UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

ESTIMACIÓN DE UNA RUTA REPRESENTATIVA PARA LA CIUDAD DE QUITO SEGÚN LA METODOLOGÍA DEL CICLO DE EMISIONES REALES RDE

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

AUTOR: YANICK SEBASTIÁN CAZORLA ESPINOZA

TUTOR: PAÚL ANDRÉS MOLINA CAMPOVERDE

Quito - Ecuador

2022

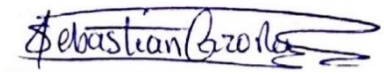
CERTIFICADO DE RESPOSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Yanick Sebastián Cazorla Espinoza con documento de identificación N° 1727141119 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo 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.

Quito, 14 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Yanick Sebastián Cazorla Espinoza
1727141119

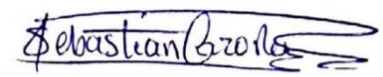
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Yanick Sebastián Cazorla Espinoza con documento de identificación N° 1727141119, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: "Estimación de una ruta representativa para la ciudad de quito según la metodología del ciclo de emisiones reales RDE", el cual ha sido desarrollado para optar 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, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 14 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Yanick Sebastián Cazorla Espinoza
1727141119

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Paúl Andrés Molina Campoverde con documento de identificación N° 0104948104, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTIMACIÓN DE UNA RUTA REPRESENTATIVA PARA LA CIUDAD DE QUITO SEGÚN LA METODOLOGÍA DEL CICLO DE EMISIONES REALES RDE, realizado por Yanick Sebastián Cazorla Espinoza con documento de identificación N° 1727141119, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnico Salesiana.

Quito, 14 de septiembre del año 2022

Atentamente,

Ing. Paúl Andrés Molina Campoverde, Msc
0104948104

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado a mis padres, quienes me han apoyado en toda mi vida personal y académica, en cada decisión que he tomado y han estado presentes en cada logro que he obtenido a lo largo de estos años. También a las personas que de una u otra manera han hecho posible culminar mi preparación académica, por su apoyo incondicional y expectativas que han tenido sobre mí.

Sebastián Cazorla

AGRADECIMIENTO

Mis sinceros agradecimientos a los docentes que me han formado como ingeniero, por brindarme su conocimiento y sabiduría a lo largo de mi carrera universitaria. Sobre todo, un agradecimiento especial al tutor de este proyecto, quien me brindó su apoyo, además de guiarme y presentarme las facilidades para la realización de este proyecto. Y agradecer a mis padres, por nunca dejarme solo a lo largo de mis estudios y vida personal.

Sebastián Cazorla

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN 1
Objetivo General 4
Objetivos Específicos. 4
Marco Teórico 4
CAPÍTULO 1 15
METODOLOGÍA 15
1.1 Características del experimento 15
1.2 Selección de ruta 19
1.3 Selección de vehículos 21
1.4 Adquisición de datos 23
CAPITULO 2 25
RUTA REPRESENTATIVA 25
2.1 Primera ruta planteada 25
2.2 Segunda ruta planteada 30
CAPITULO 3 39
EMISIONES ENCONTRADAS 40
3.1 Emisiones de CO_2 42
3.2 Emisiones de NO_X 43
CAPÍTULO 4 44
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 44
4.1 Velocidades Ford 44
4.2 Velocidades Sail 45
4.3 Análisis de emisiones 45
4.3.1 Diferencias en las emisiones de CO_2 46
4.3.2 Diferencias en las emisiones de NO_X 47
CONCLUSIONES 49
RECOMENDACIONES 51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 52
ANEXOS 1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo NEDC 9
Figura 2. Ciclo WLTP 11
Figura 3. Ciclo de conducción FTP-75 13
Figura 4. Legislación de emisiones europea 14
Figura 5. Parte urbana 20
Figura 6. Parte rural 20
Figura 7. Parte de autopista 21
Figura 8. Vehículos seleccionados 22
Figura 9. Freematics ONE+ 23
Figura 10. Ubicación puerto OBD2 24
Figura 11. Primera ruta 25
Figura 12. Ciclo de conducción 26
Figura 13. Distancias totales 27
Figura 14. Porcentaje de distancia 27
Figura 15. Velocidad instantánea 28
Figura 16. Velocidad media 28
Figura 17. Parte urbana 31
Figura 18. Parte rural 31
Figura 19. Parte de autopista 32
Figura 20. Segunda ruta planteada 33
Figura 21. Distancias totales de cada tramo 34
Figura 22. Porcentaje de distancias 35
Figura 23. Velocidad instantánea 36
Figura 24. Velocidades medias 36
Figura 25. Tendencia del consumo del combustible con respecto a VSP 41
Figura 26. Emisiones de CO_2 42
Figura 27. Emisiones de NO_X 43
Figura 28. Media de velocidades 44
Figura 29. Media de velocidades 45
Figura 31. Emisiones CO2 46
Figura 32. Emisiones de NO_X 47
Figura 33. Emisiones de NOX 48
Figura 34. Temperatura del refrigerante 48
Figura 35. Prueba 1 Ford Ranger 1
Figura 36. Ciclo de conducción 1
Figura 37. Perfil de velocidad distancia 2
Figura 38. Prueba 2 Ford Ranger 2
Figura 39. Ciclo de conducción 3
Figura 40. Perfil de velocidad distancia 3
Figura 41. Prueba 3 4
Figura 42. Ciclo de conducción 4
Figura 43. Perfil de velocidad distancia 5
Figura 44. Prueba 1 Chevrolet Sail 5
Figura 45. Ciclo de conducción 6
Figura 46. Perfil de velocidad distancia 6

Figura 47. Prueba 2 Chevrolet Sail 7
Figura 48. Ciclo de conducción 7
Figura 49. Perfil de velocidad distancia 8
Figura 50. Prueba 3 Chevrolet Sail 8
Figura 51. Ciclo de conducción 9
Figura 52. Emisiones de CO_2 9
Figura 53. Emisiones de NO_x 10
Figura 54. Emisiones de CO_2 10
Figura 55. Emisiones de NO_x 11
Figura 56. Emisiones de CO_2 11
Figura 57. Emisiones de NO_x 12
Figura 58. Emisiones de CO_2 12
Figura 59. Emisiones de NO_X 13
Figura 60. Emisiones de CO_2 13
Figura 61. Emisiones de NO_x 14
Figura 62. Emisiones de CO_2 14
Figura 63. Emisiones de NO_x 15

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clases del ciclo WLTP 10
Tabla 2. Diferencias entre los ciclos NEDC y WLTP 11
Tabla 3. Diferencias entre los ciclos NEDC y WLTP 12
Tabla 4. Ciclo RDE 14
Tabla 5. Requisitos del ciclo RDE 16
Tabla 6. Condiciones del experimento 18
Tabla 7. Vías seleccionadas 19
Tabla 8. Vehículos seleccionados 22
Tabla 9. Primera ruta planteada. 29
Tabla 10. Diseño de la ruta 30
Tabla 11. Vías seleccionadas 30
Tabla 12. Segunda ruta planteada 37
Tabla 13. Segunda ruta planteada 38
Tabla 14. Resultado emisiones CO_2 46
Tabla 15. Resultado emisiones NO_X 47

RESUMEN

El constante deterioro del medio ambiente se ha vuelto un tema de vital importancia para la sociedad, lo que ha vuelto necesario abordar esta problemática para evitar llegar a un punto de no retorno de las condiciones en las que se encuentra el mundo. Las emisiones automotrices son una de las principales causantes de esta situación, al existir grandes cantidades de vehículos que circulan en las ciudades.

Existen algunos tipos de ciclos de conducción que las grandes empresas automotrices toman para el proceso de homologación de sus vehículos en donde se regula la cantidad de emisiones producidas y se verifica si es posible o no su salida al mercado. De igual manera, en el país para realizar el proceso de matriculación se debe cumplir unos límites de las emisiones que los vehículos producen. Estos procedimientos son indispensables para tener un control del efecto que tiene el campo automotriz a la situación ambiental.

No obstante, estos procedimientos no obtienen valores certeros puesto que se realiza en laboratorios donde no existen las condiciones de una conducción real. Existen pruebas en las que se obtiene las emisiones reales a través de dispositivos que se instalan en el vehículo, al recorrer una ruta que debe cumplir ciertas condiciones, como velocidad, tiempo y distancia, necesarias para tener valores que permitan realizar un análisis.

Este proyecto tiene como fin encontrar una ruta que cumpla con las condiciones de emisiones reales, que establece la norma Euro 6, para la ciudad de Quito mediante los datos adquiridos en dos vehículos livianos en conducción. Debido a la poca accesibilidad de un dispositivo portátil para medir las emisiones, se realiza la estimación de los gases emitidos, a través del procesamiento de los datos obtenidos del vehículo mediante un dispositivo arduino compatible con el sistema OBD2, al recorrer la ruta presentada para generar una comparación entre los vehículos utilizados.

Palabras Claves: emisiones, ciclo de conducción, procesamiento de datos, ruta,

ABSTRACT

The constant deterioration of the environment has become an issue of vital importance for society, which has made it necessary to address this problem to avoid reaching a point of no return in the conditions in which the world finds itself. Automotive emissions are one of the main causes of this situation, as there are large numbers of vehicles circulating in cities.

There are some types of driving cycles that large automotive companies take for the homologation process of their vehicles, where the amount of emissions produced is regulated and it is verified whether or not it is possible to go on the market. In the same way, in the country to carry out the registration process, certain limits of the emissions that the vehicles produce must be met. These procedures are essential to control the effect that the automotive field has on the environmental situation.

However, these procedures do not obtain accurate values since it is carried out in laboratories where the conditions of real driving do not exist. There are tests in which the real emissions are obtained through devices that are installed in the vehicle, when traveling a route that must meet certain conditions, such as speed, time and distance, necessary to have values that allow an analysis.

The purpose of this project is to find a route that meets the real emission conditions, established by the Euro 6 standard, for the city of Quito through the data acquired in two light vehicles while driving. Due to the limited accessibility of a portable device to measure emissions, the estimation of the gases emitted is carried out, through the processing of the data obtained from the vehicle through an Arduino device compatible with the OBD2 system, when traveling the route presented to generate a comparison between the used vehicles.

Keywords: emissions, driving cycle, data processing, route,

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, para realizar la matriculación vehicular, los vehículos deben aprobar la revisión técnica, proceso en el que son sometidos a cumplir ciertas pruebas en laboratorios donde se verifica el estado funcional del automotor y el número de emisiones producidas para evaluar si es posible su homologación. Los resultados obtenidos en este proceso distan de las emisiones reales producidas ya que no se toman en cuenta factores como el peso del vehículo, las condiciones de ruta, la congestión vehicular, condiciones climáticas y sobre todo la forma de conducción de los choferes.

Los fundamentos teóricos tales como las emisiones contaminantes, ciclos de conducción y requisitos de la norma Euro 6 presentados en el marco teórico sirven para establecer la metodología mostrada en el capítulo 1, para el diseño de una ruta representativa de emisiones reales en la ciudad de Quito.

En el capítulo 2, se especifican todas las características de las rutas diseñadas y las direcciones que toman, al igual que los resultados obtenidos a partir de la adquisición y procesamiento de datos de dos vehículos livianos de encendido por chispa utilizados para recorrer las rutas propuestas.

En el capítulo 3, se realiza un estado del arte de metodologías para encontrar las emisiones de gases en carretera a partir de las variables obtenidas en la adquisición de datos. Para realizar las mediciones de CO_2 y NO_X en la ruta encontrada, se toma en cuenta una metodología basada en la velocidad del vehículo, lo que facilita el análisis en cada tramo de la ruta.

Finalmente, el capítulo 4 demuestra los resultados encontrados en la realización del presente proyecto, desde la teoría que lleva el diseño de la ruta hasta los resultados que aportan validez a la misma. Además, se presenta una comparación entre las emisiones producidas por cada vehículo y se analiza en base a otros autores.

PROBLEMA

La mayoría de las áreas metropolitanas de las grandes ciudades sufren altos índices de tráfico y una calidad del aire degradada ya que las concentraciones de gases contaminantes en la mayoría de los sitios de alto tráfico vehicular exceden constantemente el valor límite anual. El óxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2) son los principales contaminantes acidificantes que se forman durante la combustión a elevadas temperaturas, lo que requiere la implementación de elementos de postratamiento de gases de escape como los catalizadores, utilizados para reducir estas emisiones. Sin embargo, los vehículos en carretera siguen constituyendo una importante fuente de óxidos de nitrógeno (NO_X) y representan casi la mitad de las emisiones totales en las grandes urbes. Con el objetivo de regular las concentraciones de emisiones contaminantes como producto de la combustión de los vehículos, se han introducido regulaciones cada vez más estrictas en los últimos años (Triantafyllopoulos et al., 2018).

La disminución de las emisiones de gases contaminantes y partículas generadas por los vehículos vienen como producto de regulaciones ambientales cada vez más restrictivas, ya que estos son considerados contribuyentes a la contaminación ambiental en las urbes. Por tanto, el progreso de la eficiencia térmica en los procedimientos de combustión y la reducción de la concentración de gases al desarrollo de la normativa de emisiones contaminantes, en septiembre de 2017 se estableció un nuevo procedimiento de homologación que incluye la medición de estas emisiones en escenarios reales de conducción, conocidas como Real Driving Emission (RDE,). El procedimiento RDE consta de seis pasos: selección del vehículo, preparación del vehículo, diseño del viaje, ejecución del viaje, verificación del viaje y medición/cálculo de las emisiones (García-Contreras et al., 2021).

Según investigaciones previas, en la ciudad de Madrid, García-Contreras et al., 2021 analizaron los ciclos de emisiones reales de dos vehículos de diferentes segmentos y miden las emisiones contaminantes obteniendo resultados que muestran una gran eficacia de las tecnologías de control de contaminación, especialmente en la reducción de NO_X y número de partículas (PN). En el trabajo de Du et al., (2022) se verificó la incidencia de la carga del vehículo durante el ciclo de emisiones reales para evitar posibles interferencias con los

experimentos diseñados, llegando a la conclusión que la ganancia de altitud positiva acumulativa puede reflejar efectivamente la información topográfica de la ruta de prueba relacionada con las emisiones producidas por el vehículo al realizar la prueba RDE.

En el estudio de Lee et al., (2021), se investigaron las características de emisión de NO_X y la eficiencia del catalizador para vehículos, mediante la realización de pruebas RDE obtenidas durante las estaciones primavera/otoño y verano, se detectó que las emisiones de NO_X fueron mayores en la fase urbana que en el resto de las fases, ambos vehículos emitieron un exceso de NO_X en invierno en comparación con las otras estaciones, y el factor principal encontrado fue el sistema de recirculación de gases de escape (EGR) debido a la disminución en la tasa de apertura de esta válvula. Toumasatos et al., 2022 evaluó los efectos de la regeneración del filtro de partículas (DPF) en las emisiones de un automóvil diésel Euro 6d-temp en escenarios reales de conducción y de laboratorio, donde los niveles de emisión aumentaron en varios ordenes de nivel en las pruebas de ruta.

Delimitación del problema. –

Las mediciones de emisiones contaminantes realizadas en vehículos en la ciudad de Quito son realizadas sin carga y en laboratorios obteniéndose resultados que distan de los encontrados en condiciones reales de carretera, debido a que factores como el peso del vehículo son importantes pero despreciados, además se han realizado estudios que indican que el consumo en carretera es superior al medido en laboratorios e indicados por el fabricante. Como resultado el motor de combustión interna en condiciones reales produce valores diferentes debido a que es afectado también por parámetros externos como: el estilo de conducción y las condiciones ambientales. Este proyecto busca ajustar los requisitos impuestos por el ciclo real de conducción (RDE) al diseñar de una ruta que se encuentre dentro del Distrito Metropolitano de Quito, para posteriormente determinar los gases que un vehículo emite en escenarios reales. El ciclo RDE será implementado en la ciudad de Quito el cual es una metodología usada para determinar las concentraciones de gases contaminantes y la tasa de consumo de combustible en una ruta que comprende carreteras urbanas, rurales y autopistas, en un horario que facilite la circulación, la toma de datos y el cumplimiento de la norma.

La implementación de un ciclo RDE en la ciudad de Quito permitiría a la ciudadanía y a las autoridades tener conocimiento de las emisiones contaminantes diarias que los vehículos producen buscando asemejarse en lo posible a un tipo de conducción cotidiano y a la realidad geográfica de la ciudad. La importancia de esta técnica consiste en realizar la adquisición de datos de forma no intrusiva desde el puerto OBD2 del vehículo, y de esta manera obtener un valor que se aproxime a la cantidad real de emisiones contaminantes que emite un vehículo sometido a las diferentes condiciones en ciudad.

Objetivo General

Estimar una ruta representativa para la ciudad de Quito según la metodología del ciclo de emisiones reales RDE.

Objetivos Específicos.

- Establecer los fundamentos teóricos de normativa Euro 6, ciclos de conducción y emisiones contaminantes
- Diseñar una ruta según la normativa Euro 6 que se ajuste a las características de la ciudad.
- Estimar los principales gases contaminantes que emiten los vehículos en la ciudad de Quito, según las rutas planteadas.
- Establecer las diferencias en las emisiones producidas por diferentes categorías de vehículos sometidos a las mismas condiciones y trayectoria.

Marco Teórico

Contaminantes

Bajo un escenario de combustión perfecta se obtiene nitrógeno molecular (N_2), agua (H_2O) y dióxido de carbono como resultado del trabajo del motor. Otros componentes como compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SOx), humos negros, compuesto de plomo y óxidos de nitrógeno (NOx) se generan como resultado de la combustión en un motor térmico al no ser una combustión perfecta (Asencio et al., 2008).

La respuesta del nitrógeno y el oxígeno con elevadas temperaturas produce óxidos de nitrógeno (NO_X) que son gases irritantes que al ser inspirar se adhieren en la cavidad nasal lo que forma ácido nítrico. La baja presencia de oxígeno produce combustión incompleta del combustible lo que genera monóxido de carbono (CO) y la cantidad de este gas incrementa con el cambio de la relación aire-combustible en la aleación. Los hidrocarburos (HC) sin quemar durante la combustión causan escozor en los ojos y efectos directos en las cavidades de las vías respiratorias, pueden ocasionar efectos somníferos, además, también son los que generan lluvias ácidas y junto con los rayos ultravioletas generan humo fotoquímico (Rojas et al., 2019).

Óxidos de Nitrógeno

Los NO_X representan a los óxidos de nitrógeno, y principalmente en el motor se forma óxido nítrico (NO) debido a que predomina su cinética química, sin embargo, existe una cantidad considerable de dióxido de nitrógeno (NO_2) debido a la transformación de NO a NO_2 en zonas con bajas temperaturas y una cantidad significativa de O_2. La formación de NO es resultado de la oxidación del nitrógeno que existe en el aire, que es el oxidante comúnmente utilizado en la mayor parte de los sistemas de combustión, y la creación de NO_2 ocurre cuando las moléculas de NO, provenientes de la región térmica, se difunden o son transportadas mezclándose hacia regiones con más dióxido de hidrógeno (HO_2). Los NO_X tiene el potencial de producir smog fotoquímico y son uno de los principales responsables de la lluvia ácida (Payri & Desantes, 2011).

Monóxido de Carbono

La formación de monóxido de carbono (CO) ocurre durante la oxidación de los hidrocarburos y está relacionado con la dosis (relación aire-combustible), que es esencialmente la separación de las moléculas de CO_2 en elevadas temperaturas. La cantidad de este gas depende del equilibrio entre su formación (reacciones rápidas) y su oxidación (reacciones lentas), ambos muy activos a temperaturas elevadas. El CO es uno de los gases contaminantes que más impacto tienen como resultado de la combustión en la que pueden darse condiciones localizadas de mezcla rica (Payri & Desantes, 2011).

Dióxido de Carbono

El dióxido de carbono (CO_2) se forma como resultado de la combustión de hidrocarburos y por la oxidación del CO en la atmósfera. Las emisiones de CO_2 causadas por los motores son significativas como emisiones directas de estos al ambiente, debido a la gran cantidad que se produce en la combustión, siendo reconocidos como uno de los máximos contribuyentes al efecto invernadero (Payri & Desantes, 2011).

Hidrocarburos

Los hidrocarburos no quemados se liberan debido a la combustión incompleta del combustible, por lo que su composición es extremadamente heterogénea. La combustión irregular que genera los hidrocarburos (HC) puede ocurrir por una variedad de razones, como enfriamiento por efecto de pared, pobre evaporación del combustible, fugas de escape, cortocircuitos en la admisión (principalmente en motores de dos tiempos), atascos de combustible en volúmenes pequeños, exceso de dosificación localizada y otras causas menos probables (Payri & Desantes, 2011).

Material Particulado

Dentro de los gases de escape, las partículas son sustancias que se pueden presentar de forma sólida o líquida en condiciones ambientales y en el análisis de estas emisiones es preciso estudiar el proceso de disolución del escape con el aire-ambiente. La capacidad para inducir evolución en las propiedades físicas y químicas del material particulado ya que distintos procesos como sedimentación, evaporación, condensación, crecimiento por colisión, depósitos en la superficie de las partículas, procesos fotoquímicos, etc es una característica de los aerosoles presentes en los gases de escape de los motores. (Payri & Desantes, 2011).

Diseño de rutas

Para desarrollar un diseño de ruta es posible realizar mediante la ayuda de algún software como en el caso de Correa et al. (2008) donde se estudió la forma adecuada para calificar las decisiones de las industrias de alimentos del Valle de Aburrá para sus diseños de rutas considerando el tipo de objetivos que se afronta, las restricciones existenetes, los objetivos que se buscan alcanzar, las herramientas utilizadas y las aportaciones y perjuicios de los

métodos actuales, encontrándose con que esta herramienta produce costos de distribución más bajas, minimiza el tiempo total y de recorrida en las rutas; o en el caso de Albornoz y Johns, (2011) donde se propuso un modelo de formulación matemática del problema para generar una programación entera de localización y ruteo, para selección de paraderos y el diseño de rutas de buses para transporte personal alcanzando una solución óptica donde se aprecie la mejora de las soluciones entregadas.

Restrepo et al. (2007) seleccionó un ciclo vehicular para la ciudad de Pereira tomando en cuenta distintos sectores de la ciudad y diferente nivel socioeconómico, y las mediciones se realizaron en tres tipos de vías:

- Vías arteriales principales: son vías que cuentan con dos carriles en cada sentido, con semáforos que conectan a las vías residenciales con las vías rápidas.
- Vías arteriales secundarias: recibe el movimiento vehicular de las zonas residenciales, comerciales e industriales y conectan con las vías principales.
- Vías rápidas: son vías que cuentan con escasos semáforos y tienen cuatro o más carriles en cada sentido.

Según Calderón et al. (2016) para determinar rutas de distribución, se puede recurrir a ciertos métodos como el método de barrido o el ruteo de vehículos. El método de barrido se centra en localizar las paradas realizadas por un vehículo en un mapa, trazando una línea recta desde el punto de origen y girando con sentido a las manecillas del reloj se analiza las paradas existentes. Mientras que el ruteo de vehículos se basa en modelos matemáticos que describen el sistema de distribución usando medios informáticos como el VRP solver y el Router de Logware 5.0, resultando el segundo más completo para el fin que se busca.

Ciclo de conducción

Un ciclo de conducción es un estudio gráfico y estadístico de las velocidades que se obtienen de una ruta determinada, representadas en un diagrama de velocidad-tiempo, tratando de emular la forma cotidiana de conducción en una ciudad o autopista, afectada por el tráfico, las características climáticas, geográficas y de carretera, así como el comportamiento de los conductores y la tecnología del vehículo. Son muy importantes a la hora de planear el desarrollo de las ciudades, proponer nuevas tecnologías en automóviles y validar los

modelos que buscan predecir el rendimiento de los vehículos que se movilizan en las principales vías y en los balances de concentraciones contaminantes de las grandes urbes, los cuales establecen procedimientos para controlar el equilibrio ecológico del lugar, ciudad o región (González-Oropeza, 2005).

Tipos de ciclos de conducción

Espimbera, (2018) establece en su trabajo que los ciclos de conducción pueden ser de estado estable o de estado transitorio, además se pueden clasificar si son para determinar el desempeño energético o para homologación:

- Ciclos de conducción de estado estable: poseen largos períodos de conducción manteniendo velocidades constantes, con tramos de aceleraciones y velocidades constantes como por ejemplo el ciclo de conducción ECE-15.
- Ciclos de conducción de estado transitorio: consta de varios cambios en el perfil de velocidad ya que son series de tiempo obtenidas a partir de los valores de la velocidad obtenida del vehículo cuando se moviliza de un lugar a otro destacando los constantes cambios de velocidad a los que se expone una conducción cotidiana en carretera. Un ciclo de conducción característico de este tipo es el FTP-75.
- Ciclos de conducción para determinar el desempeño energético: son usados principalmente para estimar ciertos parámetros de desempeño de los vehículos, destacando entre los más importantes el consumo específico de combustible (SFC) y el índice de emisiones (IE) de contaminantes al ambiente como el CO, CO_2 y NO_X,
- Ciclos de conducción de homologación: mediante pruebas en laboratorio, estos ciclos buscan igualar la forma de conducir de los choferes en tramos urbanos e interurbanos, a través de una mezcla de diferentes velocidades en una escala temporal. Estos ciclos de conducción son utilizados por los fabricantes de vehículos para estimar el consumo de combustible y emisiones mediante pruebas de laboratorio realizadas en dinamómetros de chasis.

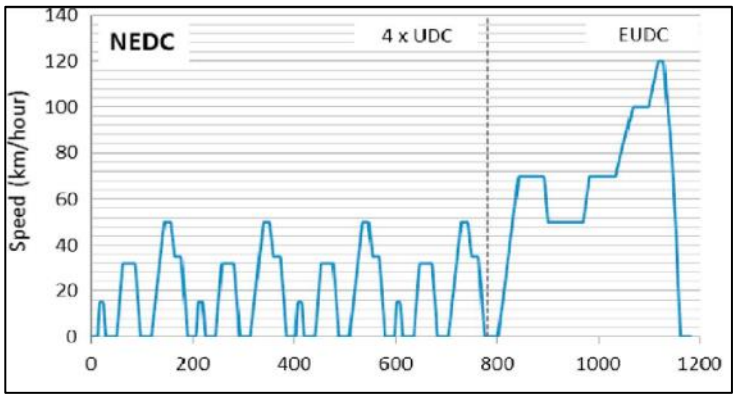
Los grandes productores automotrices mundiales como Estados Unidos, Europa y Japón han desarrollado sus propios ciclos de conducción para regular las emisiones y estimar el desempeño energético de los vehículos producidos, también sirven para la homologación de

los vehículos que transitan en estos territorios. Entre los ciclos de conducción más utilizados para el proceso de homologación se encuentran el New European Driving Cycle (NEDC) y el FTP-75.

New European Driving Cycle (NEDC)

El Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC), es una prueba utilizada para la certificación de emisiones hasta la norma Euro 6 en Europa y algunos otros países, la cual se la realiza en un banco dinamómetro, y según Sileghem et al. (2014) con frecuencia es criticado por ser demasiado suave y con poca carga para la operación típica del vehículo, ya que cubre solo una pequeña área del rango operativo del motor.

Figura 1. Ciclo NEDC



Representación gráfica del ciclo. Fuente: Marotta et al., 2015

El ciclo NEDC consta de cuatro segmentos de conducción urbana (UDC) caracterizados por baja velocidad y baja carga del automotor, además de temperaturas bajas de los gases de escape, seguido de un segmento de conducción extraurbana (EUDC) para simular una conducción más agresiva y de mayor velocidad (Marotta et al., 2015).

Las aceleraciones en este ciclo son muy suaves, además hay muchos tramos de velocidad constante y existen eventos inactivos que imposibilitan la obtención de valores certificados cuando se circula con el vehículo en escenarios cotidianos. Razones por las cuales las autoridades europeas han explorado una solución para sustituir el NEDC, proponiendo un

nuevo ciclo llamado “Procedimiento de prueba de vehículos ligeros armonizados a nivel mundial” (WLTP, por sus siglas en inglés) (Quinchimbla & Solís, 2017).

Ciclo de conducción armonizado global

El procedimiento de prueba de vehículos ligeros armonizados a nivel mundial (WLTP) es una prueba que permite evaluar los contaminantes y emisiones, el ahorro de combustible y el rendimiento eléctrico de vehículos ligeros, que también se la realiza en un banco dinamómetro, pero toma en cuenta situaciones reales basados en la experiencia y hábitos de los conductores como el frenado, tiempo en ralentí o la aceleración.

Este ciclo se divide en tres clases dependiendo la relación potencia/masa (PMR) del vehículo, la cual se define como la división entre la potencia nominal en watt (W) y el peso en vacío (kg), como se muestra en la Tabla 1, siendo la clase 3 la categoría que representa a la gran mayoría de vehículos europeos:

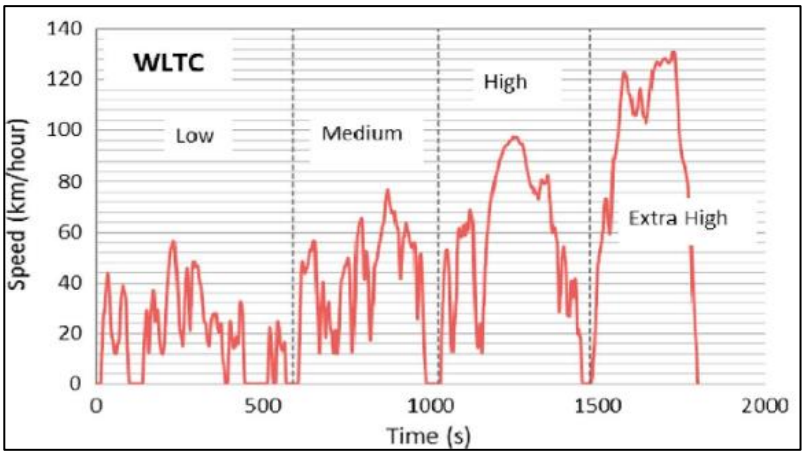
Tabla 1. Clases del ciclo WLTP

Clase	Relación de potencia/masa
1	PMR ≤ 22
2	22<PMR < 34
3	PMR ≥ 34

Clasificación por potencia/masa. Fuente: Charlie & Romain, 2013

El ciclo WLTP Clase 3 consta de cuatro segmentos a diferentes velocidades: una representativa de la conducción urbana (velocidad baja), una de conducción suburbana (velocidad media), una de conducción extraurbana (velocidad alta) y una de conducción en carretera (velocidad extra alta). Este ciclo presenta un perfil de velocidades más dinámico y un mayor kilometraje que el NEDC, por lo tanto, las emisiones de CO_2 tienen un menor impacto en la economía de combustible general (Marotta et al., 2015).

Figura 2. Ciclo WLTP



Representación gráfica del ciclo. Fuente: Marotta et al., 2015

Diferencias entre los ciclos NEDC y WLTP

En la Tabla 2 se describe el trabajo de Pavlovic et al., 2018, donde se investigaron los factores identificados como diferentes en el procedimiento de los dos ciclos.

Tabla 2. Diferencias entre los ciclos NEDC y WLTP

Categoría	Factor	NEDC	WLTP
Determinación de la carga por carretera (RL)	Masa de prueba del vehículo	Presente	Modificado
	Selección de neumáticos	Presente	Modificado
	Presión de llanta	Presente	Modificado
	Profundidad del dibujo del neumático	Presente	Modificado
	Cálculo de fuerzas de resistencia	Presente	Corregido
	Inercia de piezas giratorias	Ausente	Introducido
Prueba de laboratorio	Ciclo de conducción	Presente	Modificado
	Temperatura de prueba	Presente	Modificado
	Inercia del vehículo	Presente	Modificado
	Pre-acondicionamiento	Presente	Modificado
	Estrategia de cambio de marcha	Presente	Modificado
Resultados de la prueba de post-procesamiento	Corrección del estado de carga de la batería (SOC)	Ausente	Introducido
	Corrección de velocidad y distancia.	Ausente	Bajo discusión
Valor declarado	Declaración de emisiones de CO_2	Presente	Modificado

Factores de los procedimientos de los ciclos. Fuente: Pavlovic et al., 2018

En el ciclo WLTP el vehículo acelera o desacelera el 84% del tiempo de la prueba, mantiene el 13% en ralentí y el 4% en conducción crucero constante, mientras que en el NEDC el vehículo acelera o desacelera el 36%, el 24% está inactivo y el 40% se encuentra en conducción crucero constante (Marotta et al., 2015). En la Tabla 3 se los principales parámetros de los dos ciclos:

Tabla 3. Diferencias entre los ciclos NEDC y WLTP

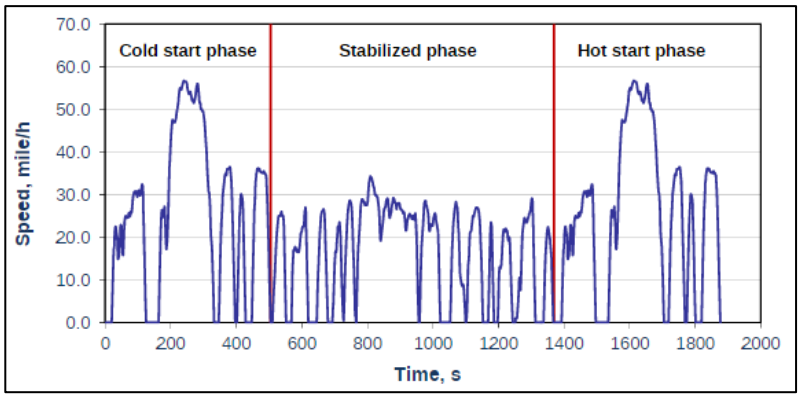
Parámetros	NEDC	WLTP
Duración (s)	1180	1800
Distancia (km)	11.03	23.27
Velocidad media (km/h)	33.6	46.5
Velocidad máxima (km/h)	120.0	131.3
Duración de parada (%)	23.7	12.6
Conducción constante (%)	40.3	3.7
Aceleración (%)	20.9	43.8
Desaceleración (%)	15.1	39.9
Aceleración positiva media (m/s^2)	0.59	0.41
Aceleración positiva máxima (m/s^2)	1.04	1.67
“Velocidad aceleración” positiva media (m^2/s^3)	1.04	1.99
Máxima “velocidad aceleración” positiva (m^2/s^3)	9.22	21.01
Desaceleración media (m/s^2)	–0.82	–0.45
Deceleración mínima (m/s^2)	–1.39	-1.50

Parámetros de los ciclos. Fuente: Donateo & Giovinazzi, 2017

FTP-75

El procedimiento de prueba federal (FTP) 75, es una etapa de conducción en ciudad que comprende una serie de pruebas determinada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) empleado para realizar la homologación de emisiones y pruebas de economía de combustible de vehículos livianos en Estados Unidos que cuenta con una parte de conducción urbana que incluye paradas frecuentes y una parte de conducción en carretera.

Figura 3. Ciclo de conducción FTP-75



Representación gráfica del ciclo. Fuente: Bielaczyc et al., 2016

Ciclo de emisiones reales (RDE)

Los experimentos realizados en laboratorios para evaluar las emisiones producidas por los vehículos distan de la realidad cotidiana, ya que no toma en cuenta factores como la oposición a la rodadura, la resistencia aerodinámica, la estrategia de cambio de marchas y estilo de conducción del chofer, la ganancia de altitud positiva distinta a cero y condiciones ambientales que se presentan en carretera.

En 2007, el Centro Común de Investigaciones (JRC) (Zardini et al., 2020) de la Comisión Europea realizó una serie de experimentos con el fin de investigar las emisiones reales utilizando instrumentación a bordo como el sistema portátil de medición de emisiones (PEMS) específicamente en automóviles ligeros y encontraron grandes diferencias entre las pruebas en laboratorio y en carretera para el NO_X emitido. Razón por la que en 2016 la Unión Europea adoptó el Reglamento (UE) 2016/427 de la Comisión que redacta los principales requisitos de viaje para un ciclo RDE donde se especifica las condiciones de la ruta, como velocidades, distancias y duración, y las condiciones ambientales (Donateo & Giovinazzi, 2017).

El objetivo del ciclo RDE es complementar al ciclo WLTP, midiendo las emisiones contaminantes que produce un vehículo en una prueba en carretera. Esta prueba se la realiza en vías públicas y en diferentes condiciones, llevando a bordo un equipo PEMS, que mide y

recopila las emisiones de NOX, CO, HC y material particulado, donde no pueden superar a las establecidas por la norma Euro 6 (Díaz, 2020).

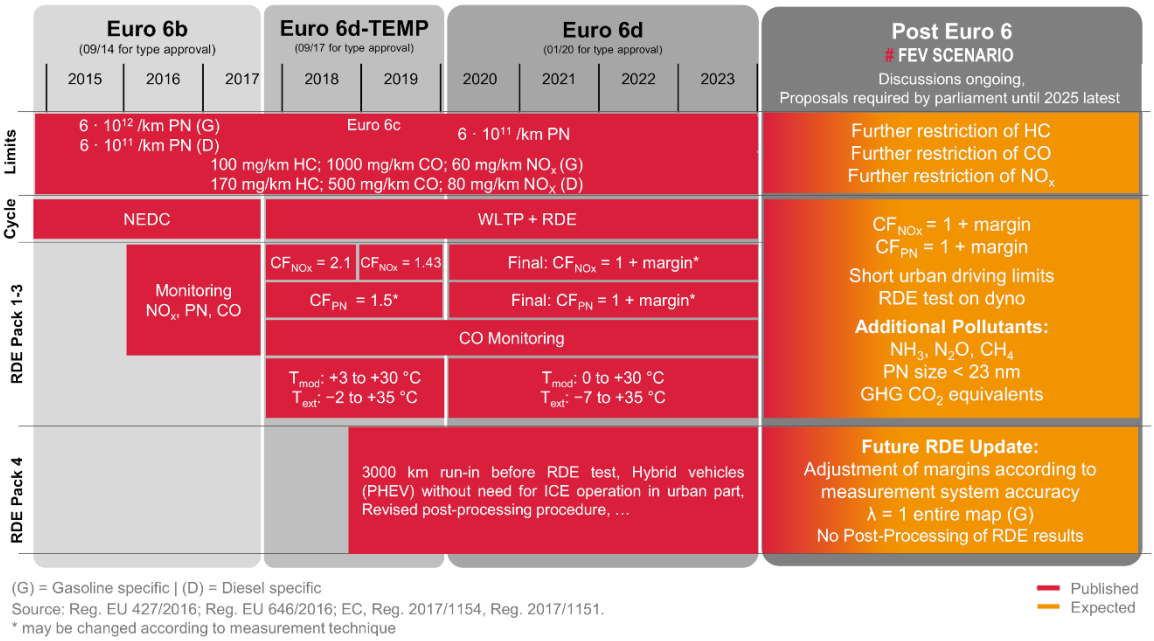
Tabla 4. Ciclo RDE

Parámetro	**Viaje**			**Unidad**
Duración	01:30:00 … 02:00:00			hh:mm:ss
Diferencia de altitud	<100			M
	URBANO	**RURAL**	**AUTOPISTA**	
Velocidad	<60	60 ≤ 90	>90	km/h
Velocidad promedio	15 ≤ 40	-	-	km/h
Distancia mínima	>16	>16	>16	Km
Porcentaje de distancia	29 ≤ 44	23 ≤ 33	23 ≤ 33	%
Para el tiempo	>10	–	–	%
Tiempo a v > 100 km/h	–	–	>300	s

Parámetros del ciclo RDE. Fuente: García-Contreras et al., 2021

En la Figura 4 se establece un resumen del desarrollo de la legislación de emisiones en Europa y lo que se espera publicar en los próximos años.

Figura 4. Legislación de emisiones europea



Enfoque RDE de la legislación de emisiones europea. Fuente: Claßen et al., 2021

CAPÍTULO 1
METODOLOGÍA

La contaminación producida por vehículos impulsados por motores de combustión interna es responsable en gran medida de la degradación de la calidad en el Distrito Metropolitano de Quito y el problema radica en que las pruebas realizadas en vehículos durante el control vehicular distan de los valores obtenidos en conducción. Por esta razón la realización de este proyecto tiene como fin elaborar una ruta que cumpla con la norma Euro 6 para el ciclo RDE aplicando un método experimental. Para desarrollar este experimento se elige una ruta representativa en la ciudad que conste de una parte urbana, rural y autopista que cumpla los requerimientos de la norma Euro 6 para el ciclo RDE, y para recorrer dicha ruta se dispone de dos vehículos ligeros relativamente accesibles en el mercado ecuatoriano. Se toma muestras del mundo real para generar datos mediante un dispositivo Freematics ONE+, el cual va conectado al puerto OBD2 del vehículo durante todo el proceso del experimento, para que luego puedan ser manipulados y post procesar la información obtenida en un ordenador mediante el software Matlab y finalmente validar los resultados encontrados (Molina Campoverde et al., 2022).

1.1 Características del experimento

Por anticipado, se mantiene el vehículo en conducción por al menos media hora, se estaciona con las puertas y el capó cerrados y se mantiene alrededor de 8 horas con el motor apagado y con suficiente combustible para completar el recorrido, en altitudes y temperaturas moderadas o ampliadas de acuerdo a los puntos 5.2.2 a 5.2.6 de la norma Euro 6, es decir entre 3 y 30 °C en temperaturas moderadas y entre -2 y 35 °C en temperaturas ampliadas, evitando exponer al vehículo a condiciones extremas como nevadas, tormentas o granizo y a cantidades excesivas de polvo.

Como carga, se contará con el chofer y un testigo del ensayo y los equipos necesarios. En la conducción, el aire acondicionado y otros dispositivos auxiliares funcionan de forma que emule el uso normal que haría un chofer en escenarios reales de conducción en carretera. Estas y otras condiciones limite se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Requisitos del ciclo RDE

Parámetro	**Requisitos según 2016/427/EC**	
Altitud	Moderado: 0 a 700 m	(Extendido: 700 a 1300 m)
	< 100 m de diferencia de altura entre la salida y la meta	
	El desnivel acumulado está limitado a 1200 m/100 km	
Temperatura ambiente	Moderado: 0 °C a 30 °C	(Extendido: -7 °C – 0 °C y 30 °C – 35 °C)
Dinámica	Máx.: percentil 95 de v*a (velocidad*aceleración positiva)	Min: RPA (aceleración positiva relativa)
Velocidad máxima	145 km/h (160 km/h durante el 3 % del tiempo de conducción en autopista)	
Carga útil	Máximo 90% del peso máximo del vehículo (conductor + equipamiento)	
Porcentaje de parada	Entre el 6% y el 30% del tiempo de conducción urbana	
Uso de sistemas auxiliares	Operado como en la vida real (aire acondicionado, etc.), no para ser registrado	

Condiciones límite. Fuente: Hooftman et al., 2018

Algunos de los principios impuestos por la norma EURO 6 no son aplicables en la ciudad de Quito, Ecuador tanto por razones geográficas como de normativa legal por lo que se proponen las siguientes modificaciones para el ensayo:

- Teniendo en cuenta que la altura promedio de Quito es de 2850 m, la estimación de esta ruta iniciará a una altura de 2872 m y terminará a una altura de 2631 m, que a pesar de que no se cumple los 100 m de diferencia entre los puntos de salida y meta, se seleccionó la autopista con más altura disponible.

- La temperatura de Quito en los días que se dispone a realizar las pruebas del experimento rodea los 16 °C en temperaturas bajas y 27 °C, por lo que cumple sin problemas este requisito.
- La dinámica toma en cuenta los datos obtenidos, ya que las restricciones para los rangos dinámicos de conducción permitidos se dan proporcionando una limitación máxima para $v*a_{pos95}$ (percentil 95 de los productos de velocidad y aceleración positiva para cada fase) y una limitación mínima para RPA (aceleración positiva relativa) (Claßen et al., 2021).
- La velocidad máxima en autopista se limitará a los 100 km/h dispuesto por la Agencia Nacional de Tránsito por lo que no puede mantenerse los 5 minutos a más de 100 km/h.
- La carga útil del vehículo cuenta solamente con el conductor y un pasajero, ya que el dispositivo que se usa para la adquisición de datos se considera con peso despreciable.
- La cantidad de semáforos y congestión vehicular presente en la ruta y horario seleccionado debe mantenerse en el porcentaje de parada indicado para la parte urbana.
- El uso de sistemas auxiliares se opera simulando una conducción real.

Antes de iniciar el ensayo, se comprueba que el vehículo no presente defectos y que no exista indicios de un mal funcionamiento. Después del primer encendido del motor de combustión, el ralentí inmediato debe mantenerse al mínimo posible y no debe superar 15 segundos. Posteriormente al arranque inicial del motor, el período de arranque en frío consume los primeros cinco minutos, sin embargo, si hay manera de verificar la temperatura del refrigerante, el arranque en frío finaliza cuando el refrigerante alcance por primera vez 343 K (70 °C), siempre y cuando no supere cinco minutos después del arranque inicial.

Para realizar las pruebas de este ensayo, el horario seleccionado es matutino alrededor de las 10 am en días laborables, puesto que en horas más tempranas se presenta mucha congestión por la movilidad hacia trabajos o instituciones educativas de los ciudadanos y en la noche no se presenta un escenario real para realizar la prueba, esto con la finalidad de tener condiciones de tráfico que garanticen obedecer los requisitos de la norma ya que el vehículo

debe circular por un tramo urbano de la ciudad a menos de 60 km/h, luego atravesar un circuito interurbano con una velocidad de entre 60 y 90 km/h y un tramo en autopista superando una velocidad de 90 km/h y cada tramo debe tener al menos una distancia recorrida de 16 km y debe representar entre el 23 y 43% de todo el recorrido (Bodisco & Zare, 2019).

Tabla 6. Condiciones del experimento

Disposición	**Parámetro**	**Cantidad**	**Unidad**
Antes del ensayo			
Recorrer	Tiempo	≥30	min
Estacionar	Tiempo	≥8	h
	Temperatura	-2 ≥ 35	°C
Durante el ensayo			
Carga	-	2	Pasajeros
Ralentí	Tiempo	≤15	seg
Arranque en frío	Tiempo	5	seg
	ó		
	Temperatura del refrigerante	70	°C
Inicio de la prueba	Hora	10	am

Resumen del experimento. Fuente: Autor

1.2 Selección de ruta

Esta prueba es realizada en la ciudad de Quito, Ecuador siendo una de las ciudades con más habitantes y la capital del país, lo que resulta en una gran cantidad de vehículos y condiciones de tráfico ideales para cumplir las condiciones reales de conducción. Al igual que García-Contreras et al., 2021, se establece una ruta que cumpla con la distancia mínima de cada parte de la ruta y limitándose a las velocidades permitidas en la ciudad para su recorrido.

Tomando en cuenta la metodología que Arredondo Ochoa et al., 2013 usaron en su propuesta de diseño de rutas turísticas para la ciudad de Jalisco, México, se determina el terreno y se hace las delimitaciones precisas según el área donde se plantea el desarrollo del proyecto, como se describe en la Tabla 7:

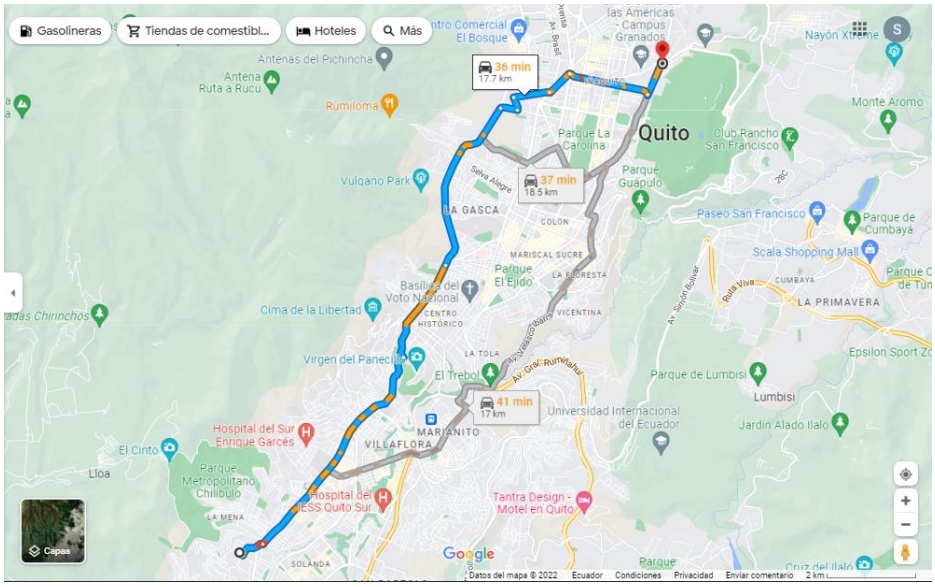
Tabla 7. Vías seleccionadas

Caracterización de las Vías	Recorridos
Vía arterial principal (urbana)	Av. Mariscal Sucre
Vía arterial secundaria (rural)	Av. Simón Bolívar
Vía rápida (autopista)	Av. Gral Rumiñahui

Caracterización de las vías. Fuente: Autor

La parte urbana, la cual es la más larga consta de 17.7 km de distancia y empieza en el sector de la Mena 2 en las calles Río Nuevo y Ecuador hasta el sector de El Beaterio en las calles Av. Eloy Alfaro y Av. De Los Granados.

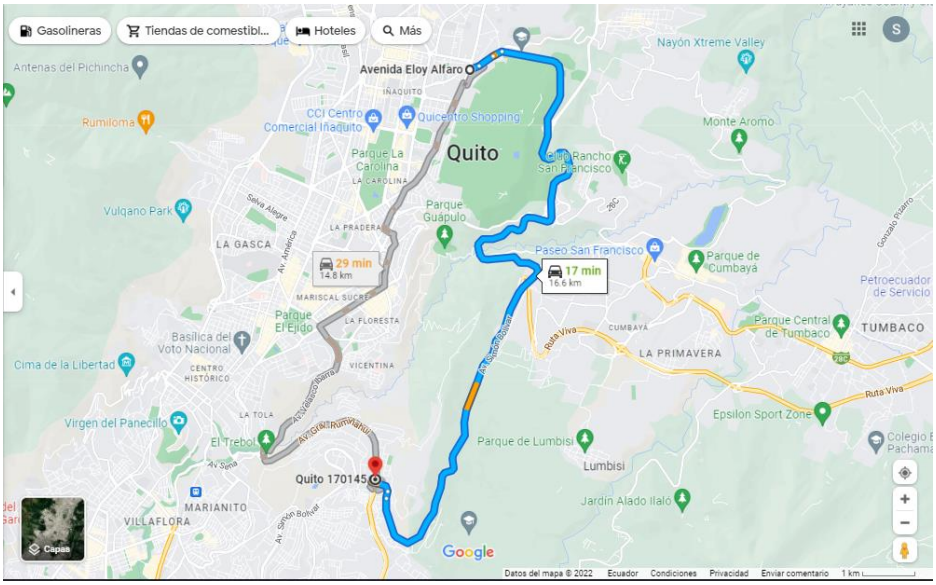
Figura 5. Parte urbana



Primera parte de la ruta. Fuente: Google Maps

La parte rural de la ruta consta de 16.6 km de distancia empezando desde el punto de llegada de la parte urbana siguiendo por la Av. Simón Bolívar hasta la altura de la Autopista General Rumiñahui.

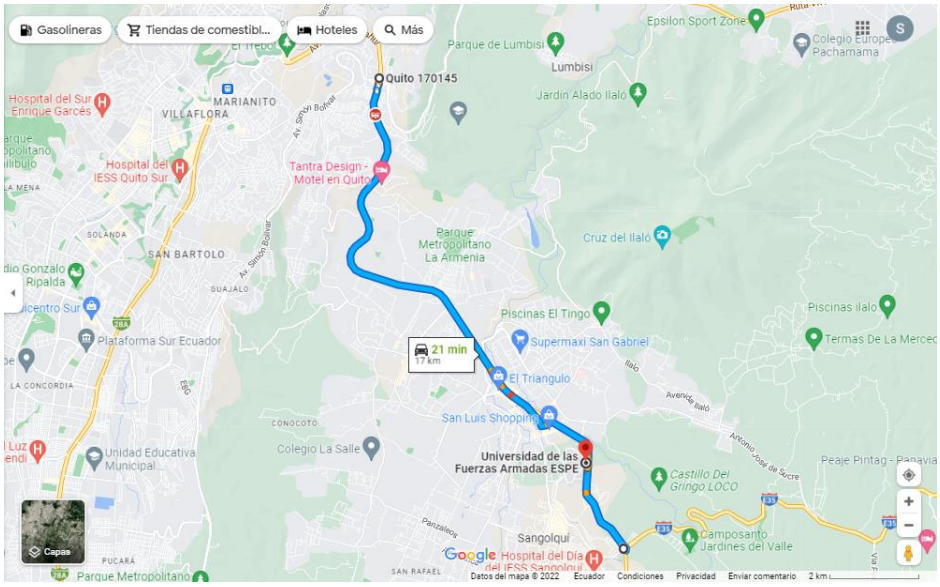
Figura 6. Parte rural



Segunda parte de la ruta. Fuente: Google Maps

Para terminar el ciclo, se toma la Av. General Rumiñahui en donde se recorre hasta el redondel de El Colibrí, y se retorna, para cumplir con la distancia mínima, hasta llegar a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE como punto de referencia alcanzando una distancia de 17 km.

Figura 7. Parte de autopista



Tercera parte de la ruta. Fuente: Google Maps

1.3 Selección de vehículos

Para realizar la propuesta de este estudio se utilizan vehículos ligeros M1 clase Sedán y N1 clase Camioneta (INEN, 2012). Los vehículos dispuestos para realizar este proyecto son dos comerciales siendo de alta demanda en el mercado ecuatoriano: un Chevrolet Sail y un Ford Ranger, los cuales pertenecen a dos de los segmentos con más ventas en el país y principalmente en la provincia, Automóvil (Sedán) y Camioneta, respectivamente. A pesar de que, durante el 2021 se comercializaron 35.081 automóviles en el país y su cuota de mercado se redujo en 3,9 %, el número de automóviles vendidos en la provincia aumentó con relación al año 2020, de 10428 a 12935 conformando el 29,3% del total de vehículos vendidos en el 2021. En el 2021, las Camionetas aumentaron sus ventas en un 50.2% con respecto al 2020 al vender 20486 unidades y en la provincia 7187 representando el 16,3% de las ventas en esta (Baldeón et al., 2022).

Las características de los vehículos seleccionados para el desarrollo de este proyecto se presentan en la Tabla 8:

Tabla 8. Vehículos seleccionados

Parámetro	**Característica**	
Marca	Chevrolet	Ford
Modelo	Sail 1.4	Ranger 2.5
Tipo	Automóvil (Sedán)	Camioneta (Doble cabina)
Año	2013	2022
Clase	M1	N1
Combustible	Gasolina	Gasolina
Potencia	109 hp	166 hp
Par motor	141 Nm	225 Nm
Cilindros	4	4
Cilindraje	1398	2488
Caja de cambios	Manual / 6 marchas	Manual / 6 marchas

Especificaciones de los vehículos. Fuente: Autor

Figura 8. Vehículos seleccionados

Vista de los vehículos. Fuente: Autor

1.4 Adquisición de datos

La datos se obtienen a través de un dispositivo Freematics ONE+ enchufado al puerto OBD2 del vehículo conectada a una antena GPS, el cual tiene masa despreciable y no influye en la prueba. Los datos se guardan en una memoria SD.

Figura 9. Freematics ONE+

Recolector de datos. Fuente: Autor

La entrada OBD2 del Chevrolet Sail se encuentra en la parte derecha abajo del volante mientras que en la Ford Ranger se encuentra en la parte izquierda abajo del volante como se presenta en la Figura 10.

1.5 Software de procesamiento de datos

Una vez hechas las pruebas se procesa los datos obtenidos en Matlab, el cual es un software de programación y cálculo que brinda las facilidades para analizar grandes cantidades de datos además permite desarrollar algoritmos y crear modelos.

Figura 10. Ubicación puerto OBD2

a) Ubicación de la entrada OBD2 Chevrolet Sail. Fuente: Autor

b) Ubicación de la entrada OBD2 Ford Ranger. Fuente: Autor

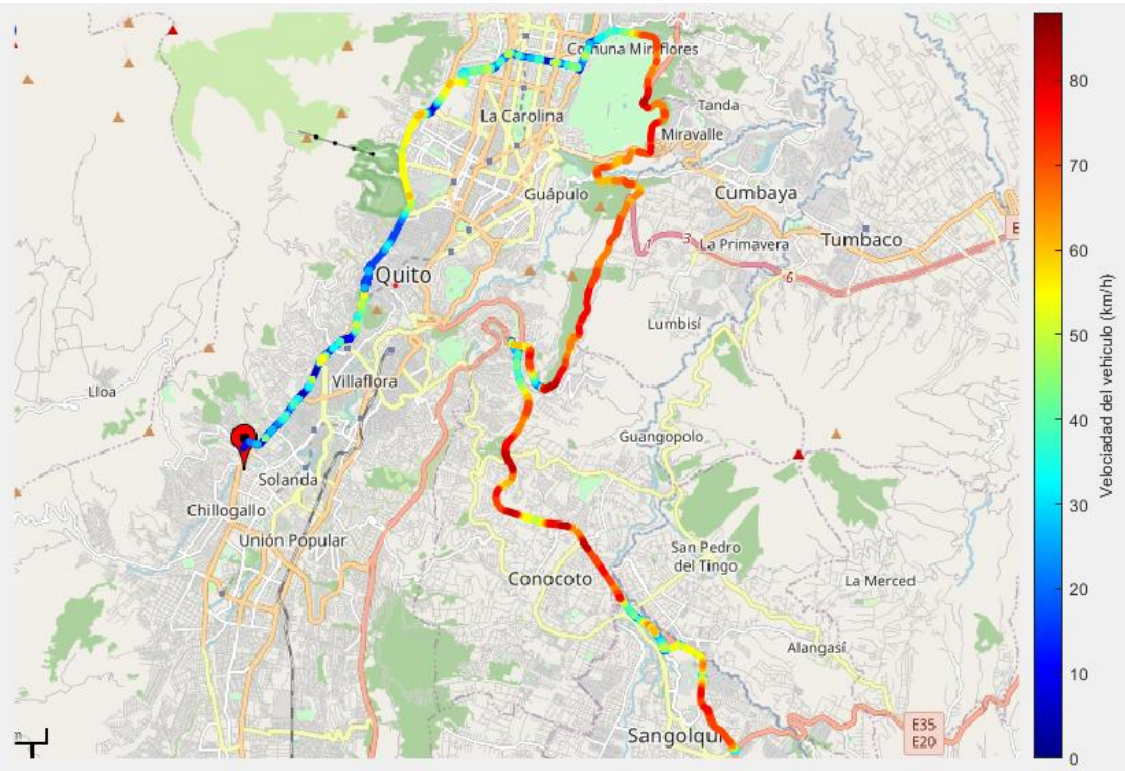
CAPITULO 2
RUTA REPRESENTATIVA

Una vez planteada la metodología para la obtención de datos y haber diseñado la ruta se realiza una primera prueba para comprobar si cumple las condiciones requeridas, caso contrario se necesario el diseño de otra ruta para el desarrollo de este proyecto.

2.1 Primera ruta planteada

La primera ruta seleccionada para probar este experimento se resume en la Figura 11 en donde se destaca la velocidad que toma el vehículo en cada tramo de la ruta. Para esta primera prueba se utiliza la camioneta Ford Ranger y se realiza la prueba a las 10 de la mañana para evitar la congestión vehicular que existe en el centro de Quito y tener las facilidades para cumplir con los requisitos.

Figura 11. Primera ruta

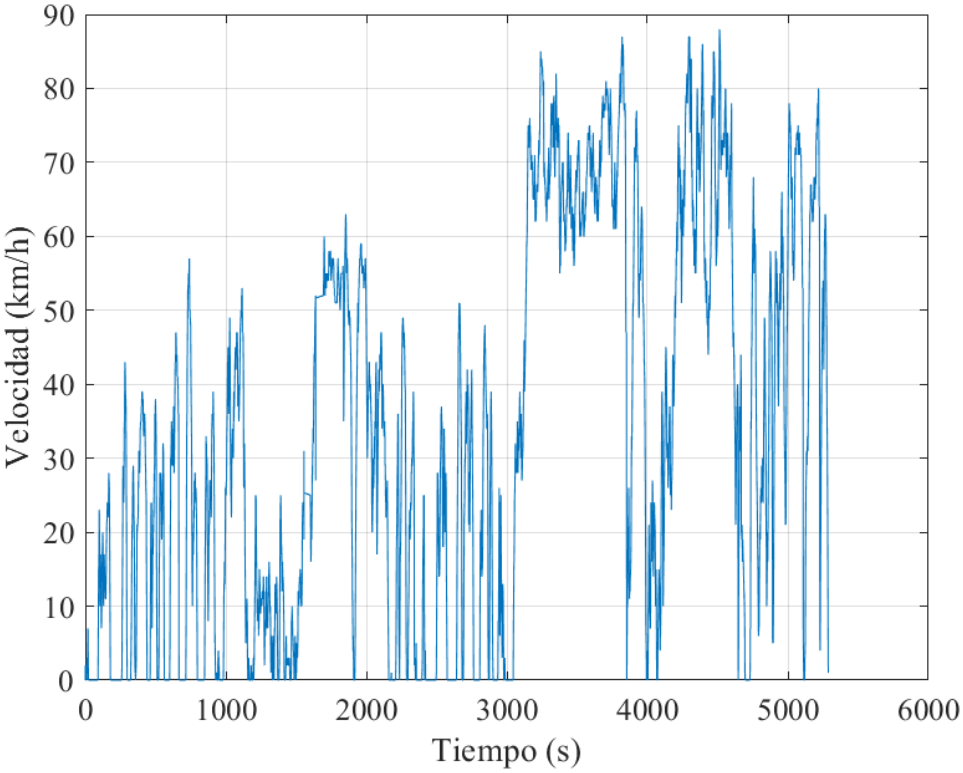


Perfil de velocidades de la primera ruta planteada. Fuente: Matlab

Primero se obtiene una gráfica de velocidad/tiempo que representa el ciclo de conducción realizado durante la primera prueba. En la Figura 12 se observa muchos picos sobre todo al

inicio que representa la parte urbana debido a la cantidad de paradas que existen como semáforos o congestión vehicular, razón por la cual no se obtiene una gráfica que sea fácil de interpretar, sin embargo, se puede apreciar el cambio de velocidades lo que indica el paso entre las diferentes partes de la ruta. En esta primera prueba el tiempo llega a 5288 segundos es decir 88.13 minutos por lo que se deduce que esta primera prueba no cumple con los requisitos.

Figura 12. Ciclo de conducción

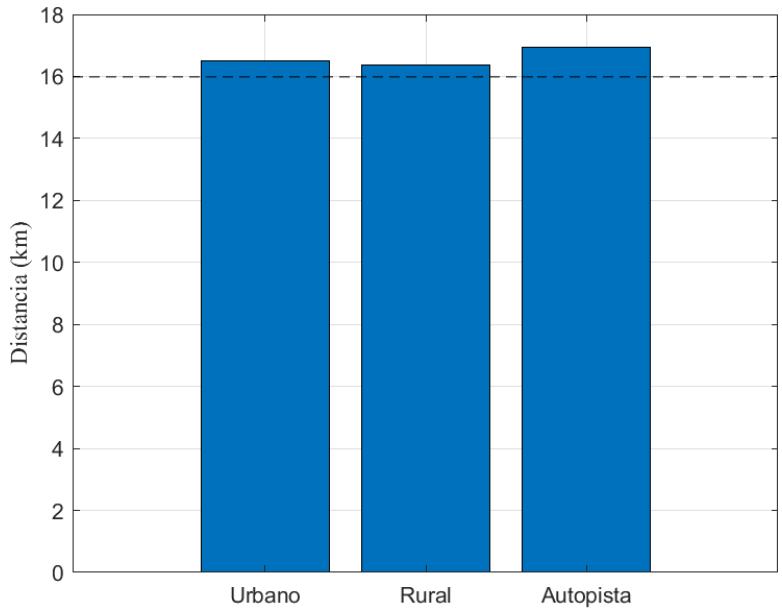


Ciclo de conducción de la primera ruta planteada. Fuente: Autor

Se procesa los datos para verificar si las demás condiciones se cumplen, caso contrario se debe replantear la ruta. La distancia es un requisito que se cumple sin problemas ya que en toda la ruta se alcanza una distancia total de 49 km y cada parte de la ruta y su porcentaje entran en las limitaciones de la norma. Con las Figura 13 y 14 se puede interpretar de mejor manera las distancias alcanzadas en esta prueba confirmando que cumplen con la distancia mínima de 16 kilómetros de cada tramo: alcanzando 16.505 km en el tramo urbano, 16.380 km en la parte rural y 16.954 km en la parte de autopista. De igual manera los porcentajes

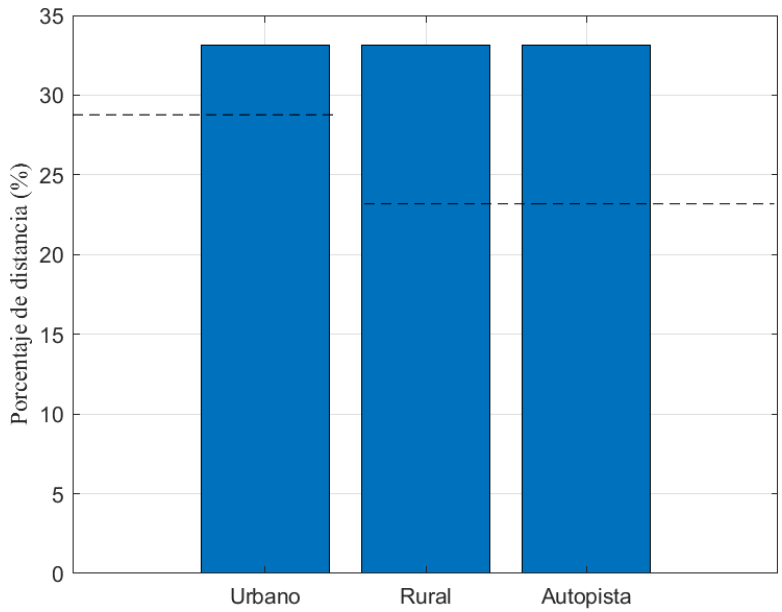
de cada tramo se ajusta a los límites de la norma, teniendo porcentajes de 33, 33 y 34% respectivamente.

Figura 13. Distancias totales



Distancia mínima de cada tramo de la primera ruta planteada. Fuente: Autor

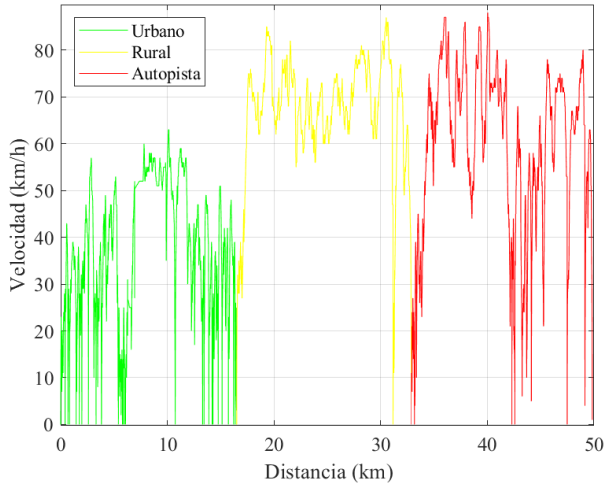
Figura 14. Porcentaje de distancia



Porcentaje de distancias de cada tramo de la primera ruta planteada. Fuente: Autor

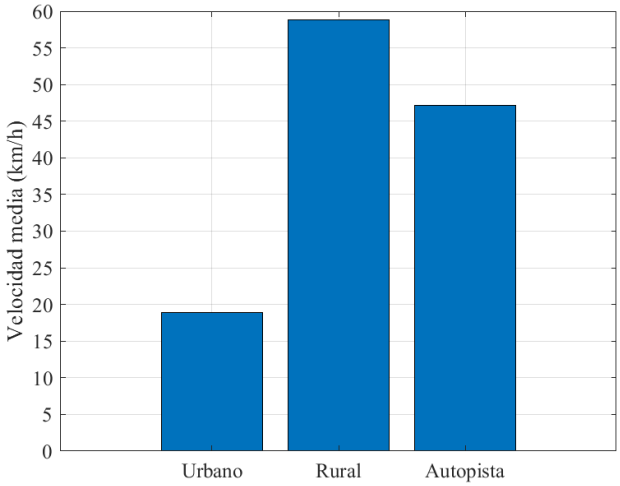
Los resultados de la prueba de la primera ruta recorrida en la Ford Ranger se presentan en la Figura 15 y 16 correspondiente a los valores de velocidad instantánea y media de cada tramo de la ruta, respectivamente. Los resultados indican que no se cumplen estos requisitos del procedimiento RDE, ya que no se alcanza la velocidad propuesta en el tramo de autopista debido a que al momento de recorrer esta ruta la Av. General Rumiñahui se encontraba en trabajos lo que lleva a tomar desvíos. Este hecho obliga a rediseñar otra ruta que presente las facilidades para el cumplimiento estas condiciones.

Figura 15. Velocidad instantánea



Gráfica velocidad distancia de la primera ruta planteada. Fuente: Autor

Figura 16. Velocidad media



Límites de velocidades de cada tramo. Fuente: Matlab

En la gráfica se observa que la velocidad media en la parte urbana es de 18.94 km/h ajustándose dentro de los límites de la norma, sin embargo, las velocidades medias de la parte rural de 58.83 km/h y de autopista de 47.19 km/h no están dentro de los límites.

En la Tabla 9 se detalla un resumen de la primera ruta planteada en la que el único requisito que no se cumple es el tiempo, lo que indica que se debe extender la distancia. También se observa que no hay un tiempo en el que se conduzca a una velocidad mayor a 100 km/h, esto debido a que los límites de velocidad impuestos por la Agencia Nacional de Tránsito no permiten exceder los 90 km/h en estas zonas, sin embargo, en las siguientes pruebas se busca mantener una velocidad que se asemeje a la requerida por la prueba para tener los resultados más similares posibles a una ruta europea

Tabla 9. Primera ruta planteada.

		Valor mínimo	Valor máximo	Valor prueba
Requisitos del experimento				
Duración	min	90	120	88
Zona Urbana				
Distancia	Km	16	-	16.505
Porcentaje de distancia	%	29	44	33
Tiempo de parada	%	6	30	29.65
Parada más larga	%	-	80	9.04
Velocidad media	km/h	15	30	18.94
Zona Rural				
Distancia	Km	16	-	16.380
Porcentaje de distancia	%	23	43	33

Zona Autopista				
Distancia	Km	16	-	16.950
Porcentaje de distancia	%	23	43	34
Tiempo velocidad 100 km/h	min	5		

Resumen de los datos obtenidos con el Ford Ranger. Fuente: Autor

2.2 Segunda ruta planteada

La segunda ruta puesta a prueba se realiza en el sur de la ciudad, y en su diseño, especificado en la Tabla 10, se establece teóricamente la distancia de 68,9 kilómetros y un tiempo de 93,13 minutos recorriendo las vías presentadas en la Tabla 10.

Tabla 10. Diseño de la ruta

	Urbano	**Rural**	**Autopista**
Distancia (km)	22,4	20,8	25,7
Velocidad (km/h)	22,5	70	90
Tiempo (min)	59,73	17,82	17,13

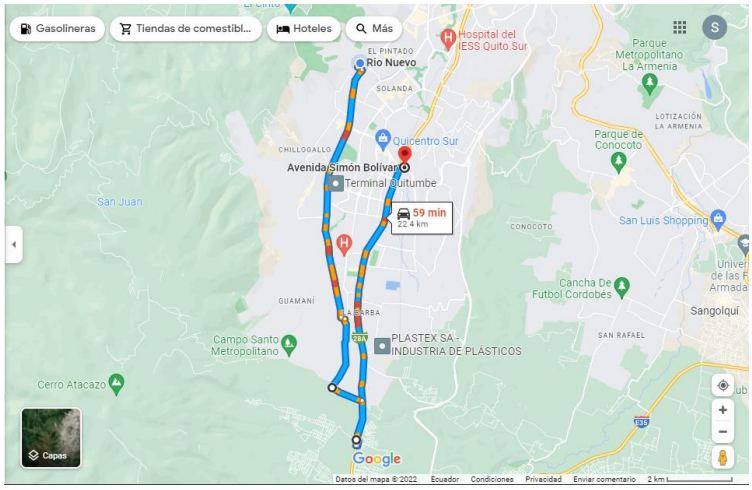
Parámetros de la segunda ruta. Fuente: Autor

Tabla 11. Vías seleccionadas

Caracterización de las Vías	**Recorridos**
Vía arterial principal (urbana)	Av. Mariscal Sucre Av. Pedro Vicente Maldonado
Vía arterial secundaria (rural)	Av. Simón Bolívar Av. Morán Valverde
Vía rápida (autopista)	Ruta Viva

Caracterización de Vías. Fuente: Autor

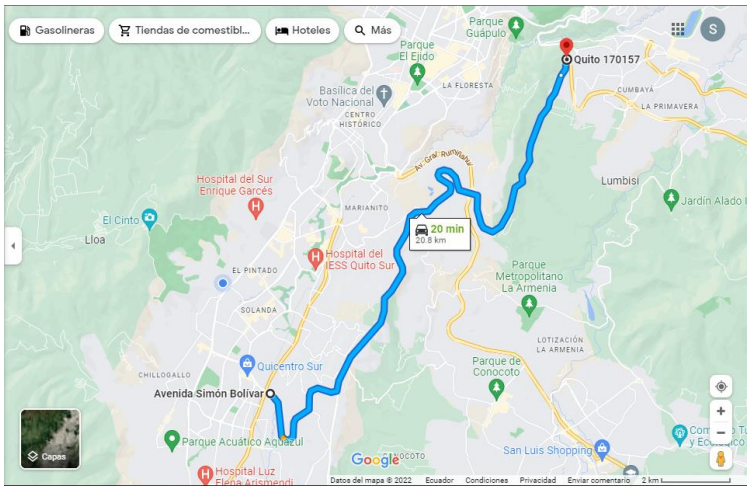
Figura 17. Parte urbana



Primera parte ruta válida. Fuente: Autor

Este recorrido empieza en la Calle Río Nuevo y Ecuador en el sector de la Mena 2, recorriendo la Av. Mariscal Sucre hacía el sur hasta tomar la calle Patricio Romero Barberis en el sector de Guamaní, luego al salir en la Av. Pedro Vicente Maldonado se recorre al sur hasta la entrada a Cutuglahua y se retorna hasta el puente de Guajaló, punto donde finaliza la parte urbana de la ruta recorriendo 22.4 kilómetros.

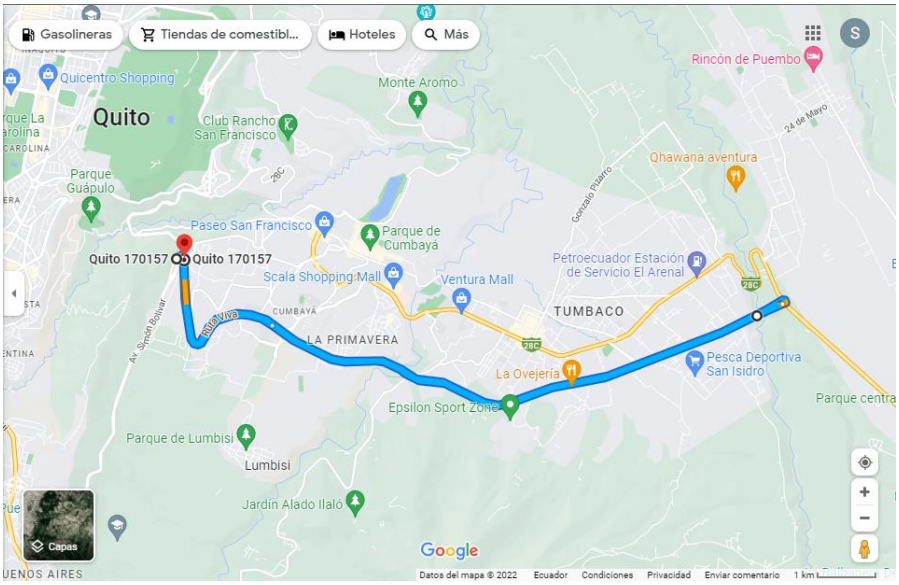
Figura 18. Parte rural



Segunda parte ruta válida. Fuente: Autor

La parte rural empieza desde la Av. Morán Valverde tomando la vía Av. Simón Bolívar hasta la entrada de la Ruta Viva alcanzando 22,5 kilómetros.

Figura 19. Parte de autopista

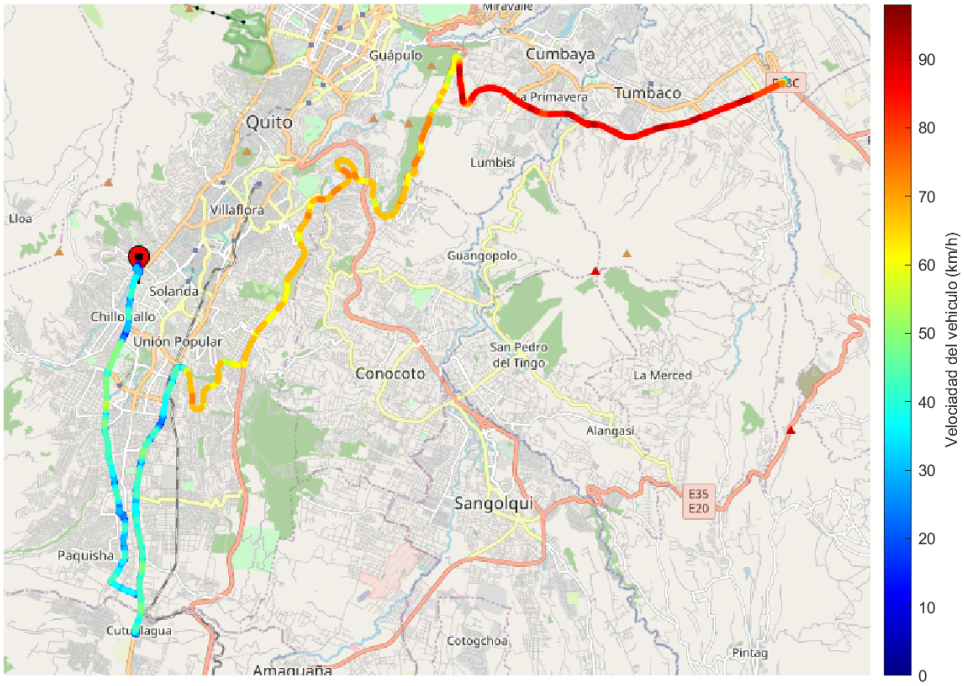


Tercera parte ruta válida. Fuente: Autor

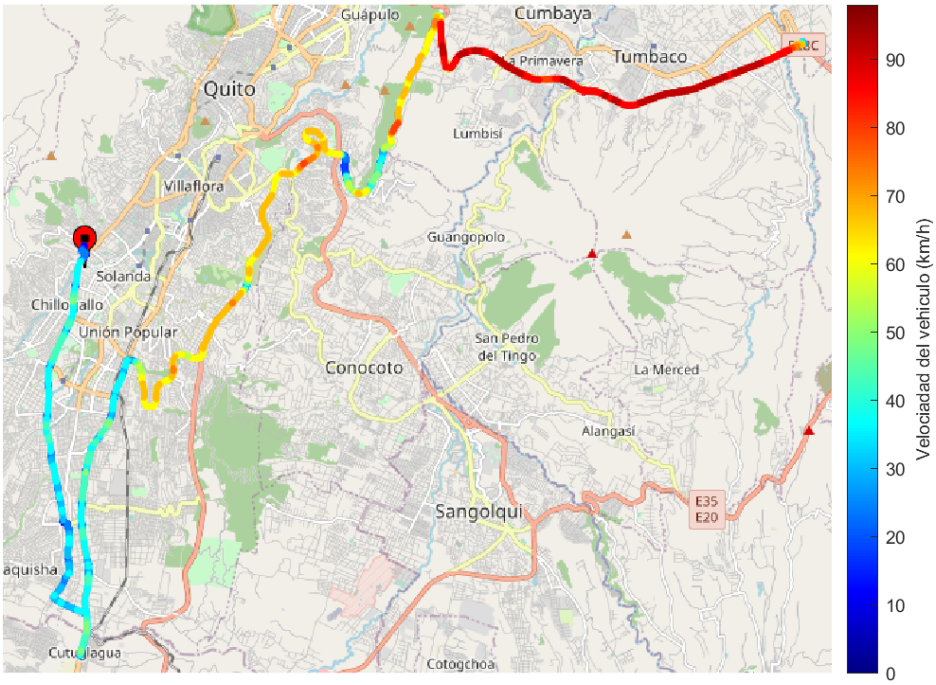
Finalmente, se toma la Ruta Viva y se recorre hasta el redondel que conecta con la Av. Oswaldo Guayasamín y se regresa hasta la Av. Simón Bolívar para cumplir la distancia mínima alcanzando 25.7 km.

Una vez rectificada la ruta que cumpla los requisitos, se realizan 2 pruebas más en cada vehículo para tener un medio estadístico que pueda ratificar la validez de esta. La adquisición de estos datos se las hace alrededor de las 7 de la mañana en el Chevrolet Sail y alrededor de las 10:30 de la mañana en la Ford Ranger cumpliendo con el tiempo y distancias requeridos.

Figura 20. Segunda ruta planteada



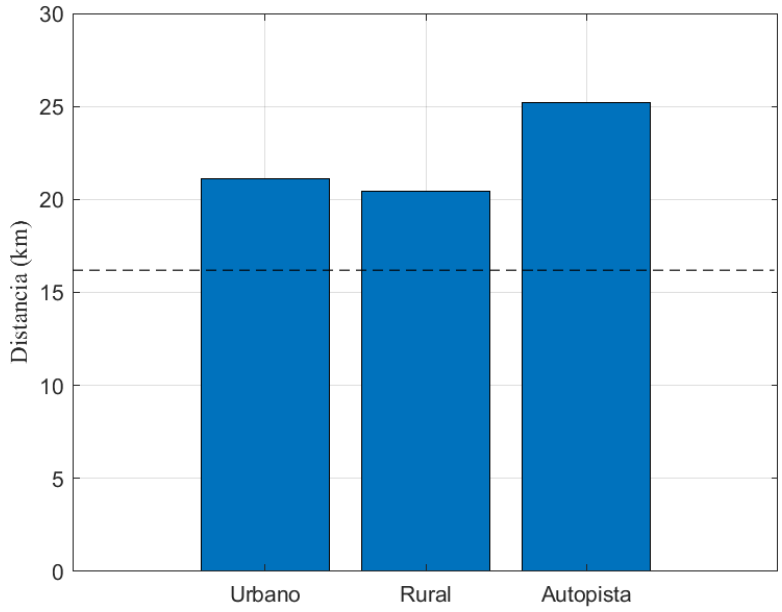
a) Prueba realizada en la Ford Ranger. Fuente: Autor



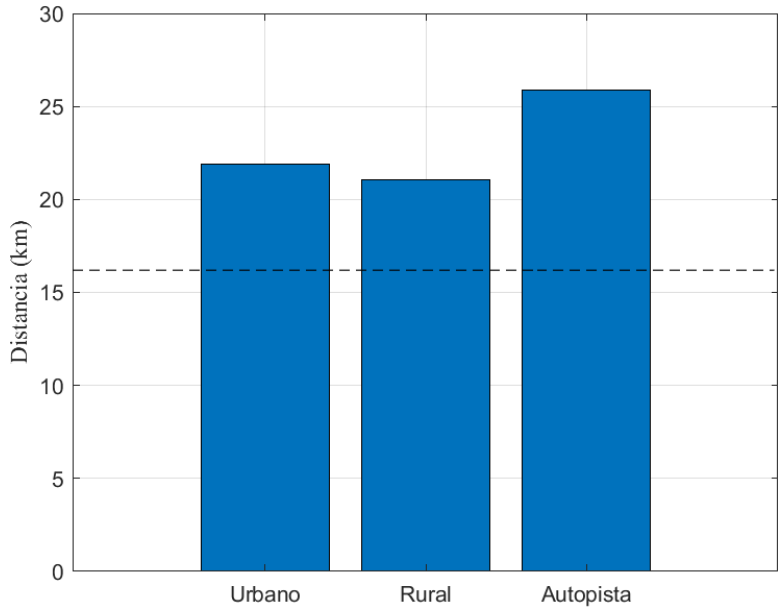
b) Prueba realizada en el Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Las distancias de esta ruta aumentan y se logran recorrer en los límites de tiempo requeridos. En la Figura 21 se muestra una media de las distancias de las pruebas realizadas, y en la Figura 22 se presentan sus porcentajes obtenidos con cada vehículo.

Figura 21. Distancias totales de cada tramo

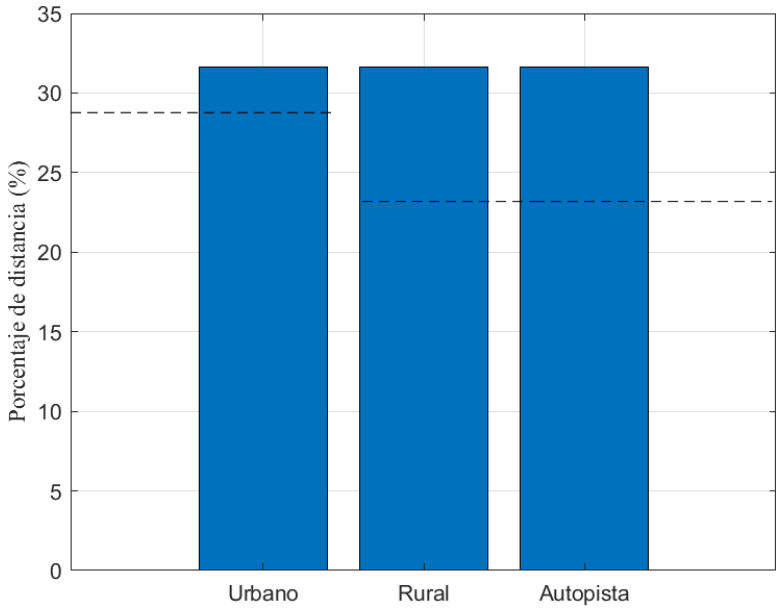


a) Distancias de la ruta aprobada en el Ford Ranger. Fuente: Autor

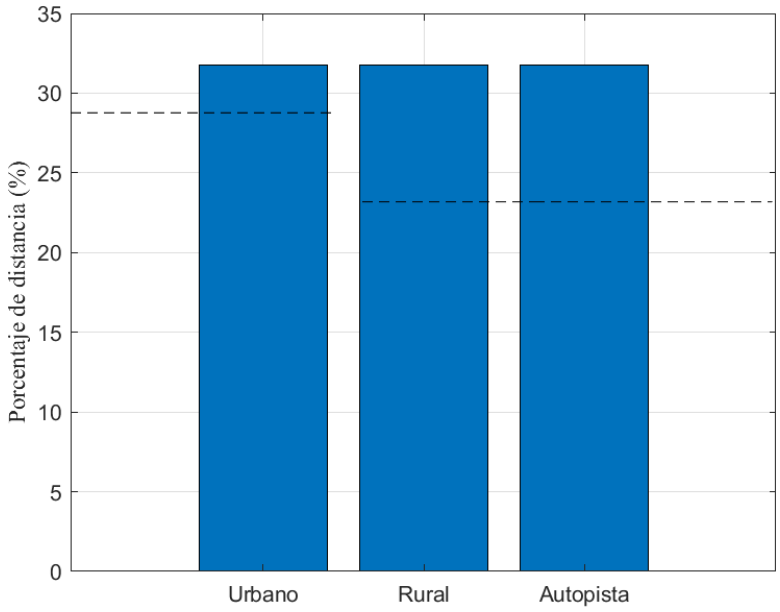


b) Distancias de la ruta aprobada en el Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Figura 22. Porcentaje de distancias



a) Porcentaje de distancias de cada tramo de la ruta en Ford Ranger. Fuente: Autor



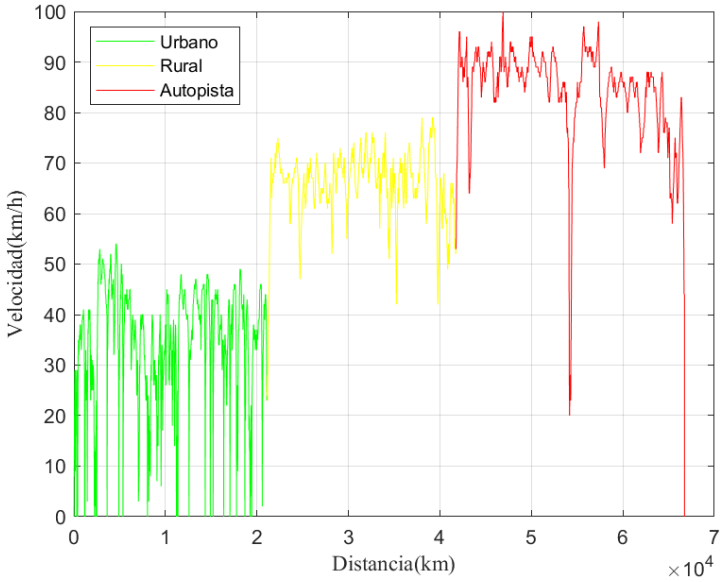
b) Porcentaje de distancias de cada tramo de la ruta en Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Al tener distancias más largas en la segunda ruta planteada, se logra alcanzar un tiempo que no excede el límite de la ruta RDE, y al realizar las pruebas se analizan cuál de ellas presentan los mejores resultados en cuanto a velocidad, ya que en la ciudad de Quito por la congestión

vehicular es difícil que siempre se presente las facilidades para llevar a cabo un proyecto como este.

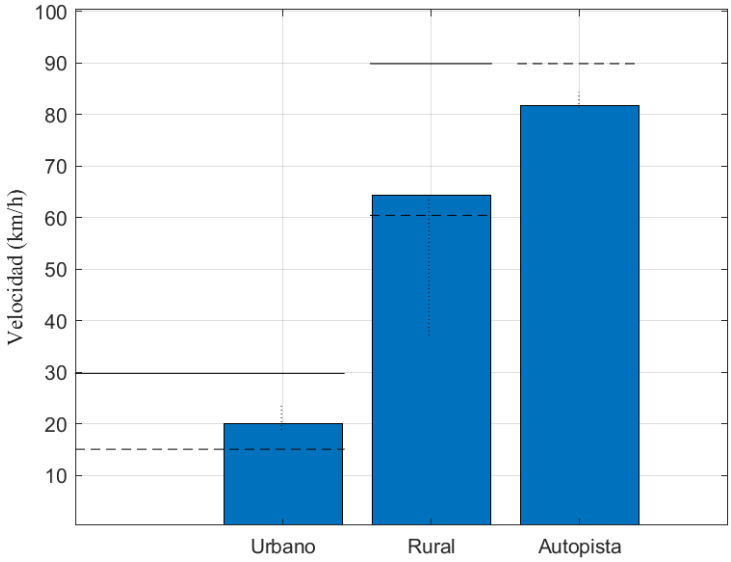
Todos los resultados de las pruebas realizadas se presentan en el apartado de anexos, sin embargo, aquí se enfatiza la que mejor resultado muestra. En las Figuras 23 y 24 se presentan la velocidad instantánea y las velocidades medias respectivamente.

Figura 23. Velocidad instantánea



Gráfica obtenida de prueba 1 Ford Ranger. Fuente: Autor

Figura 24. Velocidades medias



Pruebas válidas. Fuente: Autor

En la Tabla 12 y 13 se presenta un resumen de las pruebas de la segunda ruta planteada realizada por el Ford Ranger y Chevrolet Sail, respectivamente. Estas tablas ratifican la validez de la ruta planteada al cumplir con los requisitos marcados por la norma Euro 6 para ser considerada como RDE.

Tabla 12. Segunda ruta planteada

		Valor mínimo	Valor máximo	Valor prueba 1	Valor prueba 2	Valor prueba 3
Requisitos del experimento						
Duración	min	90	120	105.02	104.98	97.35
Zona Urbana						
Distancia	Km	16	-	21.09	21.08	21.09
Porcentaje de distancia	%	29	44	31.61	31.61	31.59
Tiempo de parada	%	6	30	29.22	19.22	26.51
Parada más larga	%	-	80	8.14	17.81	9.12
Velocidad media	km/h	15	30	18.62	23.09	21.33
Zona Rural						
Distancia	Km	16	-	20.66	20.36	20.32
Porcentaje de distancia	%	23	43	30.96	30.54	30.43
Zona Autopista						
Distancia	Km	16	-	24.98	25.23	25.36

Porcentaje de distancia	%	23	43	37.43	37.85	37.98
Tiempo velocidad 100 km/h	min	5				

Resumen de los datos obtenidos con el Ford Ranger. Fuente: Autor

Tabla 13. Segunda ruta planteada

		Valor mínimo	Valor máximo	Valor prueba 1	Valor prueba 2	Valor prueba 3
Requisitos del experimento						
Duración	min	90	120	102.45	100.19	114.67
Zona Urbana						
Distancia	Km	16	-	21.87	21.88	21.86
Porcentaje de distancia	%	29	44	31.75	31.77	31.78
Tiempo de parada	%	6	30	22.91	22.69	21.28
Parada más larga	%	-	80	8.68	8.6	11.4
Velocidad media	km/h	15	30	22.49	23.19	22.31
Zona Rural						
Distancia	Km	16	-	21.11	21.11	21.02
Porcentaje de distancia	%	23	43	30.63	30.65	30.56
Zona Autopista						

Distancia	Km	16	-	25.93	25.88	25.91
Porcentaje de distancia	%	23	43	37.62	37.58	37.66
Tiempo velocidad 100 km/h	min	5				

Resumen de los datos obtenidos con el Chevrolet Sail. Fuente: Autor

CAPITULO 3
EMISIONES ENCONTRADAS

Para establecer las emisiones producidas por los vehículos en ruta, es necesario contar con un Sistema de medición de emisiones portátil (PEMS), que permite obtener los factores de emisión de CO_2, CO, THC, NOx y O_2 en vehículos de gasolina, con mediciones adicionales de material particulado en vehículos diésel (Montufar et al., 2020).

Fernandes et al., (2019) comprobaron si los datos observables internamente del vehículo (IOV) son buenos predictores de las emisiones del vehículo, realizando las mediciones de campo en cuatro vehículos diésel, 2 pequeños, 1 mediano y un multipropósito, utilizando PEMS, GPS y OBD para medir las emisiones en el mundo real y tener datos de la actividad del motor, encontrando que, mediante la aceleración positiva relativa (RPA) y la aceleración positiva media (MPA) les permiten diferenciar los viajes en carretera, los modelos IOV basados en el producto de la presión absoluta del colector (MAP) y las revoluciones por minuto (RPM) del motor y la potencia especifica del vehículo (VSP) demostraron ser buenos predictores de las tasas de emisión.

En el estudio de Yao & Song, (2013), mediante los datos PEMS obtenidos en vehículos ligeros de gasolina, y vehículos diésel medianos y pesados en las carreteras de Beijing, establecieron modelos para medición de emisiones vehiculares de consumo de combustible, analizando la influencia que existe de la velocidad, la aceleración y demás condiciones de conducción en las emisiones a través del VSP. Como resultado, se propuso un algoritmo de planificación de rutas ecológicas reduciendo las emisiones de CO_2 (en un 8% para vehículos ligeros) y consumo de combustible en todo tipo de vehículo.

La eficacia de los datos obtenidos PEMS permiten realizar grandes investigaciones en base a las rutas recorridas por vehículos de todo tipo sea por encendido por chispa o compresión, sin embargo, es poco accesible un equipo como este ya que según Montufar et al., (2020), el elevado coste de inversión de los equipos homologados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) frena el avance en estudios de las emisiones reales de los vehículos. Razón por la cual se propone encontrar las emisiones mediante la potencia específica del vehículo (VSP) y el consumo de combustible obtenido al recorrer las rutas

planteadas. Como en el trabajo de Duarte et al., (2014) donde se utilizaron los datos de certificación obtenidos de 14 vehículos diésel para el desarrollo de una metodología de estimación de consumo de combustible y tasas de emisión de NO_X de acuerdo con el VSP. Este método permite evaluar el consumo del vehículo usando estos datos, evitando la medición en carretera, y así establecer vínculos entre la certificación y la operación del vehículo en el mundo real.

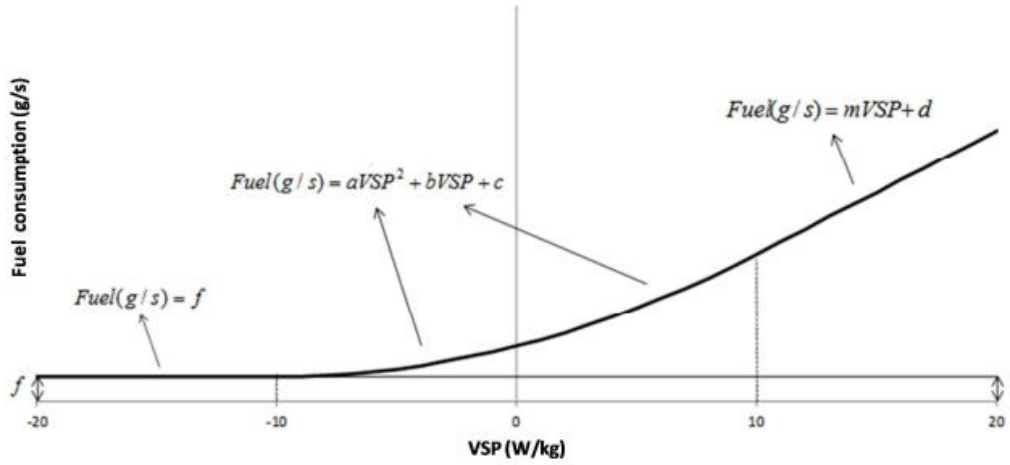
Los datos obtenidos en carretera se analizan en la metodología VSP para asignar la demanda de potencia correspondiente en cada segundo del trayecto, y según (Luis Jiménez-Palacios, 1999), se puede encontrar mediante una combinación de velocidad, aceleración y pendiente de la carretera, como se muestra en la siguiente formula:

$$VSP = v \cdot (1.1 \cdot a + 9.81 \cdot r + 0.132) + 3.02 \cdot 10^{-4} \cdot v^3 \qquad \text{Ec. (1)}$$

Donde: VSP es la potencia específica del vehículo (W/kg); v es la velocidad instantánea (m/s), a es la aceleración instantánea (m/s^2) y r es la pendiente de la carretera (°).

Dicho trabajo les resultó en seis variables desconocidas y tres ecuaciones genéricas. La tasa de consumo de combustible según el VSP, derivadas de la operación en carretera se presenta en la Figura 25.

Figura 25. Tendencia del consumo del combustible con respecto a VSP



Usando tres ecuaciones genéricas y seis variables. Fuente: (Duarte et al., 2014)

De esta manera es como (Liu et al., 2017) desarrollaron modelos para predecir las emisiones de CO_2 y NO_X basándose en el 70% de cada conjunto de vehículos, permitiendo a (Fernandes et al., 2022) generar un modelo de ecuaciones ajustadas para las tasas de emisión de CO_2 y NO_X por intervalo de velocidad con ajustes presentadas a continuación:

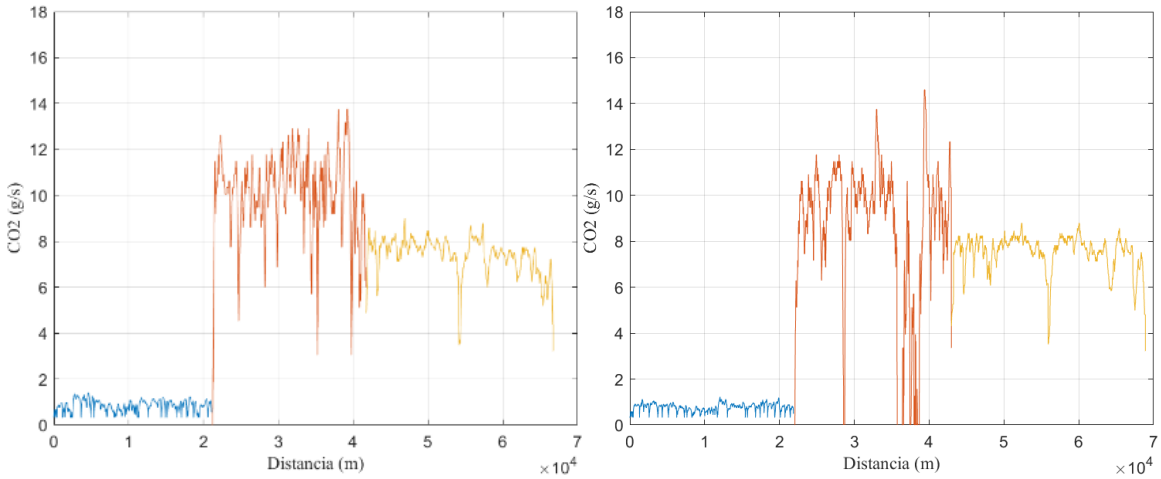
$$m_{v,CO_2} = \begin{cases} 0.000316v^2 + 0.002906v + 0.324582 \ (R^2 = 0.33, Fsig < 0.01), \ \ v \leq 50\ km/h \\ -0.00187v^2 + 0.311689v - 9.70259 \ (R^2 = 0.39, Fsig < 0.01), \ \ 50 \leq v \leq 90\ km/h \\ 0.00057v^2 + 0.000972v - 3.22016\ (R^2 = 0.62, Fsig < 0.01), \ \ v \geq 90\ km/h \end{cases} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$m_{v,NOx} = \begin{cases} 0.006389v^2 + 0.0025112v + 2.523203\ (R^2 = 0.36, Fsig < 0.01), \ \ v \leq 50km/h \\ -0.09108v^2 + 13.67333v - 447.009\ (R^2 = 0.36, Fsig < 0.01), \ \ 50 < v \leq 90km/h \\ 0.212289v^2 - 42.0798v + 2116.014\ (R^2 = 053, Fsig < 0.041), \ \ v \geq 90km/h \end{cases} \quad \text{Ec. (3)}$$

3.1 Emisiones de CO_2

Para estimar las emisiones de CO_2 que los vehículos emitieron al recorrer esta ruta, se utiliza la ecuación 2, que representa el ajuste más eficiente de la metodología descrita, y los resultados se analizan en función a las gráficas obtenidas de la prueba que mejores resultados muestra.

Figura 26. Emisiones de CO_2



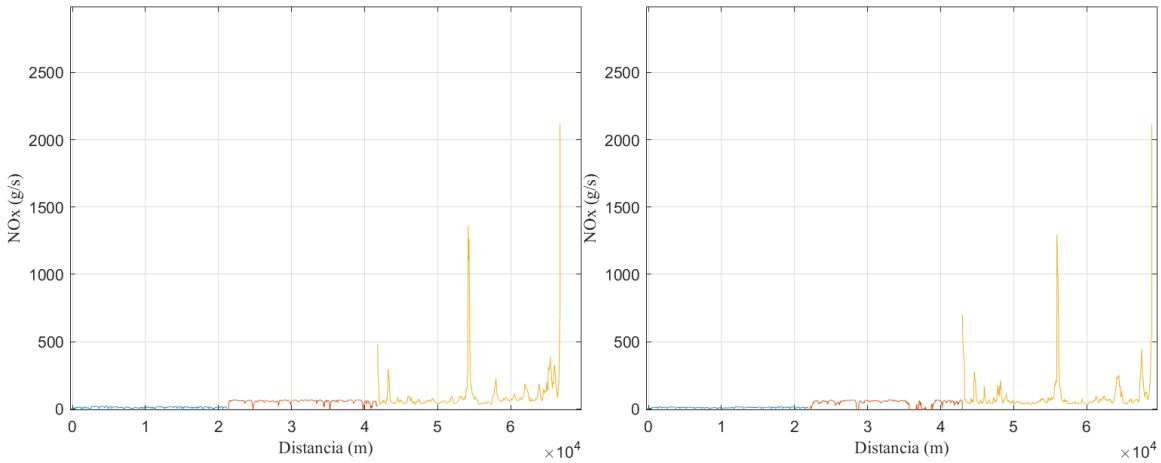
a) Prueba en Ford Ranger. b) Prueba en Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Las gráficas obtenidas presentan cambios en el comportamiento de las emisiones cuando se pasa a la parte rural y autopista en ambos vehículos, al adoptar una metodología que está diseñada para Portugal la cual se basa en la velocidad resultando en las variaciones mostradas. Es necesario el análisis mediante el software usado para clarificar los resultados.

3.2 Emisiones de NO_X

En teoría la ecuación 3 presenta un mejor ajuste para la estimación de emisiones de NO_X a comparación de la usada para las emisiones de CO_2, sin embargo, al procesar con los datos obtenidos se tiene gráficas más estables.

Figura 27. Emisiones de NO_X



a) Prueba en Ford Ranger. b) Prueba de Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Se presenta valores de emisiones de NO_X estables, pero existen pequeñas variaciones que pueden generarse por factores no controlables como sonido o vibraciones, lo que provoca que no sea fácil interpretar los resultados. Se comprueba mediante el software usado que los valores obtenidos se encuentran dentro de un rango real de emisiones, los resultados obtenidos se discuten en el siguiente capitulo para una mejor interpretación.

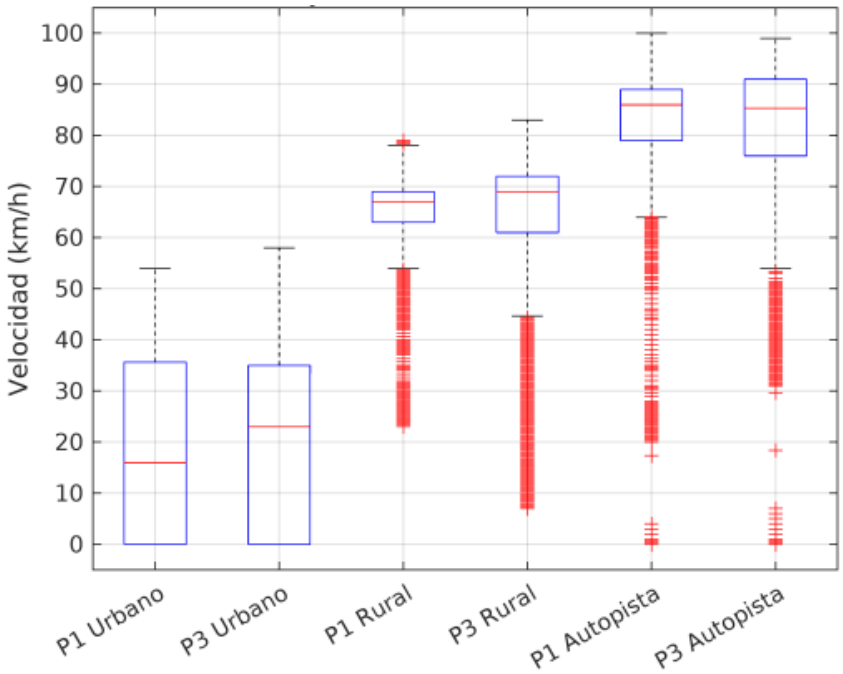
CAPÍTULO 4
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El marco teórico explica detalladamente por qué para tener un control de las emisiones producidas por los vehículos como CO_2, NO_X o HC es necesario adoptar la norma Euro 6, la que establece que se de cumplir ciertas condiciones al recorrer un ciclo de emisiones reales (RDE) para hacer un análisis de las emisiones obtenidas, lo cual determina la homologación o no de los vehículos manipulados en este tipo de pruebas.

La primera ruta tiene características cercanas a las buscadas, sin embargo, por los hechos acontecidos al realizar la prueba no se pudieron alcanzar. Al recorrer la segunda ruta se puede comprobar que los valores obtenidos en los dos vehículos de prueba cumplen con los requisitos que establece la norma, tomando en cuenta que es necesario recorrer esta ruta alrededor de las 10 de la mañana y esperando que no se presenten accidentes de tránsito en la Av. Simón Bolívar que es una zona con alto porcentaje de accidentes, lo que puede influir en el tiempo y velocidades que se buscan alcanzar.

4.1 Velocidades Ford

Figura 28. Media de velocidades

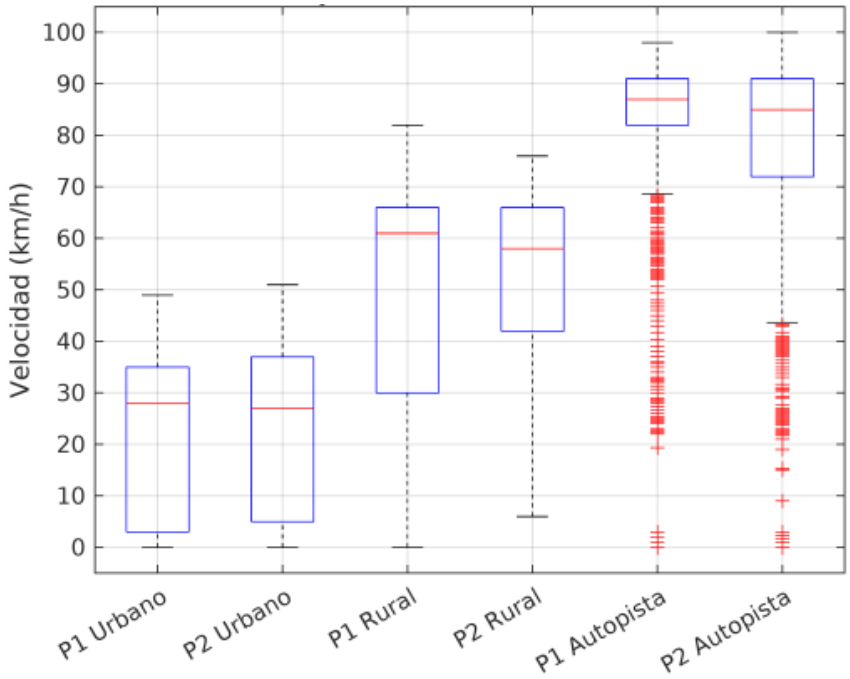


Resultado de velocidades obtenidas en la camioneta. Fuente: Autor

Las velocidades que mostraron mejores resultados en este vehículo fueron los realizados en la prueba 1 y 3, y en la Figura 28 se muestran medias similares. En el tramo urbano y rural la prueba 3 tiene valores más altos por las diferentes condiciones de tráfico que se presentó en el día de realizar las pruebas, y los resultados en la parte de autopista ratifican las limitaciones de velocidad.

4.2 Velocidades Sail

Figura 29. Media de velocidades



Resultado de velocidades obtenidas en el sedán. Fuente: Autor

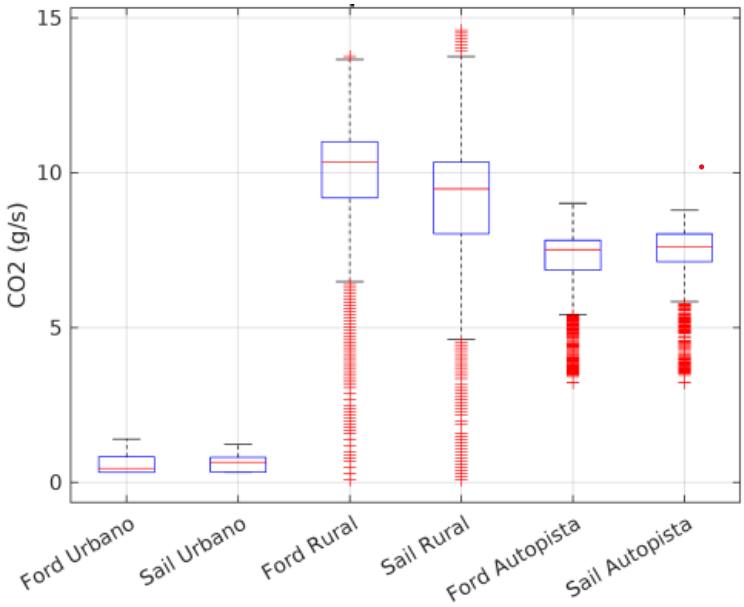
Los resultados presentados en la Figura 29 son en base a la prueba 1 y 2 que se realizó en este vehículo teniendo también medias similares en las velocidades de esta ruta.

4.3 Análisis de emisiones

A través de los modelos de ecuaciones ajustadas para las tasas de emisiones CO_2 y NO_X según la velocidad instantánea, los resultados obtenidos de todas las pruebas realizadas se presentan en el apartado de anexos, sin embargo, a continuación, se detalla las diferencias entre los resultados obtenidos en cada vehículo.

4.3.1 Diferencias en las emisiones de CO_2

Figura 30. Emisiones CO_2



Comparación de emisiones de CO_2 en los vehículos. Fuente: Autor

Mediante la gráfica presentada en la Figura 31 se puede diferenciar los resultados obtenidos en cada vehículo y en cada tramo de la ruta, mostrando que la Ford Ranger presenta menos emisiones de CO_2 a comparación de las emisiones del Chevrolet Sail debido a la tecnología y los sistemas de postratamiento de emisiones con la que cuenta, a pesar de que en el tramo rural la camioneta emite más CO_2.

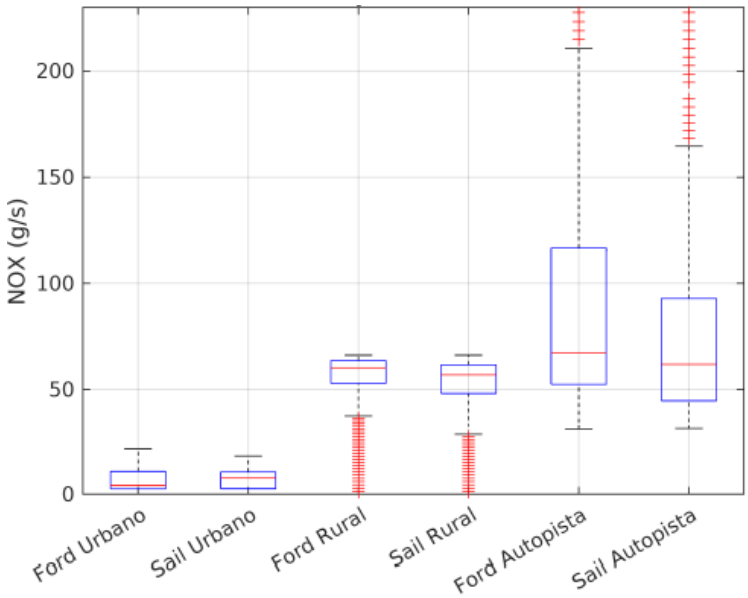
Tabla 14. Resultado emisiones CO_2

Parámetro	**CO_2 (g/s)**	
Vehículo	**Ford Ranger**	**Chevrolet Sail**
Urbano	0.45	0.65
Rural	10.34	9.48
Autopista	7.52	7.61

Diferencias entre el Ford Ranger y Chevrolet Sail. Fuente: Autor

4.3.2 Diferencias en las emisiones de NO_X

Figura 31. Emisiones de NO_X



Comparación de NO_X. Fuente: Autor

Los resultados de NO_X tienen bastantes datos atípicos que no facilitan la interpretación de estos, sin embargo, en la Tabla 15 se especifica las medias obtenidas. De igual manera la tecnología de la Ford Ranger influye en las concentraciones de NO_X siendo menores que las del sedán y presenta más emisiones en el tramo de autopista a comparación de los resultados de CO_2.

Tabla 15. Resultado emisiones NO_X

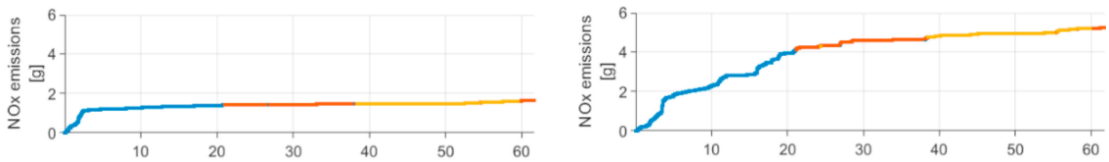
Parámetro	**NO_X (g/s)**	
Vehículo	**Ford Ranger**	**Chevrolet Sail**
Urbano	4.19	7.60
Rural	60.24	66.16
Autopista	67.24	61.88

Diferencias entre el Ford Ranger y Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Si bien al inicio de la ruta se produce un incremento en las emisiones al no completar la temperatura ideal de funcionamiento del motor, en el tramo urbano las emisiones de CO_2 y NO_X se mantienen bajas al tener velocidades promedio menores a 30 km/h. El tramo rural es el que mayor emisión produce debido a las aceleraciones y desaceleraciones que se realizan, y en la parte de autopista se reducen y se estabilizan las emisiones debido a que se mantiene velocidades constantes inferiores al límite de 90 km/h.

Los resultados de ambas emisiones tienen una estimación muy cercana a la real presentando un rango similar al que García-Contreras et al., 2021 presentan en su trabajo para la obtención de NO_X, obviamente con rangos más bajos debido a la tecnología de los vehículos europeos y a las características geográficas y diseño de las carreteras de cada ruta.

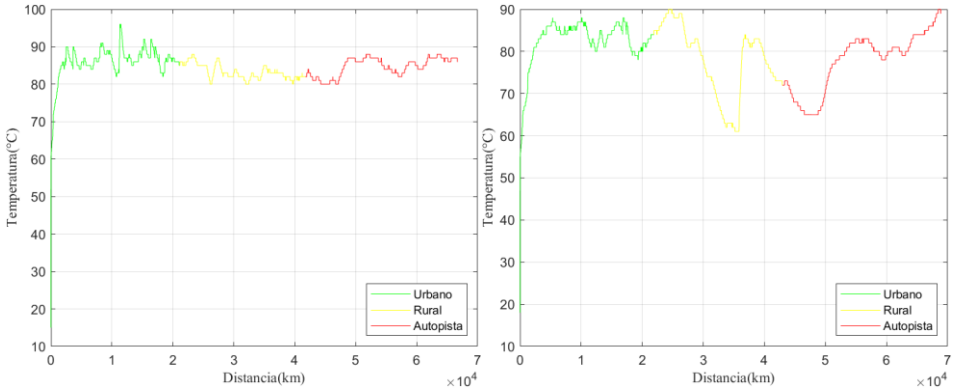
Figura 32. Emisiones de NO_X



Segmento C. SUV. Fuente:(García-Contreras et al., 2021)

Los dos vehículos presentan el mayor incremento de emisiones de ambos gases hasta el momento en que se alcanza la temperatura de trabajo del motor como se presenta en la Figura 34, ya que hasta llegar a este momento las emisiones no son controladas por el catalizador del vehículo. En la Figura 34 se observa que al sedán le toma más tiempo en llegar a la temperatura de trabajo del motor razón por la que es el vehículo que más emisiones produce.

Figura 33. Temperatura del refrigerante



a) Ford Ranger. b) Chevrolet Sail. Fuente: Autor

CONCLUSIONES

- Los resultados de realizar esta prueba en la ciudad de Quito, tiene ciertas variables no controlables como el tráfico que puede existir, puesto que si se realizan en horas de la mañana existe congestión como resultado de la movilización de la ciudadanía y si se realiza a horas más tardías hay la probabilidad de que existan accidentes de tránsito que influyan en el tiempo y velocidades a las que se quieren alcanzar en este proyecto. Para llevar a cabo la metodología indicada, el horario que brinda las mejores prestaciones para cumplir los requisitos indicados es alrededor de la 10 y 11 de la mañana, ya que no se presenta congestión vehicular que impida alcanzar la velocidad y tiempo.

- Al realizar la adaptación de una norma europea, requisitos como la altura y la velocidad en el tramo urbano fueron imposibles de alcanzar por la situación geográfica y normas de tránsito establecidas. Sin embargo, las demás consideraciones sirven para confirmar la estimación de esta ruta de emisiones reales para la ciudad de Quito.

- Al tomar en cuenta una metodología basada en la velocidad para representar las emisiones producidas es posible realizar un análisis con respecto a la distancia recorrida, sin embargo, este mismo hecho afecta a la representación gráfica ya que se presentan oscilaciones al momento de reducir la velocidad bruscamente, sobre todo en la parte de autopista debido al sonido y vibraciones producidas, siendo necesario medir los resultados en el software usado para este análisis.

- Se logra realizar una estimación de las emisiones mediante los dispositivos y metodologías usadas en este proyecto, pues para tener valores reales es necesario contar con un dispositivo PEMS, el cual no es accesible debido a costos e implementación en el vehículo. Al recorrer la ruta válida con ambos vehículos, se comprueba que la producción de emisiones de CO_2 y NO_X de la camioneta es menor que la que produce el sedán debido a que cumplen la normativa Euro 6 y Euro 5 respectivamente, con una diferencia porcentual de 11.36, 11.48 y 2.89 % en las emisiones de CO_2 y 12.43, 11.19 y 2.71% en las emisiones de NO_X.

- Las pruebas que resultaron válidas arrojaron diferencias porcentuales de emisiones de CO_2 y NO_X de 0.81% en el tramo urbano, 1.23% en el tramo rural y de 0.26% en el tramo de autopista, lo que corrobora la estimación realizada en la ruta.

- El mayor incremento de las emisiones se produce en el tramo urbano hasta que se llega a la temperatura óptima de trabajo del motor, momento en el que se estabiliza las emisiones. En todas las pruebas se comprueba que el tramo de autopista es el que mayor emisión produce, seguido de la parte rural y por último la parte urbana.

RECOMENDACIONES

- Para el diseño de una ruta como la desarrollada, es recomendable generar un análisis teórico de las variables que se busca cumplir y revisar el estado de las calles que se buscan recorrer, para evitar inconvenientes en medio del desarrollo de las pruebas.

- El resultado de este proyecto puede establecer el punto de partida para realizar una prueba en carretera con un equipo PEMS para analizar las emisiones producidas en una conducción real en la ciudad de Quito tomando en cuenta las principales calles del sur de la ciudad hasta llegar a una zona más concurrida en las vías planteadas.

- Es necesario el diseño de una metodología para estimar las emisiones producidas basada en la velocidad instantánea, ya que esta es una variable fácil de manipular una vez que se obtiene los datos mediante el dispositivo Freematics al igual que la distancia recorrida, ideal para representar el comportamiento de las emisiones en el trayecto de la ruta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albornoz, V. M., & Johns, E. H. (2011). Localización de paraderos de detención y diseño óptimo de rutas en el transporte de personal A location-routing approach for personnel transportation. In *Revista chilena de ingeniería* (Vol. 19, Issue 3).

Arredondo Ochoa, P. N., Hernández Vega, C., & Mendoza Tolentino, T. D. (2013). Propuesta para el diseño de rutas turísticas culturales "El caso del sur del estado de Jalisco, México." *Turismo & Sociedad*, *6*(3), 324–344. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5380/tes.v6i2.31931

Asencio, I., Rincón, J., Camarillo, J., & Martín, R. (2008). *RECICLADO DE CATALIZADORES DE AUTOMÓVILES. ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS ACTUALES Y PROPUESTAS DE FUTURO*.

Baldeón, G., Reinoso, K., Sandoval, R., Abad, J. J., Corella, M., Peñafiel, C., Molina, M. J., Zapata, D., Pardo, D., Padilla, D., Miño, F., Tituaña, J., Vivanco, K., & Rodríguez, J. (2022). *ANUARIO 2021*. https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2022/03/Anuario-Aeade-2021.pdf

Bielaczyc, P., Woodburn, J., & Szczotka, A. (2016). Exhaust Emissions of Gaseous and Solid Pollutants Measured over the NEDC, FTP-75 and WLTC Chassis Dynamometer Driving Cycles. In *SAE Technical Paper*. https://doi.org/10.4271/2016-01-1008

Bodisco, T., & Zare, A. (2019). Practicalities and driving dynamics of a real driving emissions (RDE) Euro 6 regulation homologation test. *Energies*, *12*(12). https://doi.org/10.3390/en12122306

Calderón, J. H., Gómez, A., & Góngora, A. (2016). *METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE RUTAS EN UN SISTEMA DE LOGÍSTICA INVERSA 1. CASO: BANCO DE ALIMENTOS*.

Charlie, C., & Romain, N. (2013). *The different driving cycles*. Car-Engineer. https://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/

Claßen, J., Krysmon, S., Dorscheidt, F., Sterlepper, S., & Pischinger, S. (2021). Real driving emission calibration—review of current validation methods against the background of future emission legislation. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 12). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/app11125429

Correa, A. F., Gómez, H. M., Loaiza, J. F., Lopera, D. C., & Villegas, J. G. (2008). Características del diseño de rutas de distribución de alimentos en el Valle de Aburrá. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, *45*, 172–180. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302008000300015

Díaz, A. M. (2020). *Análisis de emisiones de dióxido de carbono en condiciones reales de conducción en la isla de Tenerife* [Universidad de La Laguna]. http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21415

Donateo, T., & Giovinazzi, M. (2017). Building a cycle for Real Driving Emissions. *Energy Procedia*, *126*, 891–898. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.307

Du, B., Zhang, L., Zou, J., Han, J., Zhang, Y., & Xu, H. (2022). Investigating the impact of route topography on real driving emission tests based on large data sample at data window level. *Science of the Total Environment*, *809*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151133

Duarte, G. O., Gonçalves, G. A., & Farias, T. L. (2014). A Methodology to Estimate Real-world Vehicle Fuel Use and Emissions based on Certification Cycle Data. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *111*, 702–710. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.104

Espimbera, D. D. (2018). *ESTUDIO DE LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN PARA DETERMINAR PARAMETROS DE MANEJO EN CONDICIONES REALES DE OPERACIÓN MEDIANTE LA METODOLOGÍA MICRO – TRIP*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL.

Fernandes, P., Ferreira, E., Amorim, P., & Coelho, M. C. (2022). Comparing different approaches for estimating tailpipe emissions in passenger cars. *Transportation Research Procedia*, *62*, 509–516. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.02.063

Fernandes, P., Macedo, E., Bahmankhah, B., Tomas, R. F., Bandeira, J. M., & Coelho, M. C. (2019). Are internally observable vehicle data good predictors of vehicle emissions? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *77*, 252–270. https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.11.004

García-Contreras, R., Soriano, J. A., Fernández-Yáñez, P., Sánchez-Rodríguez, L., Mata, C., Gómez, A., Armas, O., & Cárdenas, M. D. (2021). Impact of regulated pollutant emissions of Euro 6d-Temp light-duty diesel vehicles under real driving conditions. *Journal of Cleaner Production*, *286*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124927

González-Oropeza, R. (2005). *Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte*.

Hooftman, N., Messagie, M., van Mierlo, J., & Coosemans, T. (2018). A review of the European passenger car regulations – Real driving emissions vs local air quality. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 86, pp. 1–21). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.01.012

INEN. (2012). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2656:2012*.

Lee, Y., Lee, S., Lee, S., Choi, H., & Min, K. (2021). Characteristics of NOx emission of light-duty diesel vehicle with LNT and SCR system by season and RDE phase. *Science of the Total Environment*, *782*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146750

Liu, H., Gegov, A., & Cocea, M. (2017). *Unified Framework for Control of Machine Learning Tasks Towards Effective and Efficient Processing of Big Data* (pp. 123–140). https://doi.org/10.1007/978-3-319-53474-9_6

Luis Jimenez-Palacios, J. (1999). *Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing*.

Marotta, A., Pavlovic, J., Ciuffo, B., Serra, S., & Fontaras, G. (2015). Gaseous Emissions from Light-Duty Vehicles: Moving from NEDC to the New WLTP Test Procedure. *Environmental Science and Technology*, *49*(14), 8315–8322. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01364

Molina Campoverde, P. A., Rivera Campoverde, N. D., Morales Espinoza, J. E., Rodriguez Fernandez, G. M., & Novillo, G. P. (2022). Influence of the road slope on NOx emissions during start up. *Materials Today: Proceedings*, *49*, 8–15. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.434

Montufar, P., Huertas, J. I., & Cuisano, J. (2020, October 13). Driving cycle and emission factors in high-altitude cities: Riobamba case. *2020 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2020*. https://doi.org/10.1109/ANDESCON50619.2020.9272059

Pavlovic, J., Ciuffo, B., Fontaras, G., Valverde, V., & Marotta, A. (2018). How much difference in type-approval CO2 emissions from passenger cars in Europe can be expected from changing to the new test procedure (NEDC vs. WLTP)? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *111*, 136–147. https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.02.002

Payri, Francisco., & Desantes, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Universitat Politècnica de València.

Quinchimbla, F. E., & Solís, J. M. (2017). *Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor de ciclo Otto en el Distrito Metropolitano De QuitO*. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17000

Restrepo, A. H., Carranza, Y. A., & Tibaquira, J. E. (2007). Diseño y aplicación de una metodología para determinar ciclos de conduccion vehicular en la ciudad de Pereira. *Scientia et Technica Año XIII*, *37*, 229–234.

Rojas Reinoso, E. V., Romero Hidalgo, V. J., & Pancha Ramos, J. M. (2019). Análisis del comportamiento de las emisiones de CO2, CO y del factor lambda de un vehículo con sistema de inyección convencional con catalizador y sin catalizador. *Ingenius*, *23*, 23–29. https://doi.org/10.17163/ings.n23.2020.02

Sileghem, L., Bosteels, D., May, J., Favre, C., & Verhelst, S. (2014). Analysis of vehicle emission measurements on the new WLTC, the NEDC and the CADC. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *32*, 70–85. https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.07.008

Toumasatos, Z., Raptopoulos-Chatzistefanou, A., Kolokotronis, D., Pistikopoulos, P., Samaras, Z., & Ntziachristos, L. (2022). The role of the driving dynamics beyond RDE limits and DPF regeneration events on pollutant emissions of a Euro 6d-temp passenger vehicle. *Journal of Aerosol Science*, *161*. https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2021.105947

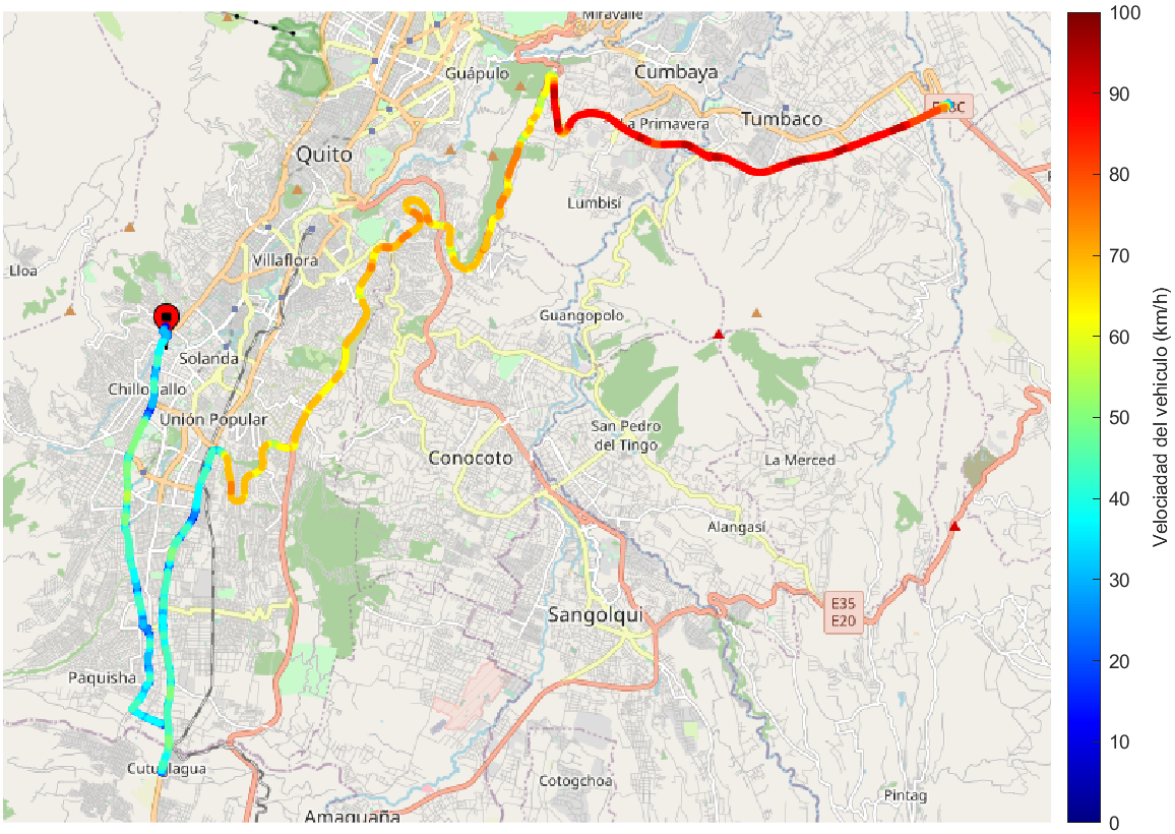
Triantafyllopoulos, G., Katsaounis, D., Karamitros, D., Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2018). Experimental assessment of the potential to decrease diesel NOx emissions beyond minimum requirements for Euro 6 Real Drive Emissions (RDE) compliance. *Science of the Total Environment*, *618*, 1400–1407. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.274

Yao, E., & Song, Y. (2013). Study on eco-route planning algorithm and environmental impact assessment. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, *17*(1), 42–53. https://doi.org/10.1080/15472450.2013.747822

Zardini, A., Bonnel, P., & European Commission. Joint Research Centre. (2020). *Real Driving Emissions Regulation: European methodology to fine tune the EU real driving emissions data evaluation method* (EUR 30123 EN). Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/176284

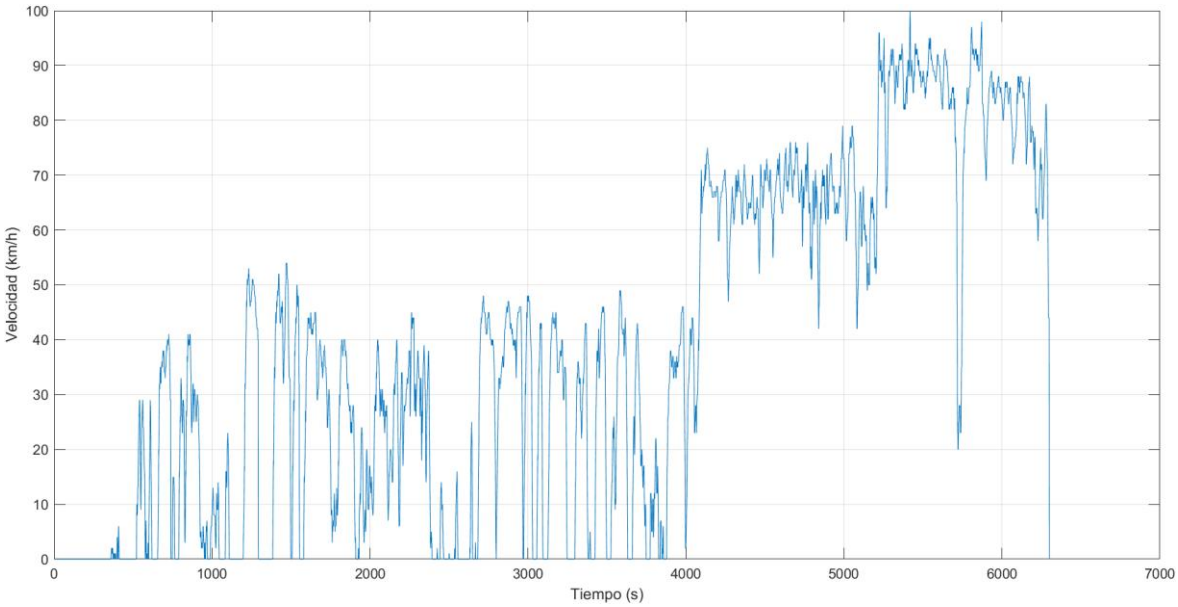
ANEXOS

Figura 34. Prueba 1 Ford Ranger



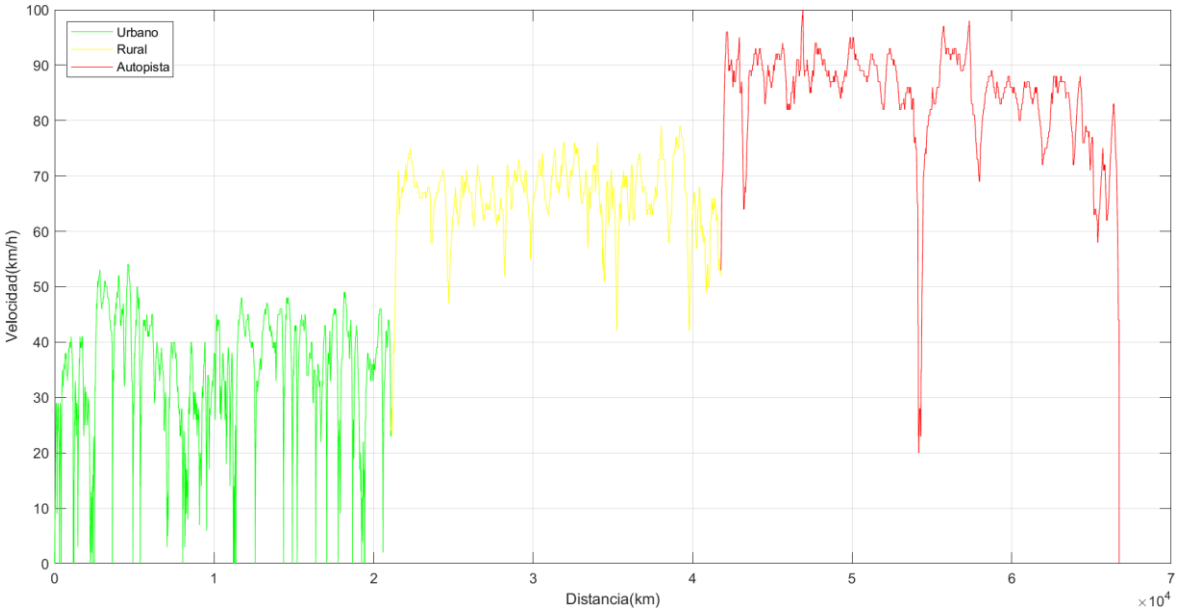
Perfil de velocidades. Fuente: Autor

Figura 35. Ciclo de conducción



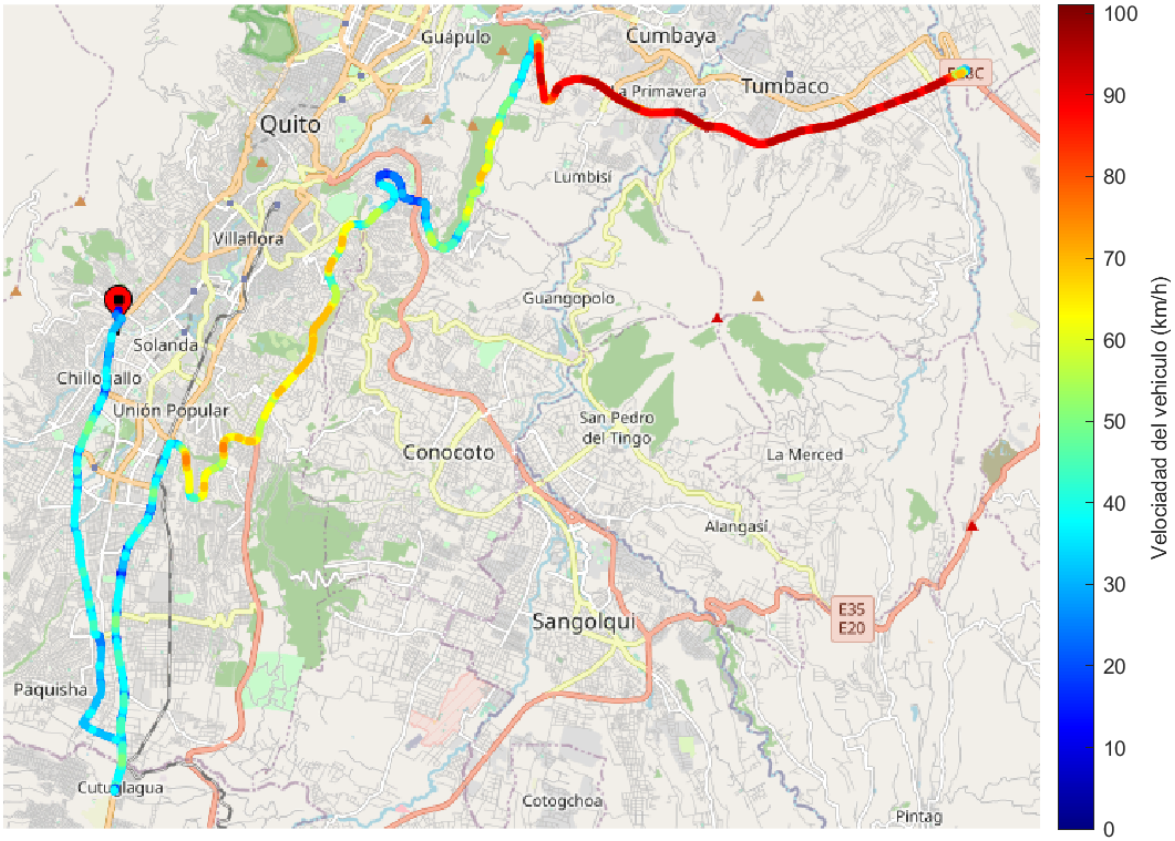
Prueba 1 Ford Ranger. Fuente: Autor

Figura 36. Perfil de velocidad distancia



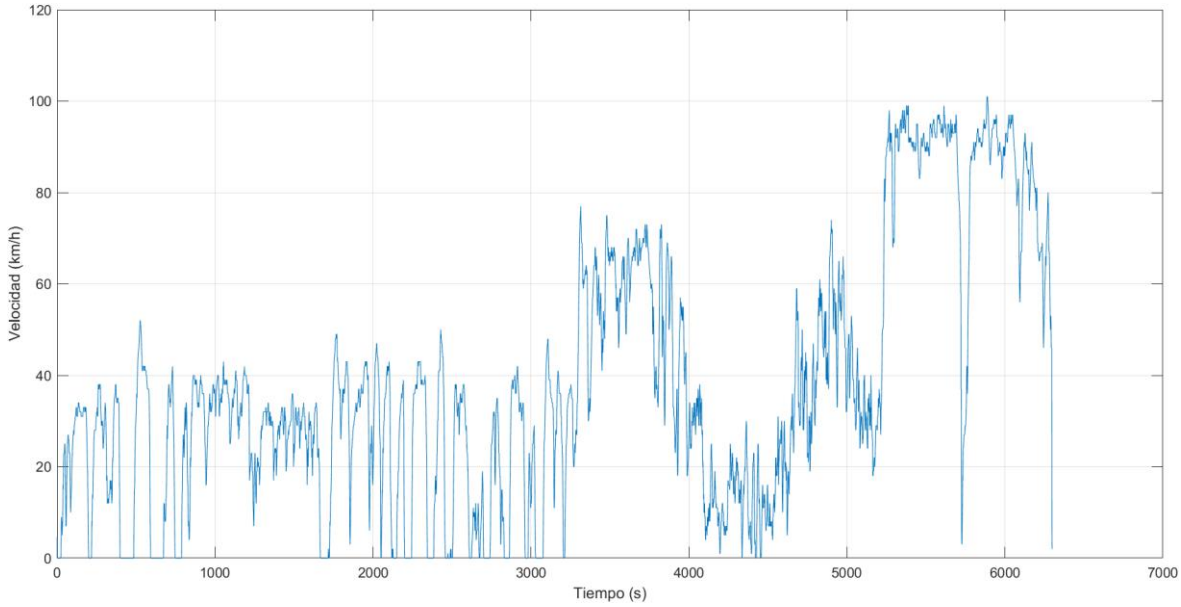
Prueba 1 Ford Ranger. Fuente: Autor

Figura 37. Prueba 2 Ford Ranger



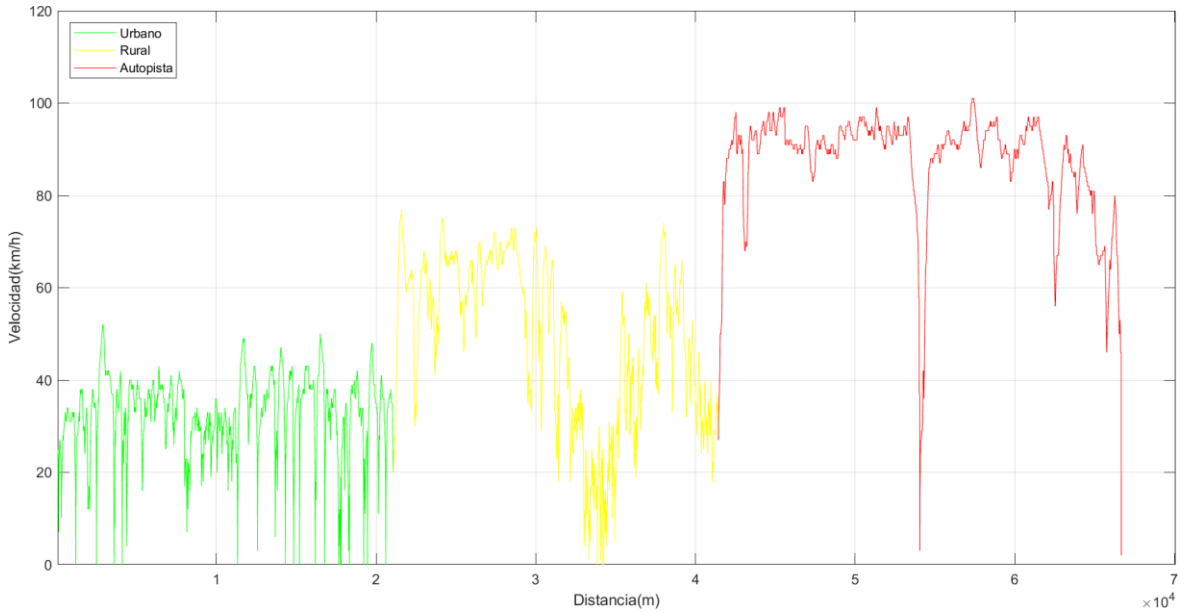
Perfil de velocidades. Fuente: Autor

Figura 38. Ciclo de conducción



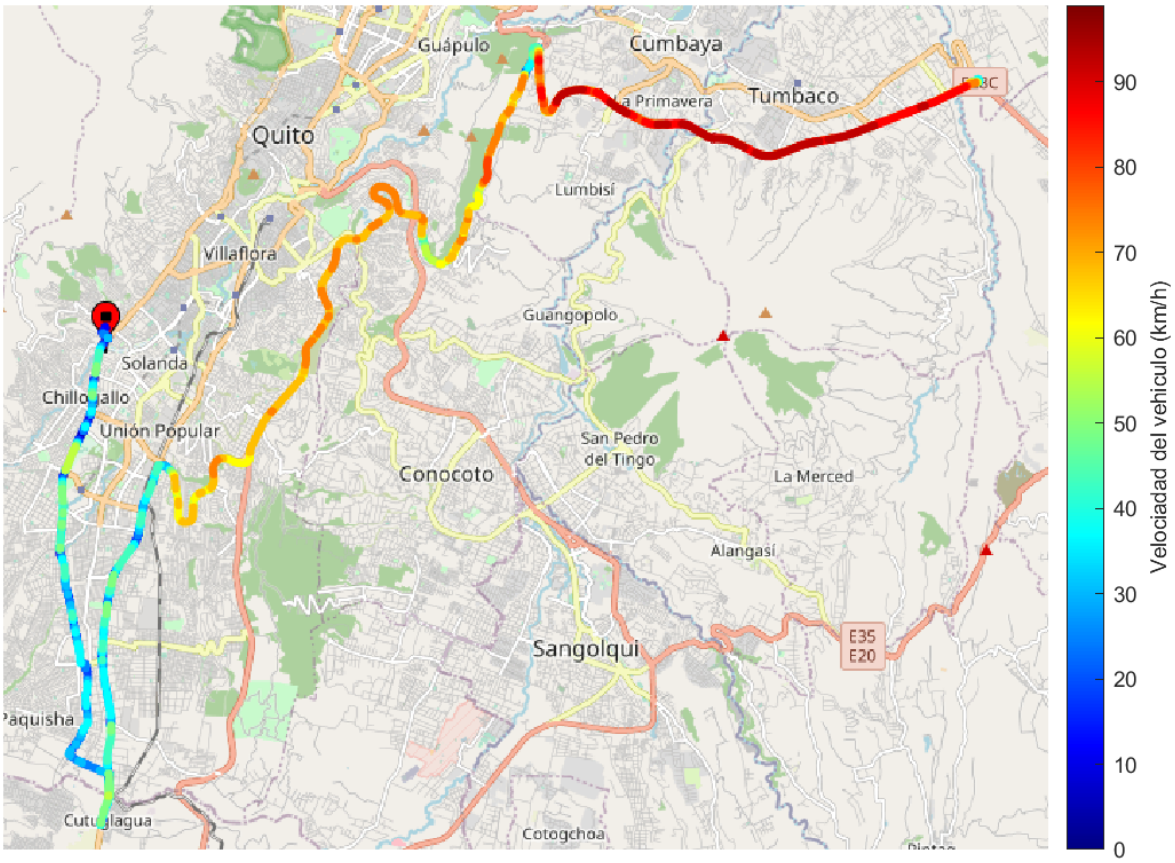
Prueba 2 Ford Ranger. Fuente: Autor

Figura 39. Perfil de velocidad distancia



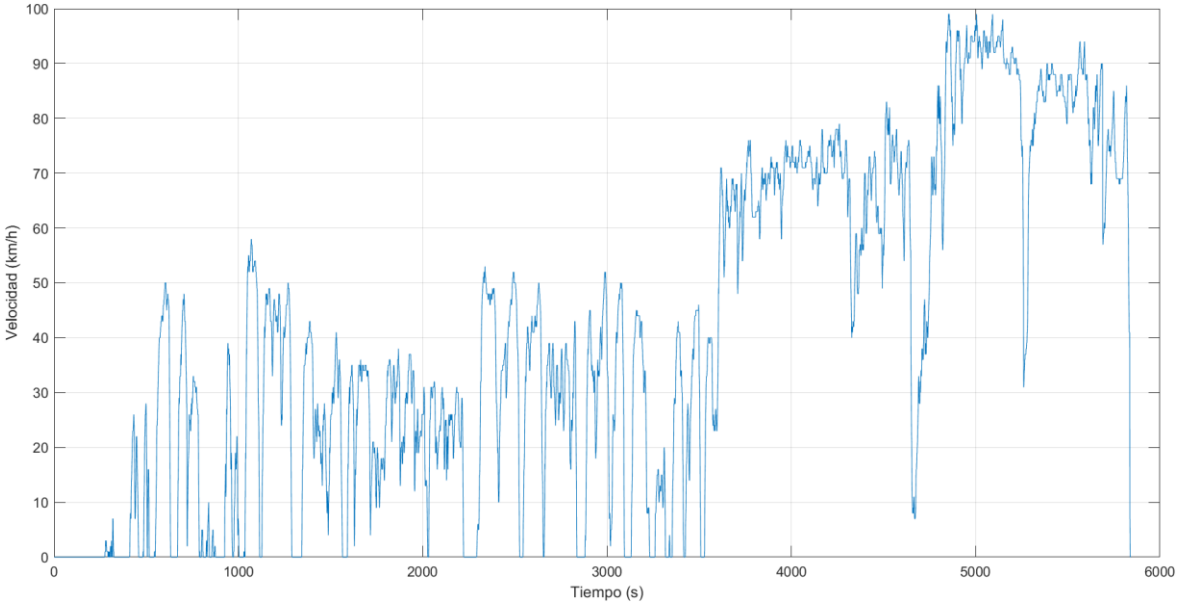
Prueba 2 Ford Ranger. Fuente: Autor

Figura 40. Prueba 3



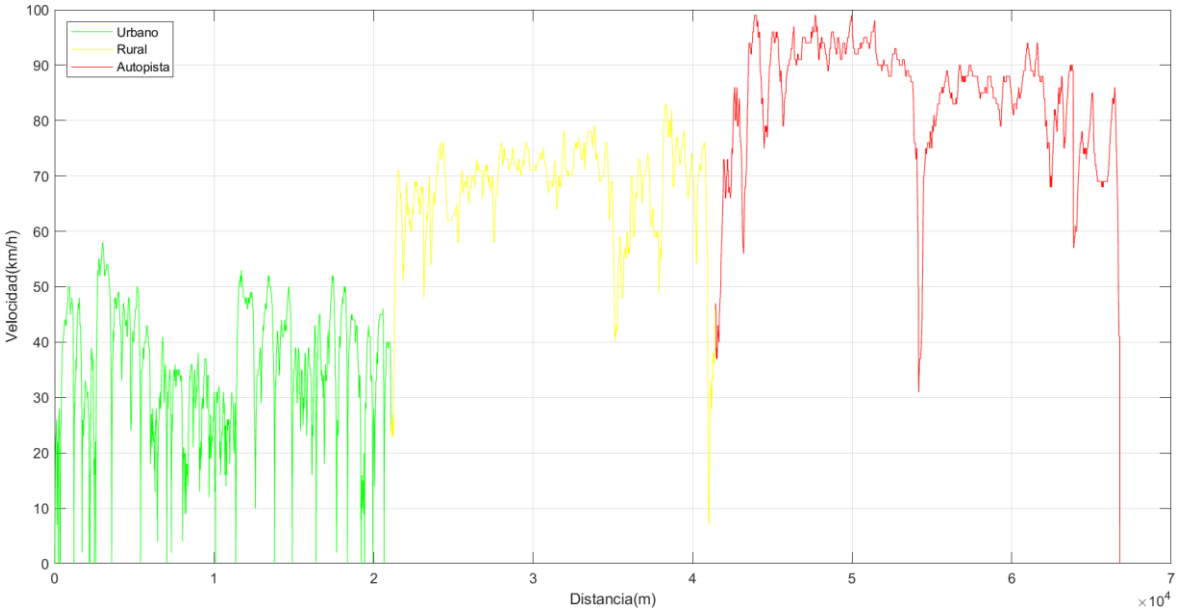
Perfil de velocidades. Fuente: Autor

Figura 41. Ciclo de conducción



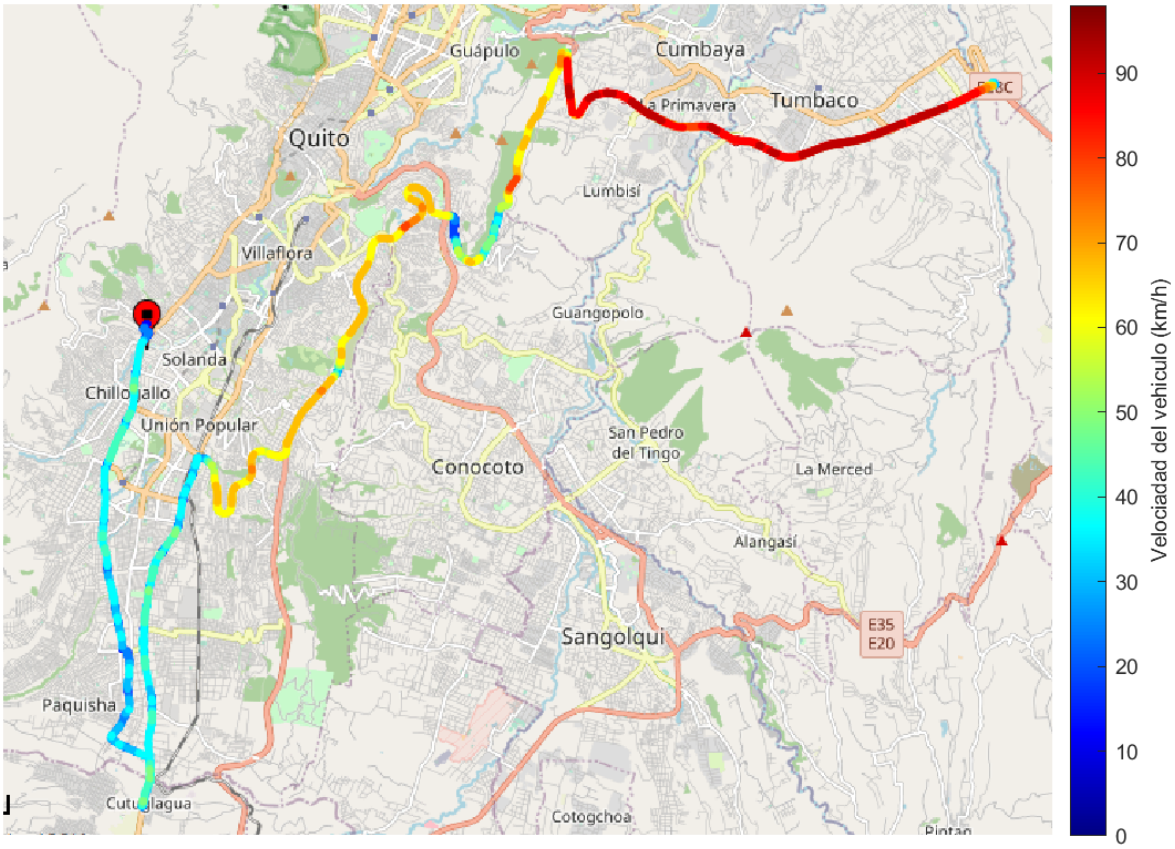
Prueba 3 Ford Ranger. Fuente: Autor

Figura 42. Perfil de velocidad distancia



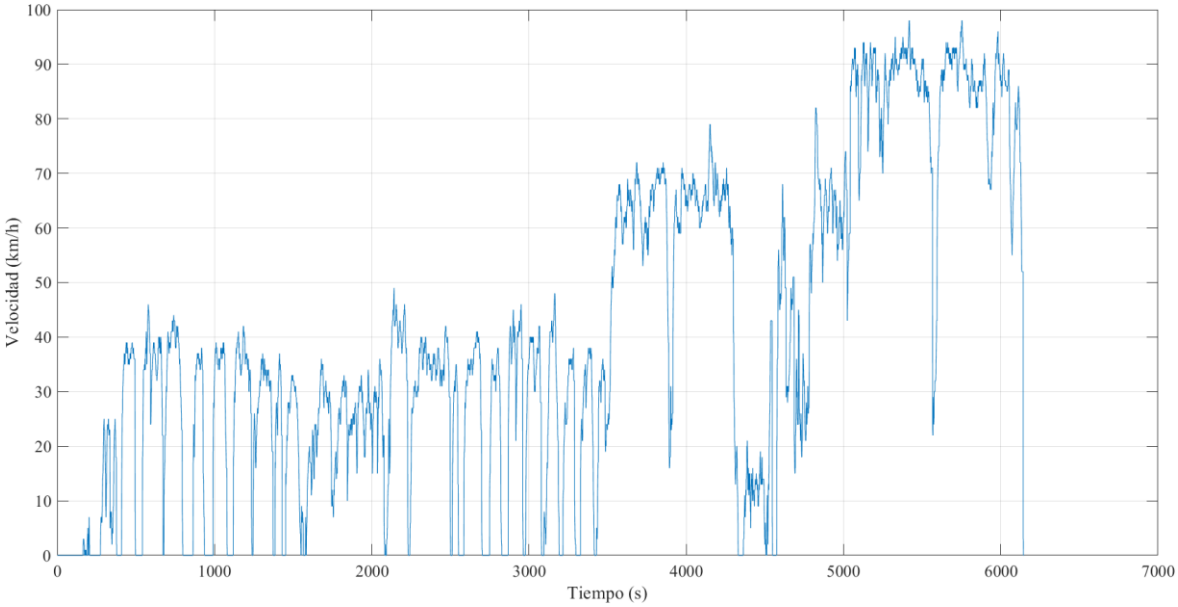
Prueba 3 Ford Ranger. Fuente: Autor

Figura 43. Prueba 1 Chevrolet Sail



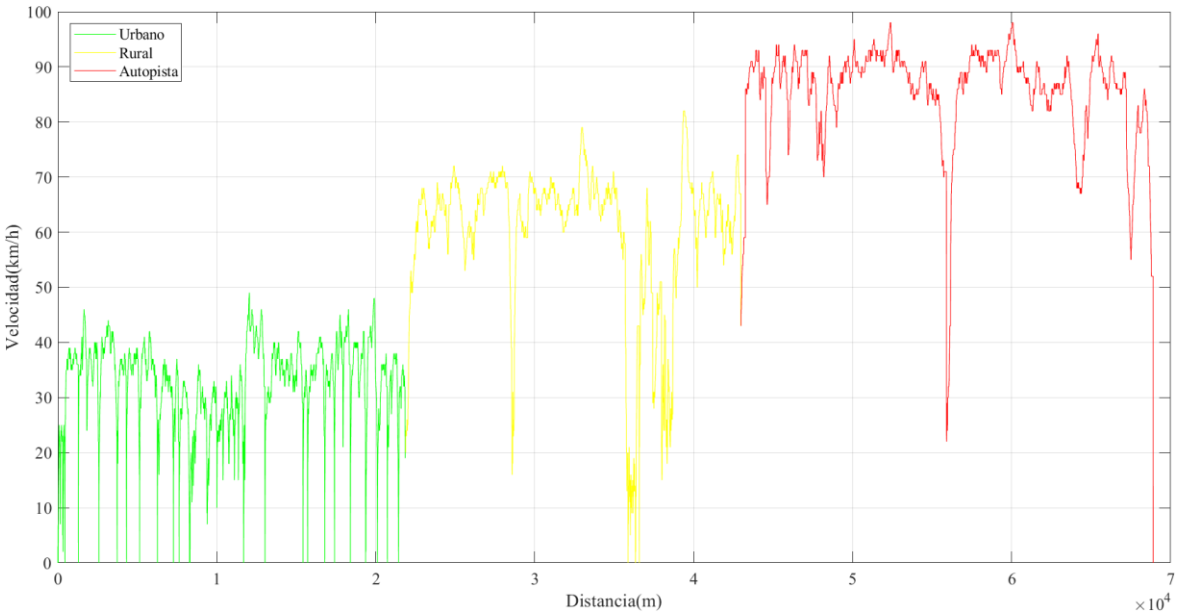
Perfil de velocidades. Fuente: Autor

Figura 44. Ciclo de conducción



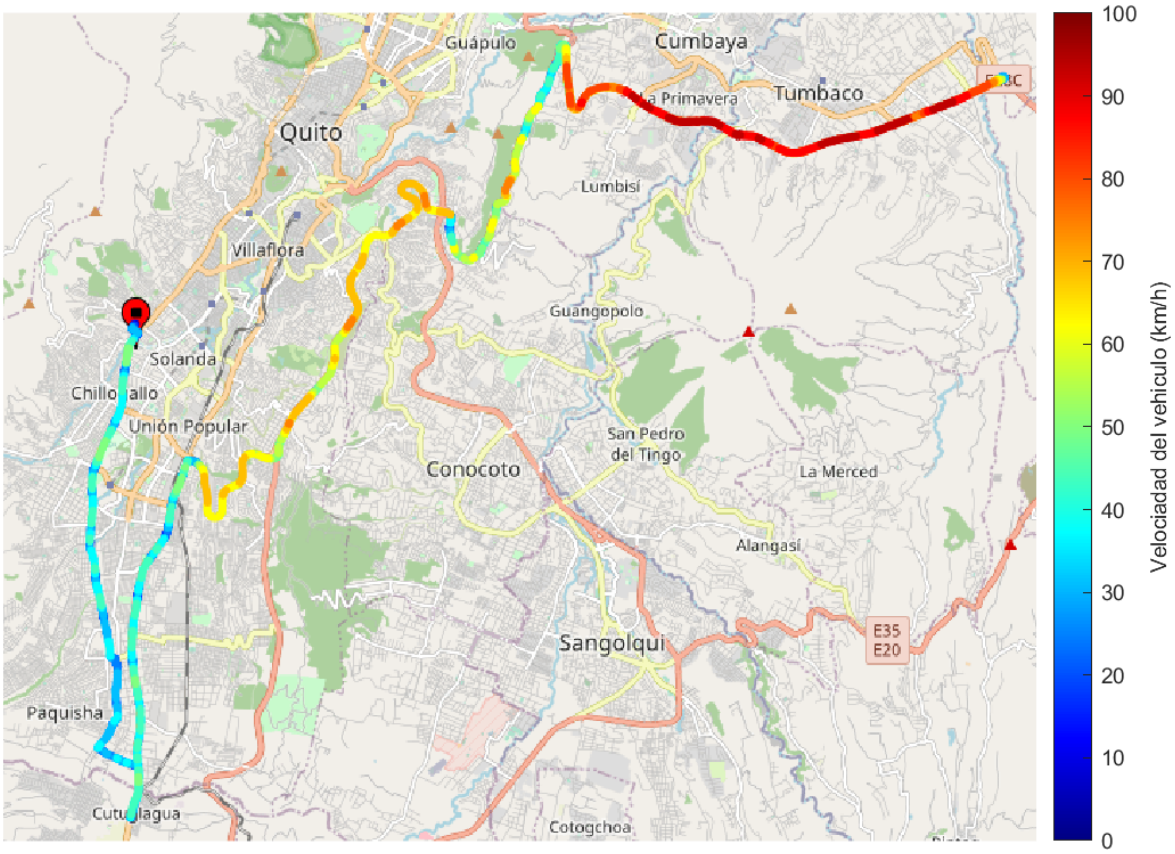
Prueba 1 Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Figura 45. Perfil de velocidad distancia



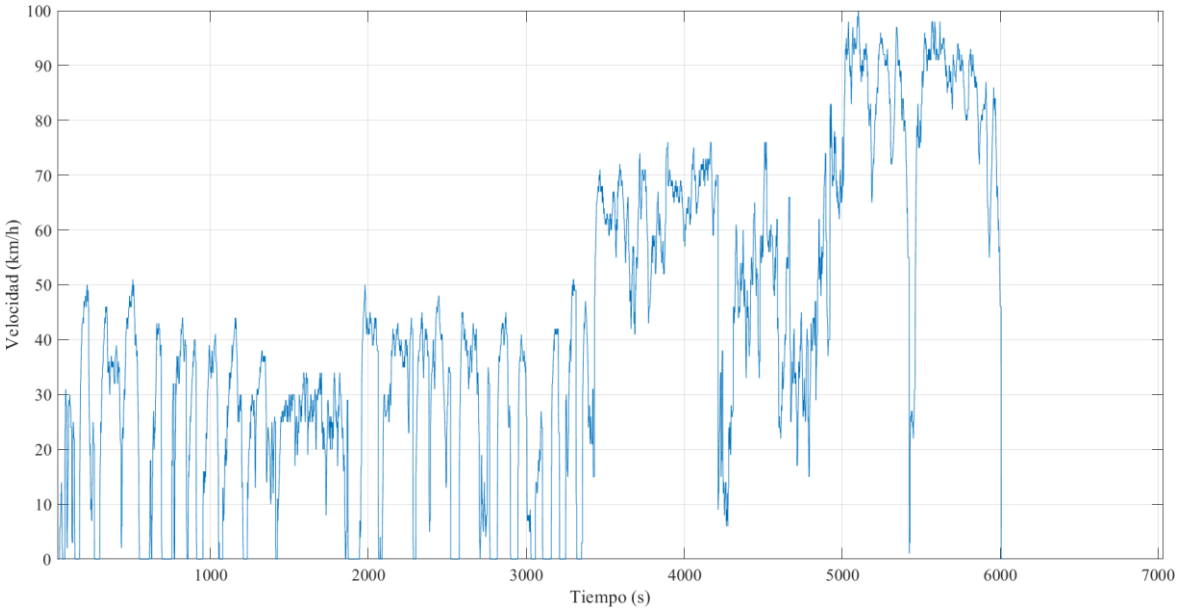
Prueba 1 Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Figura 46. Prueba 2 Chevrolet Sail



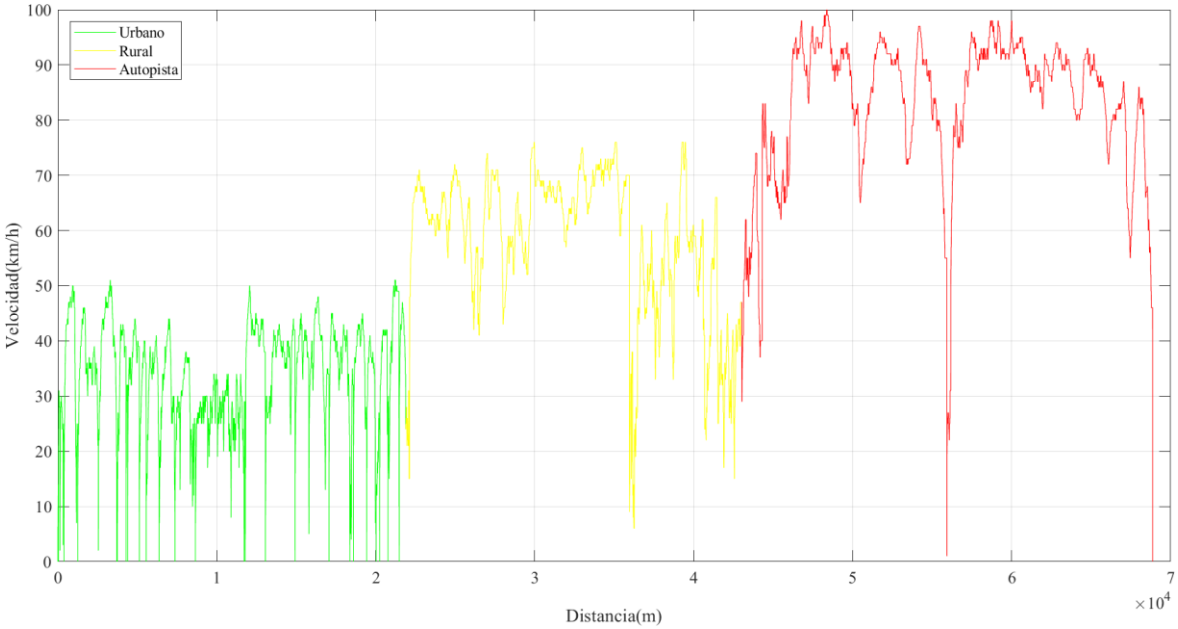
Perfil de velocidades. Fuente: Autor

Figura 47. Ciclo de conducción



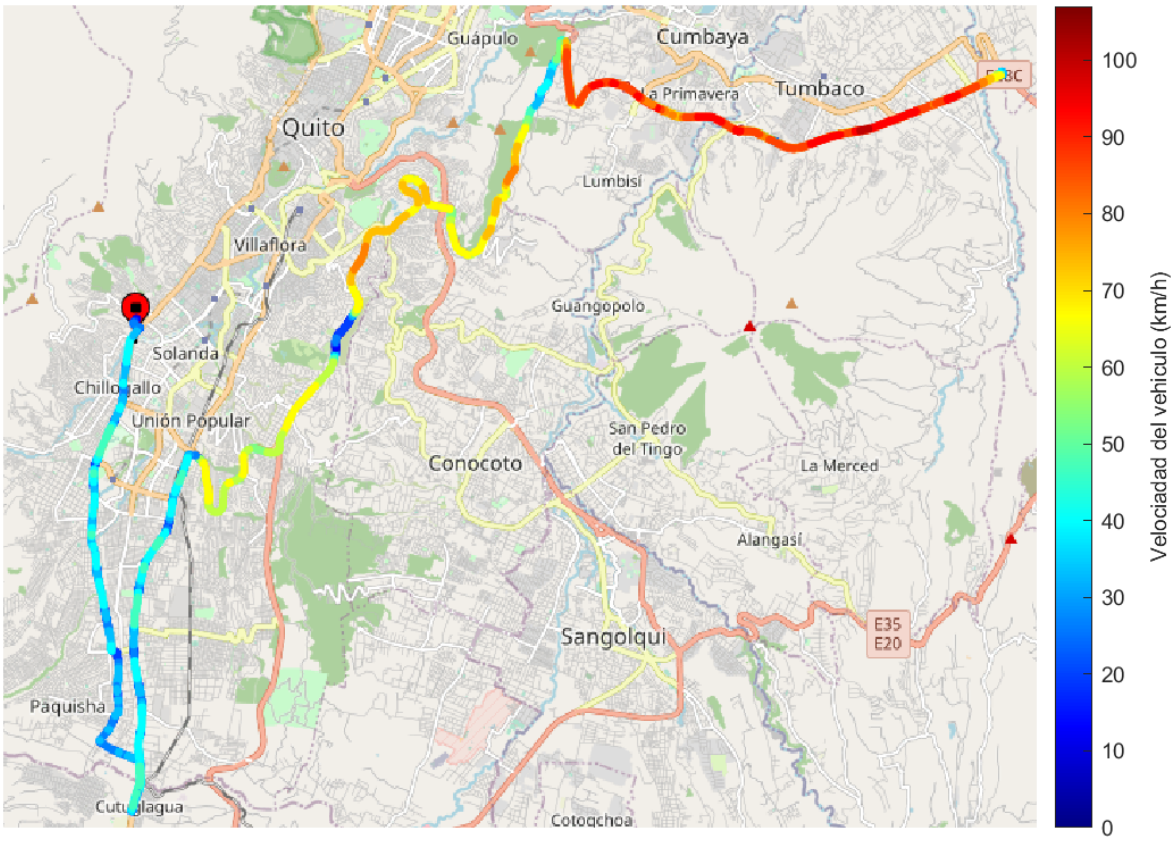
Prueba 2 Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Figura 48. Perfil de velocidad distancia



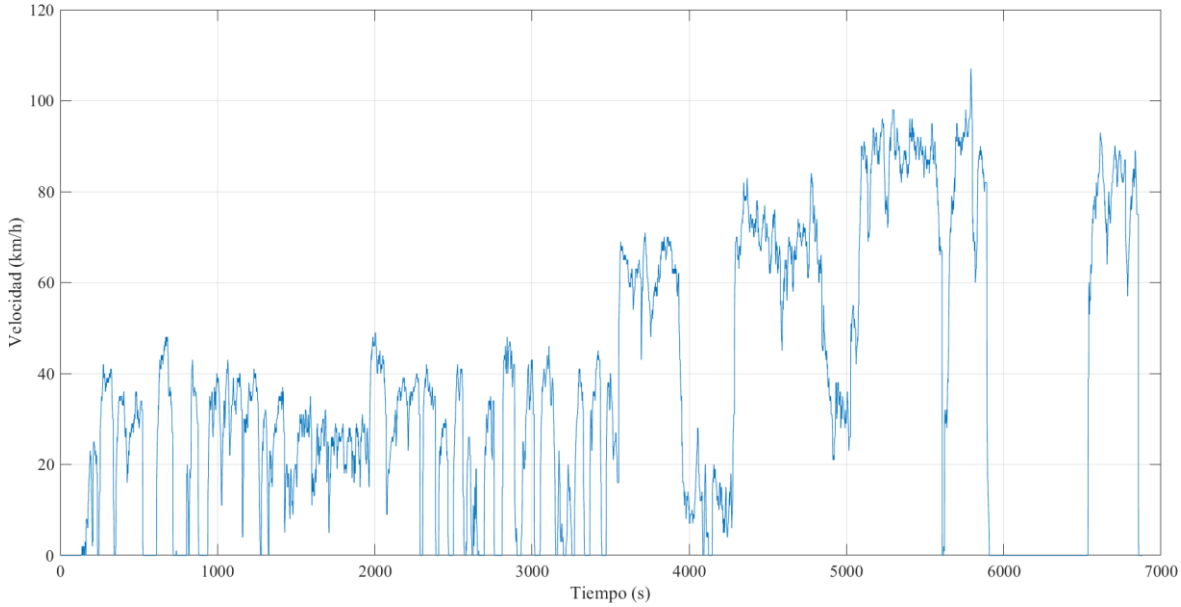
Prueba 2 Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Figura 49. Prueba 3 Chevrolet Sail



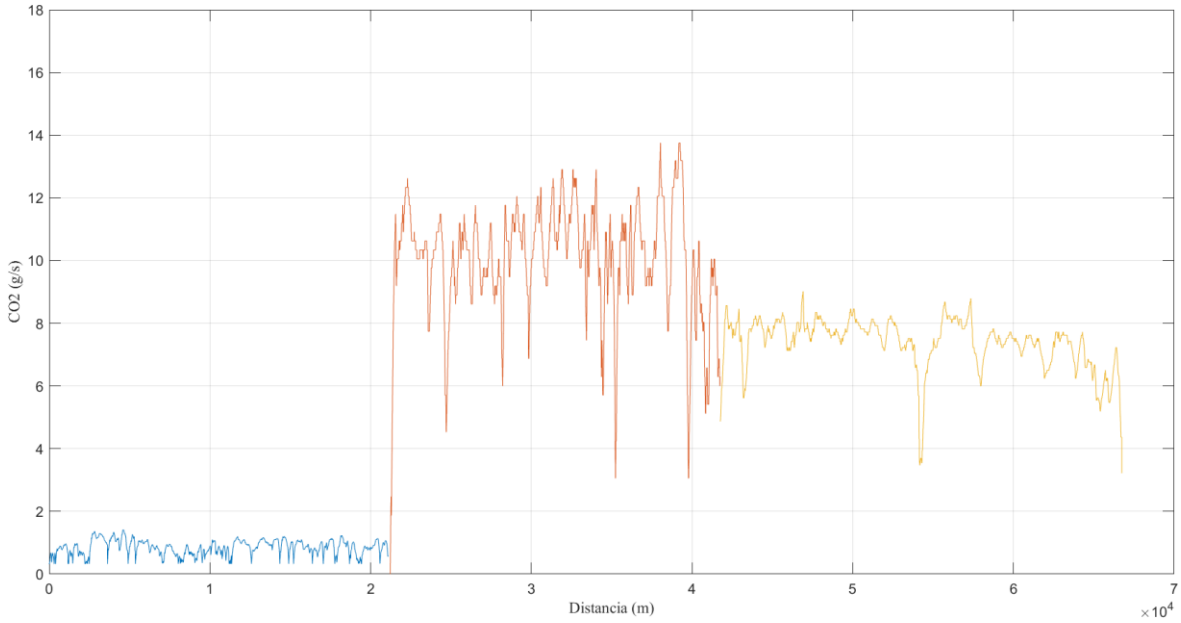
Perfil de velocidades. Fuente: Autor

Figura 50. Ciclo de conducción



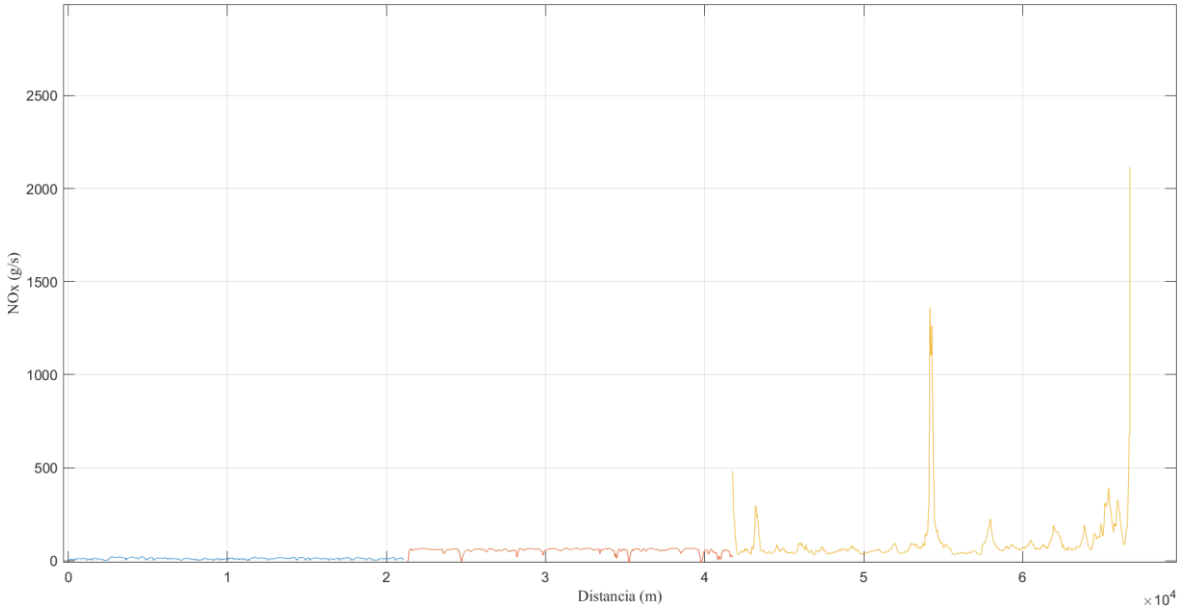
Prueba 3 Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Figura 51. Emisiones de CO_2



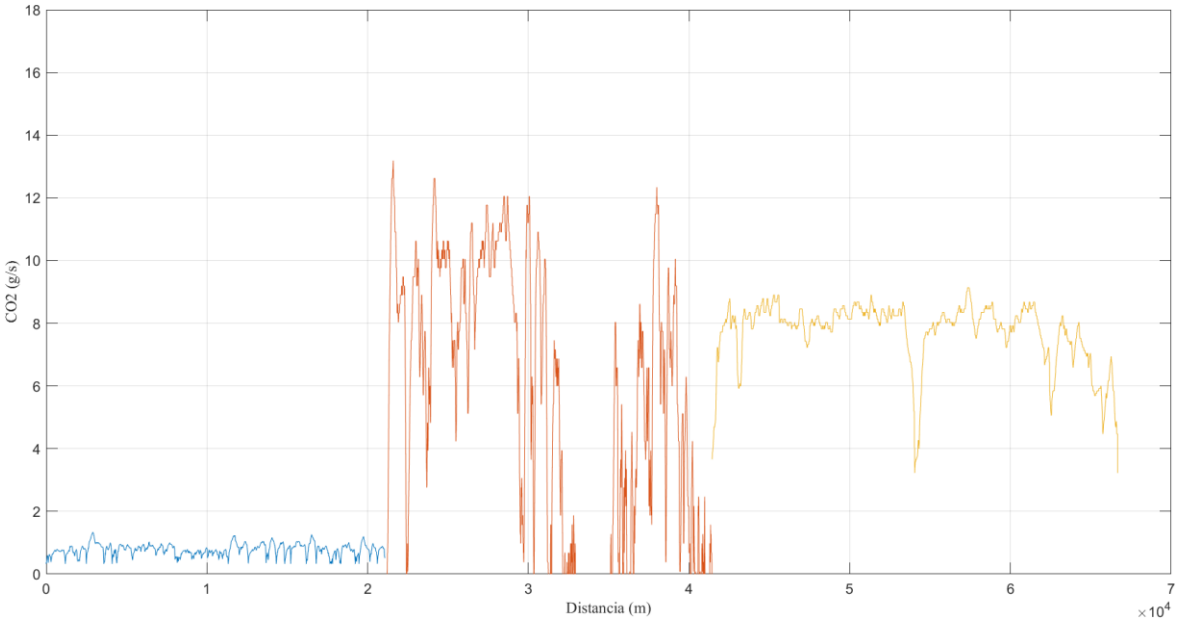
Prueba 1 Ford Ranger. Fuente: Autor

Figura 52. Emisiones de NO_x



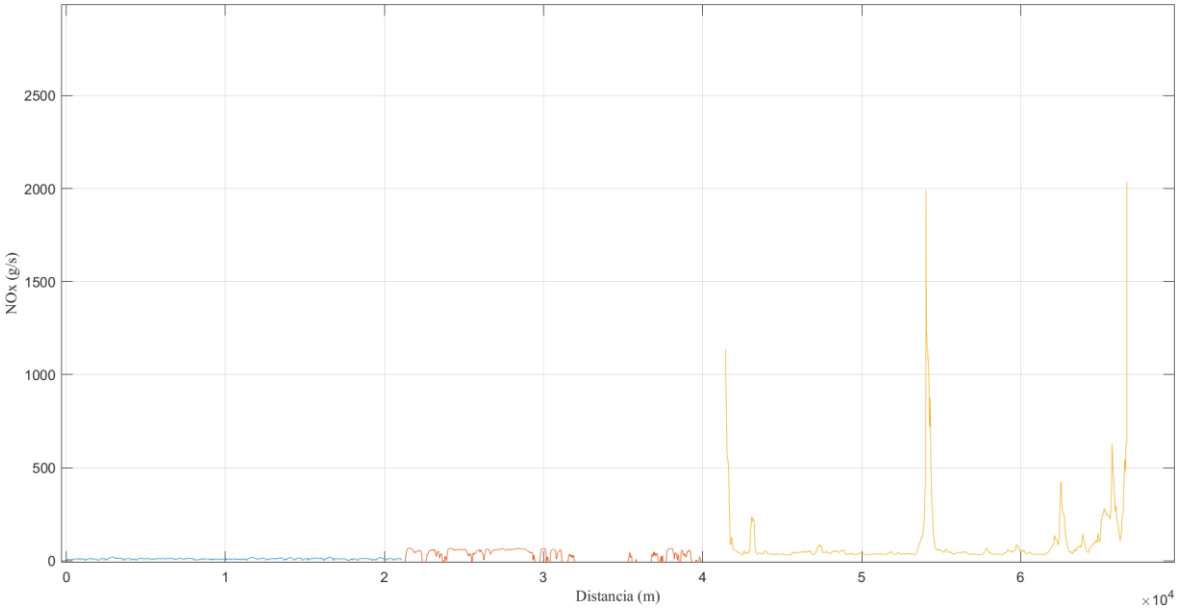
Prueba 1 Ford Ranger. Fuente: Autor

Figura 53. Emisiones de CO_2



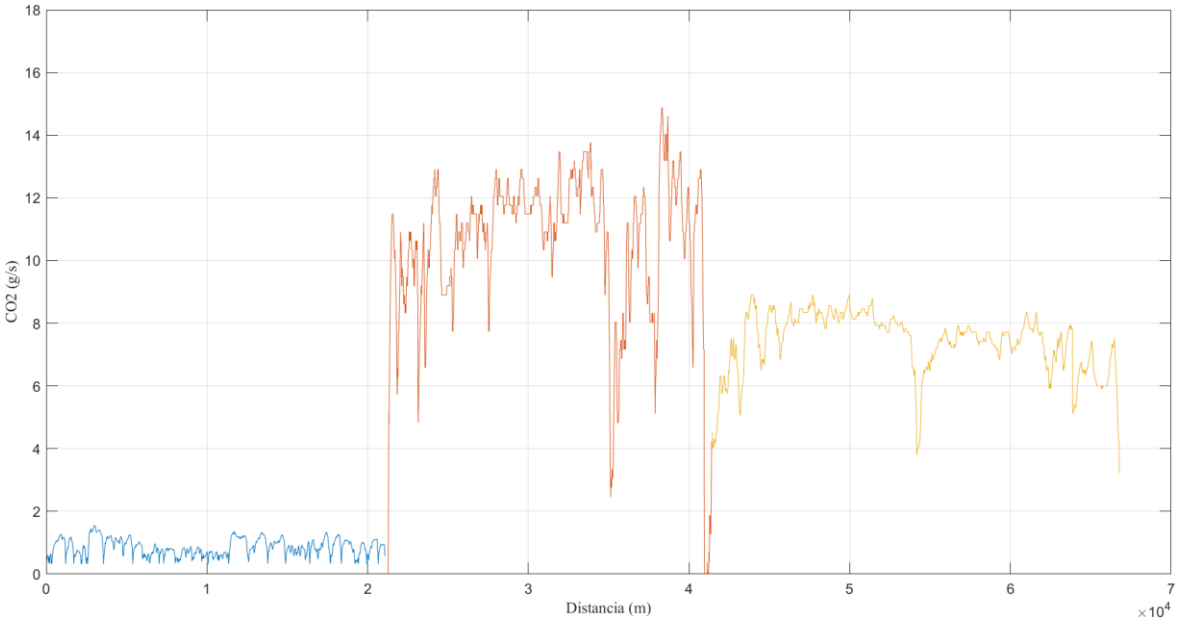
Prueba 2 Ford Ranger. Fuente: Autor

Figura 54. Emisiones de NO_x



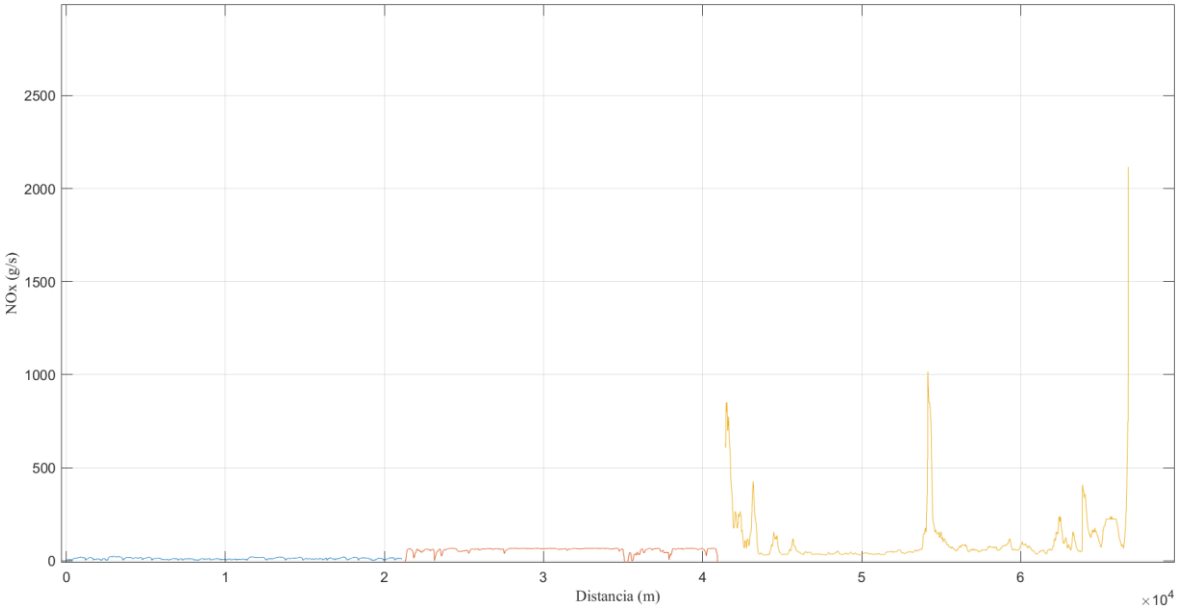
Prueba 2 Ford Ranger. Fuente: Autor

Figura 55. Emisiones de CO_2



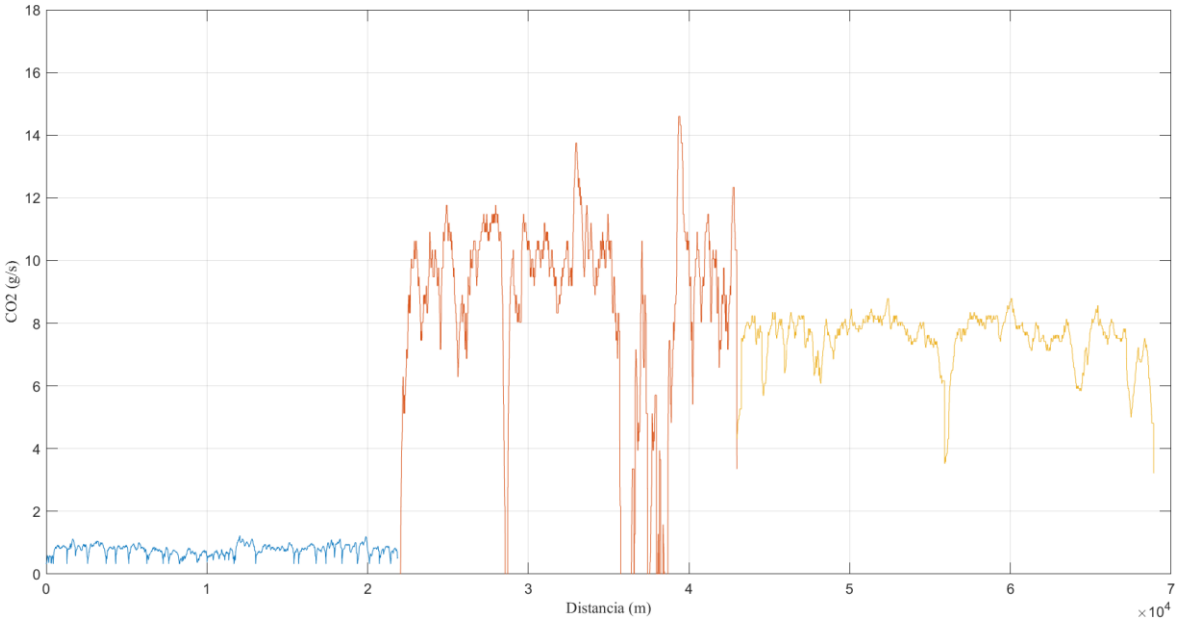
Prueba 3 Ford Ranger. Fuente: Autor

Figura 56. Emisiones de NO_x



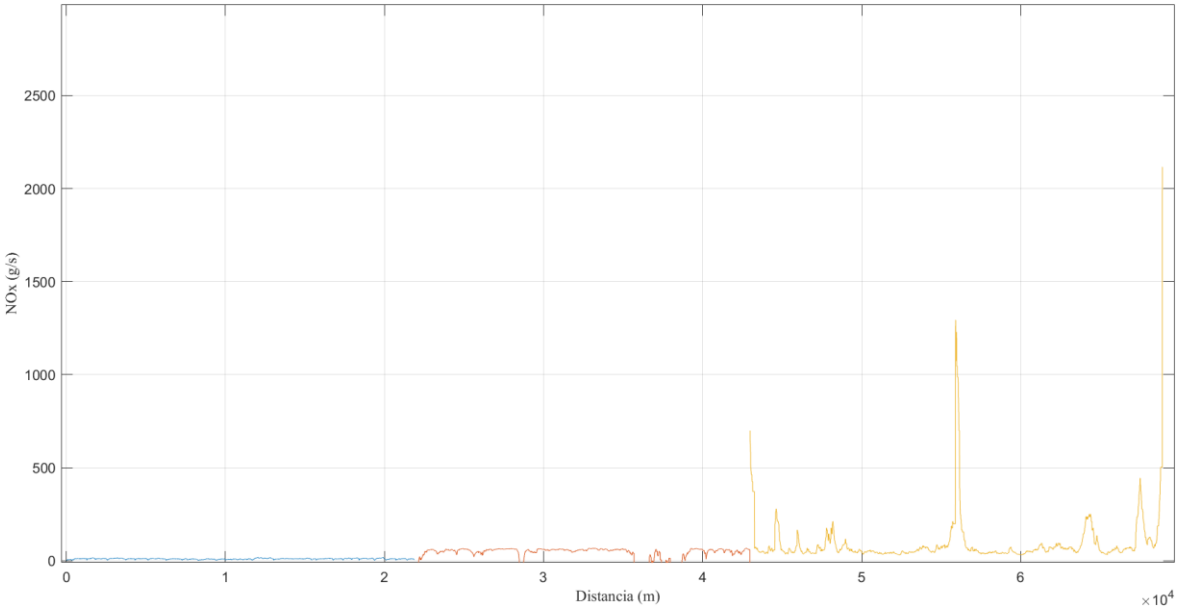
Prueba 3 Ford Ranger. Fuente: Autor

Figura 57. Emisiones de CO_2



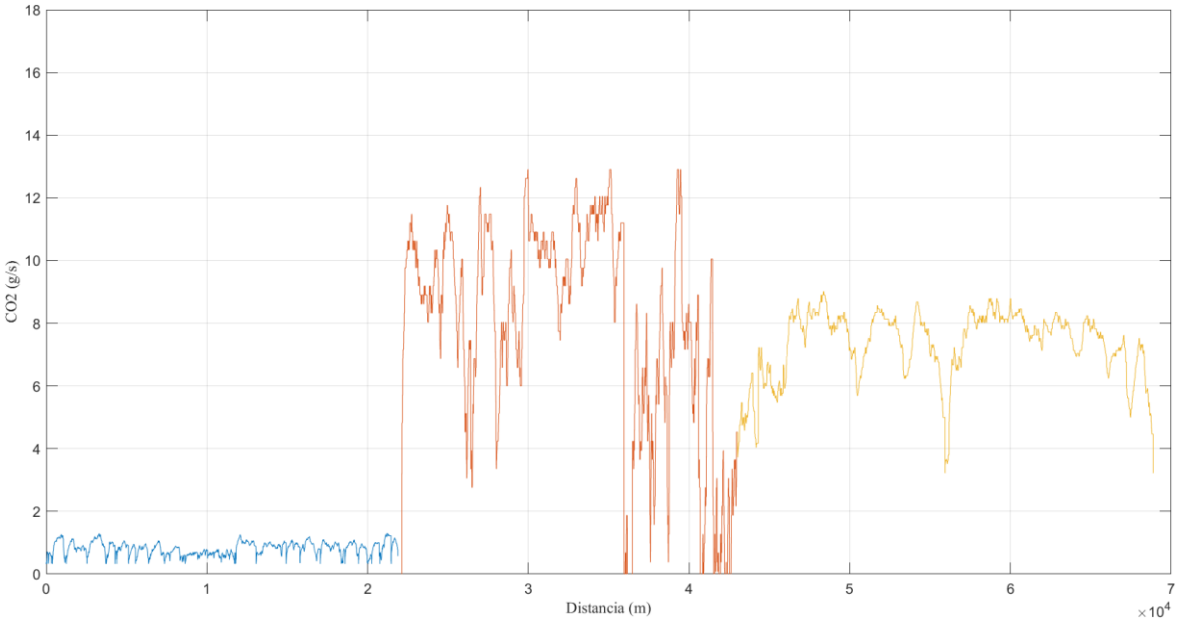
Prueba 1 Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Figura 58. Emisiones de NO_X



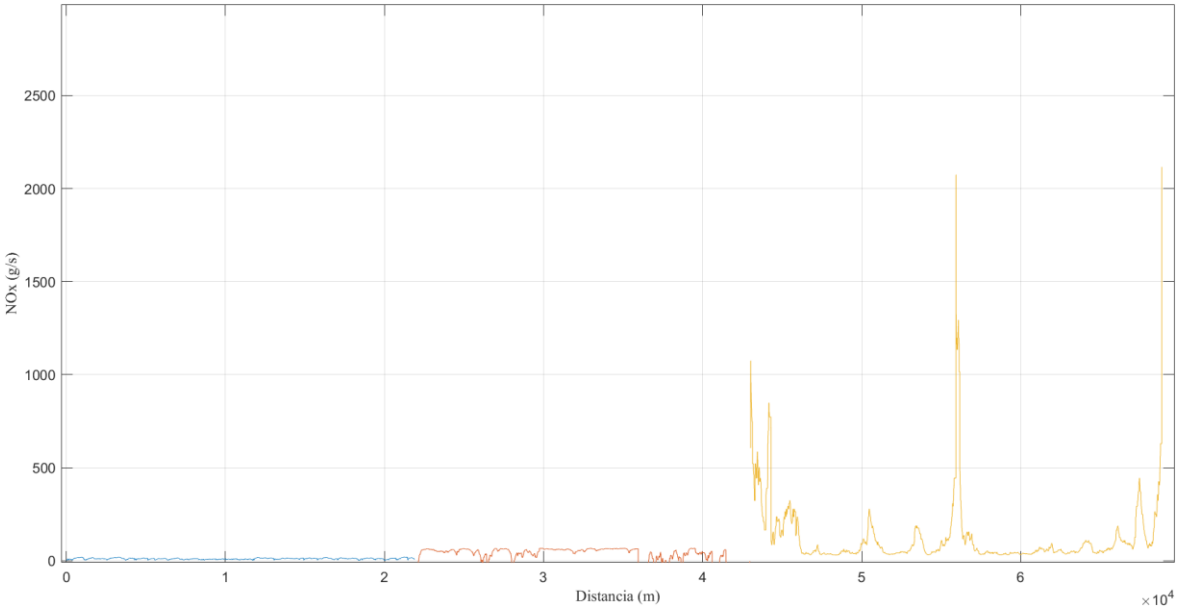
Prueba 1 Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Figura 59. Emisiones de CO_2



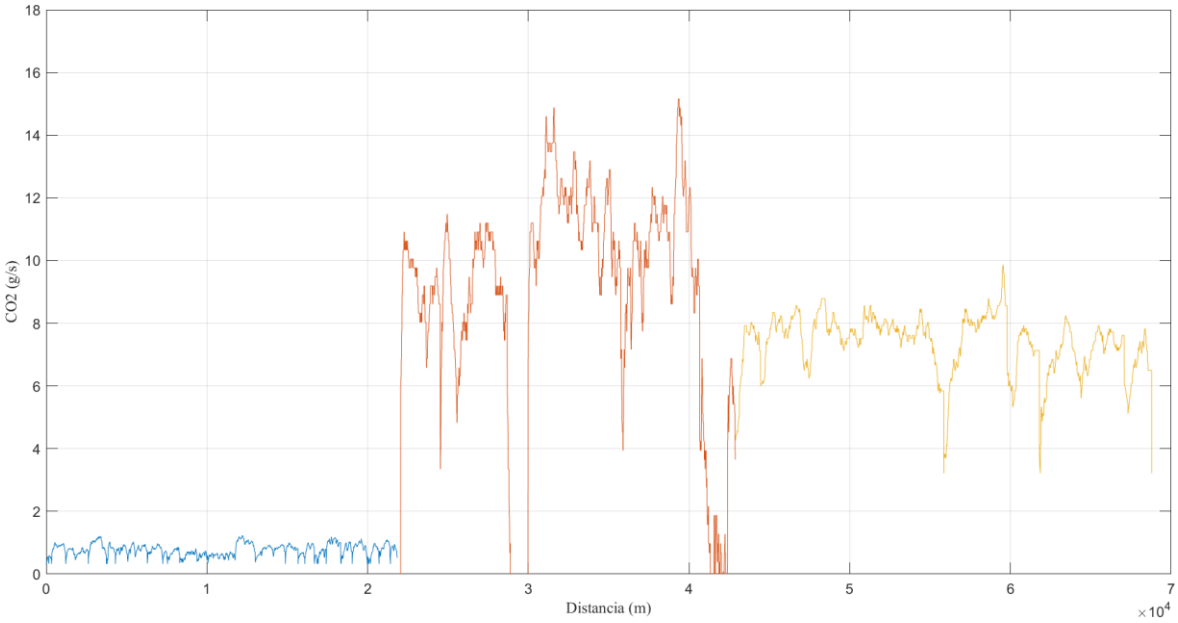
Prueba 2 Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Figura 60. Emisiones de NO_x



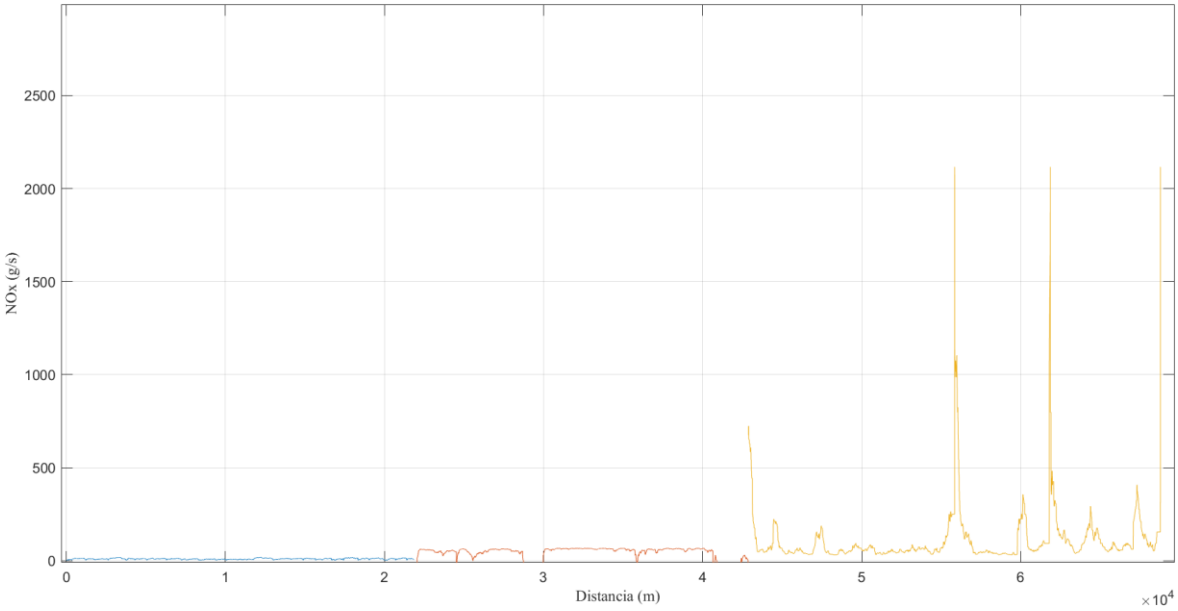
Prueba 2 Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Figura 61. Emisiones de CO_2



Prueba 3 Chevrolet Sail. Fuente: Autor

Figura 62. Emisiones de NO_x



Prueba 3 Chevrolet Sail. Fuente: Autor