)	80-90 °C
Presión de neumáticos (psi)	34 psi	Cantidad combustible (%)	100 %
Verificar tablero de instrumento sin alertas.	Sin alertas	Porcentaje de batería alto voltaje (%)	50%
Verificación de luces y A/C.	Encendido	Kilometraje en odómetro del vehículo (km)	36 km
Temperatura del habitáculo (°C)	20 °C	Correcto funcionamiento de los transmisores de datos	Correcto
Temperatura exterior (°C)	27 °C	Verificar tablero de instrumento sin alertas	Sin Alertas
Temperatura de funcionamiento del motor (°C)	80-90 °C	Presión de neumáticos (psi)	34 psi
Cantidad combustible (%)	100%	Temperatura del habitáculo (°C)	20 °C
Porcentaje de batería alto voltaje (%)	50%	Temperatura exterior (°C)	27 °C
Kilometraje en odómetro del vehículo (km)	0.0 km	Verificación de luces y A/C encendidos	Correcto
Datos de ruta		Almacenamiento de datos	4202 m/s
Conexión de OBD a PC portátil	Correcto		
Correcto funcionamiento de los transmisores de datos	Correcto		

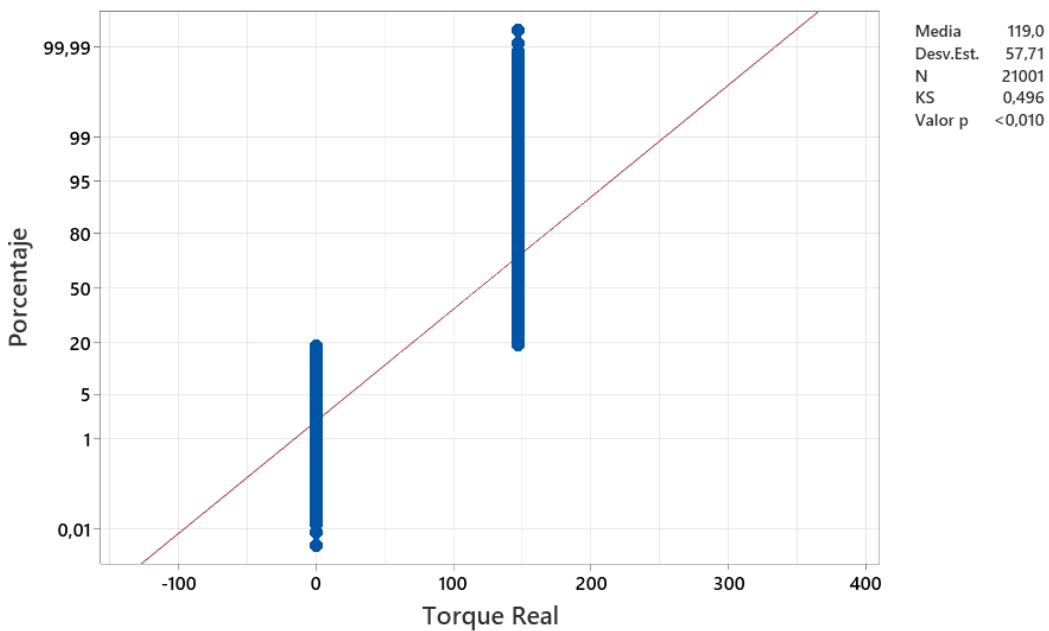
Anexo 16 Check list combinación D.

RECORRIDO DE RUTA DEL 03 DE AGOSTO DEL 2023

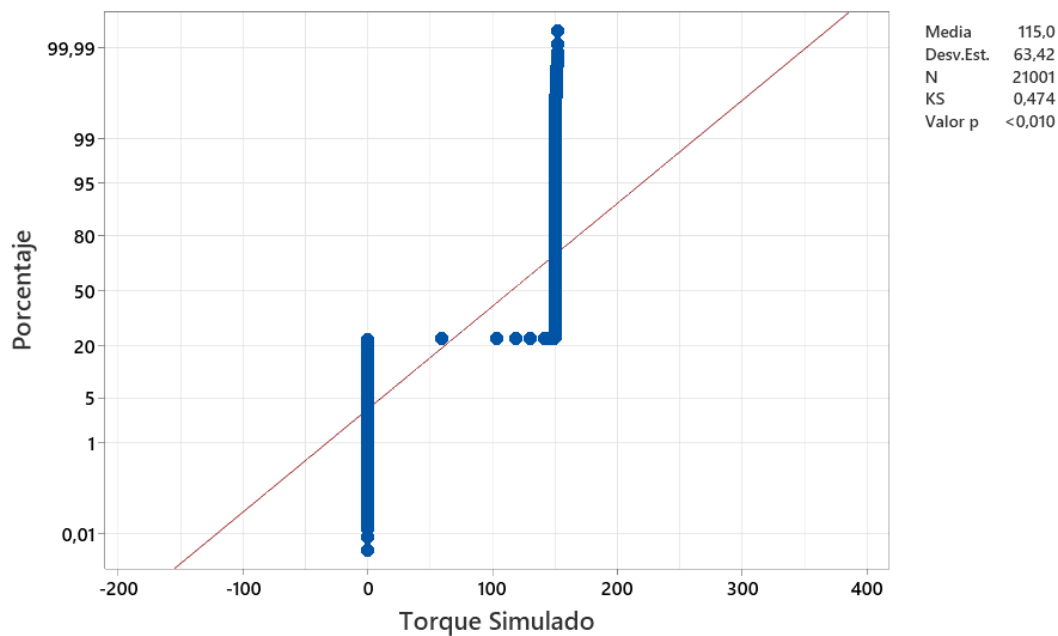
DATOS DE RUTA			
Fecha: 03 de agosto del 2023	Combinación: D	Tipo de prueba: De campo	
VARIABLES DE INICIO		VARIABLES DE LLEGADA	
Hora de inicio de la prueba	07h10	Hora de llega de la prueba	07h45
Documentación-licencia de conducir.	Licencia Matricula	Temperatura de funcionamiento del motor (°C)	80-90 °C
Presión de neumáticos (psi)	34 psi	Cantidad combustible (%)	100 %
Verificar tablero de instrumento sin alertas.	Sin alertas	Porcentaje de batería alto voltaje (%)	50%
Verificación de luces y A/C.	Encendido	Kilometraje en odómetro del vehículo (km)	369.4 km
Temperatura del habitáculo (°C)	20 °C	Correcto funcionamiento de los transmisores de datos	Correcto
Temperatura exterior (°C)	27 °C	Verificar tablero de instrumento sin alertas	Sin Alertas
Temperatura de funcionamiento del motor (°C)	80-90 °C	Presión de neumáticos (psi)	34 psi
Cantidad combustible (%)	100%	Temperatura del habitáculo (°C)	20 °C
Porcentaje de batería alto voltaje (%)	50%	Temperatura exterior (°C)	27 °C
Kilometraje en odómetro del vehículo (km)	0.0 km	Verificación de luces y A/C encendidos	Correcto
Datos de ruta		Almacenamiento de datos	2082 m/s
Conexión de OBD a PC portátil	Correcto		
Correcto funcionamiento de los transmisores de datos	Correcto		

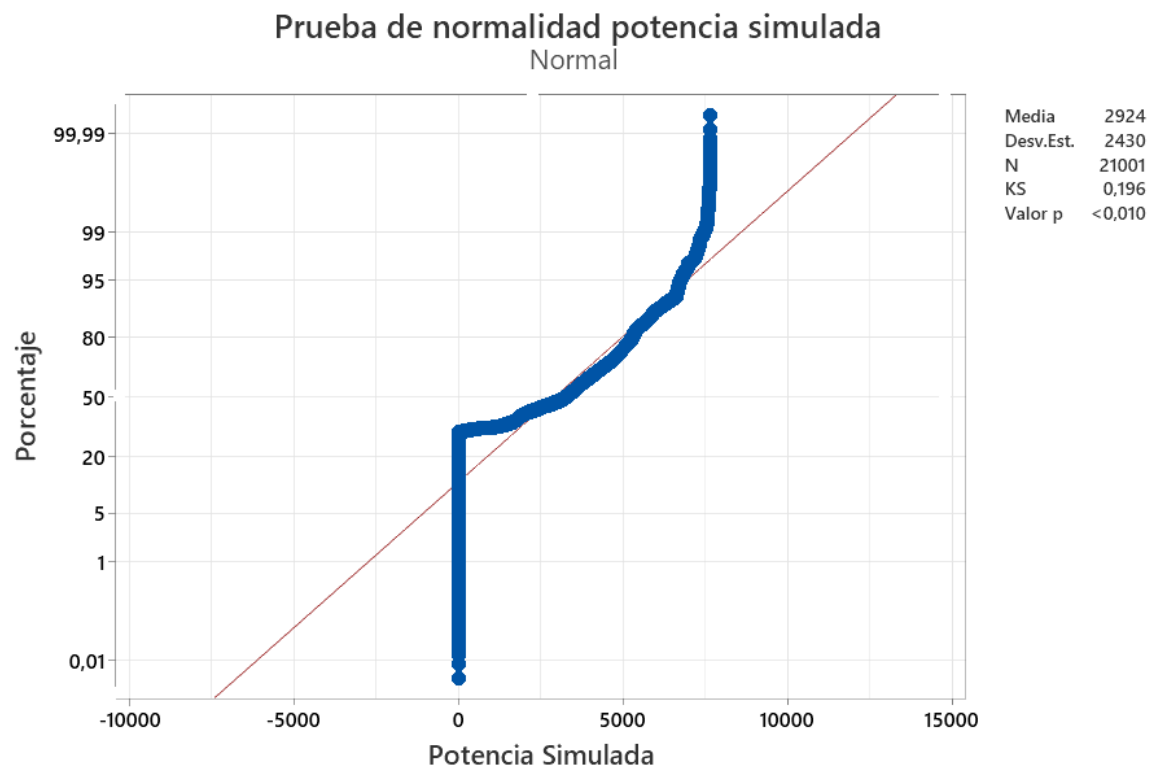
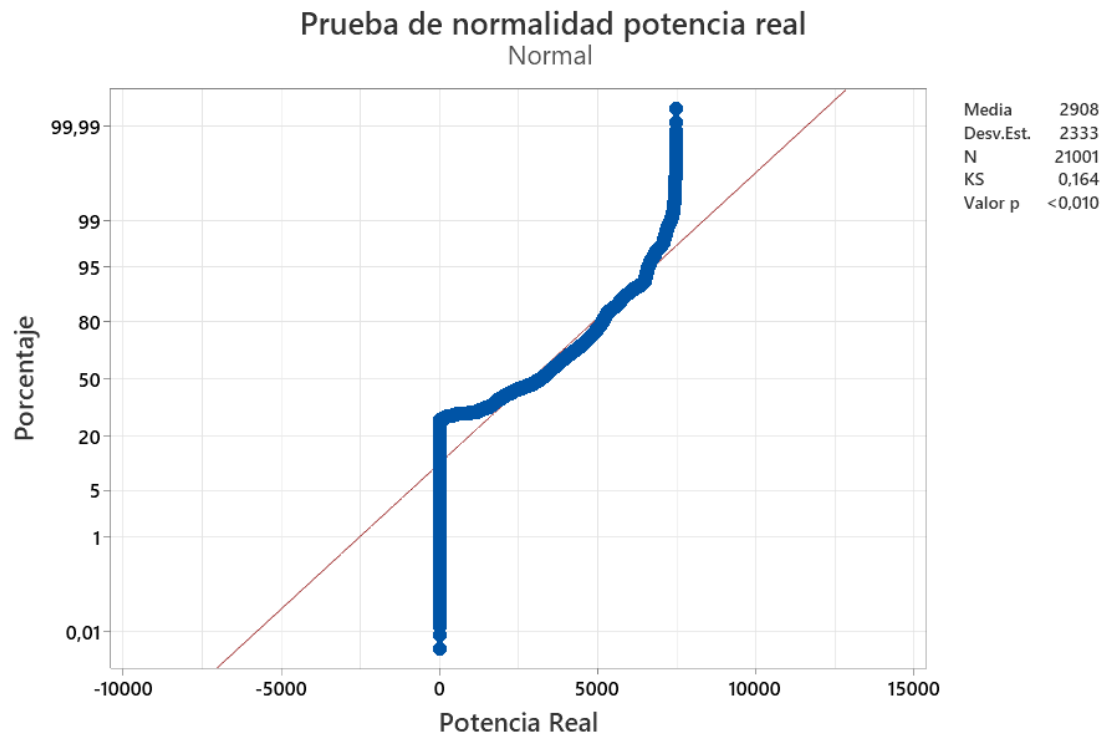
Anexo 17 Pruebas de normalidad.

Prueba de normalidad torque real
Normal



Prueba de normalidad torque simulado
Normal





Anexo 18 Prueba Wilcoxon.

Prueba de clasificación con signos de Wilcoxon: VELOCIDAD; TORQUE; POTENCIA

Método

η : mediana de VELOCIDAD;
TORQUE; POTENCIA

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
VELOCIDAD	21001	-0,0018
TORQUE	21001	-3,0300
POTENCIA	21001	-57,4056

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta \neq 0$

Muestra	Número de prueba	Estadística de Wilcoxon	Valor p
VELOCIDAD	18652	81904151,00	0,000
TORQUE	17002	14961615,00	0,000
POTENCIA	15352	19075716,00	0,000