



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

**ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR MPI
VARIANDO LAS CARACTERÍSTICAS DE FILTRADO Y TIPO DE GASOLINA
PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE
MEDIANTE CICLO DE EMISIONES REALES RDE EN LA CIUDAD DE QUITO-
ECUADOR.**

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

**AUTORES: KEVIN FELIPE BENAVIDES LIMA
FRANCISCO IGNACIO MONTENEGRO NAGUA**

TUTOR: PAÚL ANDRÉS MOLINA CAMPOVERDE

Quito - Ecuador
2023

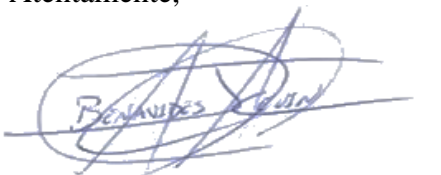
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Kevin Felipe Benavides Lima con documento de identificación N° 1726231788 y Francisco Ignacio Montenegro Nagua con documento de identificación N° 1724724156 manifestamos que:

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

Quito, 16 de febrero del año 2023

Atentamente,



Kevin Felipe Benavides Lima
1726231788



Francisco Ignacio Montenegro Nagua
1724724156

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

Nosotros, Kevin Felipe Benavides Lima con documento de identificación No. 1726231788 y Francisco Ignacio Montenegro Nagua con documento de identificación No. 1724724156, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Análisis de los parámetros de funcionamiento de un motor MPI variando las características de filtrado y tipo de gasolina para mejorar el rendimiento de consumo de combustible mediante ciclo de emisiones reales RDE en la ciudad de Quito-Ecuador”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

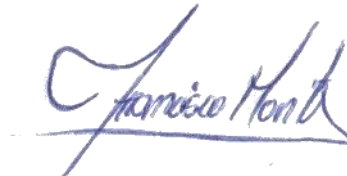
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 16 de febrero del año 2023

Atentamente,



Kevin Felipe Benavides Lima
1726231788



Francisco Ignacio Montenegro Nagua
1724724156

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: ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR MPI VARIANDO LAS CARACTERÍSTICAS DE FILTRADO Y TIPO DE GASOLINA PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE MEDIANTE CICLO DE EMISIONES REALES RDE EN LA CIUDAD DE QUITO-ECUADOR, realizado por Kevin Felipe Benavides Lima con documento de identificación N° 1726231788 y por Francisco Ignacio Montenegro Nagua con documento de identificación N° 1724724156, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 16 de febrero del año 2023

Atentamente,



Ing. Paúl Andrés Molina Campoverde MsC.
0104948104

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a toda mi familia. Principalmente, a mi madre que me ha apoyado en los momentos malos y en menos malos. Gracias por su paciencia, por su esfuerzo, por su empeño de vernos triunfar y salir adelante, por enseñarme a afrontar todas las adversidades sin darme por vencido ni morir en el intento. También quiero hacer un agradecimiento muy especial a mi hermano Jimmy, porque a pesar de mis errores, ha sabido como aconsejarme y apoyarme en momentos difíciles a lo largo de mi vida. A Gonzalo, en paz descanse, porque gracias a la promesa que le hice, hoy es posible la realización de este trabajo. A Soledad, que, gracias a ella, es posible que mi madre haya podido tener un trabajo digno. A Jorge, ya que, a pesar de la distancia, jamás ha faltado su apoyo en momentos cruciales de mi vida. También, quiero dedicarle este trabajo a mi actual pareja Paula, ya que, sin su apoyo, su amor, no hubiera sido posible terminar este proyecto.

Kevin Felipe Benavides Lima

El presente trabajo va dedicado a Dios, al Doc. Jorge Carvajal y familia, excelente profesional y ser humano que en conjunto con mi hija, mi madre y mis hermanas supieron ser la fórmula de la motivación eficaz en esta etapa de mi vida, por haber sido mi guía y consejero en los momentos más complejos de mi vida social y académica, que gracias a su paciencia de buen cristiano y honrado ciudadano, supo ganarse mi admiración y respeto para convertirse en mi guía en un camino lleno de obstáculos del cual pocos lo logran terminar.

Francisco Ignacio Montenegro Nagua

AGRADECIMIENTO

Mis sinceros agradecimientos a todos aquellos docentes que me ayudaron a formar como ingeniero, por compartir su conocimiento y sabiduría a lo largo de mi carrera. Sobre todo, un sincero agradecimiento al tutor de este proyecto al MSC. Paúl Molina, ya que, gracias a su apoyo, supo guiarnos para poder hacer realidad la realización de este proyecto. Y agradecer a mi madre, por no dejarme solo a lo largo de mis estudios y vida personal.

Kevin Felipe Benavides Lima

Agradezco a Agradezco al MSC. Paúl Molina por ser un excelente profesional y tutor académico quien supo poner las palabras adecuadas y la confianza en sus tutorados, brindando el apoyo incondicional en un cierre de etapa importante en mi vida.

Agradezco al director académico de ingeniería Automotriz Ángel Paucar, por brindar toda la confianza hacia sus estudiantes con la cual logró generar un ambiente salesiano óptimo laboral y académico, de tal manera que los docentes a su cargo logran generar buenos estudiantes y honrados ciudadanos.

Francisco Ignacio Montenegro Nagua

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMA	4
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos.	7
Marco Teórico	7
CAPÍTULO I.....	10
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA NORMATIVA EURO 6 Y PARÁMETROS QUE AFECTAN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE.	10
1.1 Normativa EURO 6	10
1.1.1 Descripción y funcionamiento de un ciclo de conducción.....	11
1.1.2 Tipos de ciclos de conducción FTP 75.....	12
1.1.3 Ciclo de conducción europeo (WLTP).....	13
1.1.4 Real Driving Emission	14
1.1.5 Fundamentos teóricos del consumo de combustible	17
1.1.6 Parámetros que afectan el consumo de combustible.....	18
CAPITULO II.....	22
INTERPRETACIÓN DE SEÑALES Y DATOS DEL VEHÍCULO EN PRUEBA MEDIANTE LA ADQUISICIÓN DE DATOS VÍA OBD II.....	22
2.1 Adquisición de datos.....	22
2.1.1 Freematics.....	22
2.1.2 GPS.....	23
2.1.3 OBD II.....	24
2.1.4 PIDS	26
2.2 Diseño de la ruta de pruebas.....	26
2.2.1 Circuito RDE.....	27
2.2.2 Procesamiento de información	28
2.2.3 Importancia de experimentar con un diseño.....	28
2.2.4 Consumo de combustible	29
2.2.5 Cálculo del consumo de combustible mediante el sensor de presión absoluta del motor.....	29
2.3 Diseño factorial.....	32
CAPITULO III	34
DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN ESTUDIO FACTORIAL COMPLETO SEGÚN LAS VARIABLES DE INTERÉS PARA LA ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE.	34
3.1 Cálculo del consumo de combustible y sus variables.....	34

3.1.1	Análisis Exploratorio.....	35
3.1.2	Combustible.....	35
3.1.3	Filtro de aire	36
3.1.4	Filtro de gasolina	36
3.1.5	Combustible vs filtro de aire	37
3.1.6	Combustible vs filtro de combustible.....	37
3.1.7	Filtro de aire vs filtro de combustible.....	38
3.2	Modelo.....	38
3.3	Interacciones.....	41
CAPITULO IV.....		43
ESTABLECER LOS PARÁMETROS QUE OPTIMIZAN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE SEGÚN LAS VARIABLES PROPUESTAS EN EL ESTUDIO		43
CONCLUSIONES.....		46
RECOMENDACIONES		47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		48
ANEXOS.....		54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ciclo de conducción FTP-75.....	13
Figura 2.	Ciclo WLTP	14
Figura 3.	Freematics ONE+.....	22
Figura 4.	GPS.....	24
Figura 5.	Puerto OBD II	24
Figura 6.	Ruta de prueba preliminar	26
Figura 7.	Ruta recorrida.....	27
Figura 8.	Distancia.....	28
Figura 9.	Consumo de combustible	31
Figura 10.	Resultados.....	35
Figura 11.	Combustible.....	36
Figura 12.	Filtro de aire	36
Figura 13.	Filtro de gasolina.	37
Figura 14.	Interacción de tipo de combustible y filtro de aire.....	37
Figura 15.	Interacción entre el tipo de combustible y filtro de gasolina.....	38
Figura 16.	Interacción entre el filtro de aire y filtro de gasolina	38

Figura 17.	Rendimiento	39
Figura 18.	Residuos vs Valores ajustados.....	40
Figura 19.	Normal Q-Q.....	40
Figura 20.	Escala de Localización	41
Figura 21.	Combinaciones de niveles	41
Figura 22.	Interacciones.....	42
Figura 23.	Diagrama de Pareto	43
Figura 24.	Superficie de respuesta	44
Figura 25.	Explorador de superficie.....	44
Figura 26.	Superficie de respuesta estimada.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clases de ciclo WLTP	14
Tabla 2.	Especificaciones de viaje RDE.	15
Tabla 3.	Vías seleccionadas.....	17
Tabla 4.	Diseño Factorial	33
	Orden estandarizado de aleatoriedad, Fuente:	33
Tabla 5.	Diseño Factorial Estandarizado.....	34
	Orden de aleatoriedad que se realizaron las pruebas, Fuente: Autor.....	34
Tabla 6.	ANOVA	39
Tabla 7.	Análisis de Varianza.....	43

RESUMEN

Las emisiones en la ciudad Quito-Ecuador, han aumentado drásticamente en la última década debido al mayor uso de automóviles. Esto representa mayores emisiones de gases nocivos como monóxido de carbono e hidrocarburos. Sin subsidios para la gasolina, muchas personas han comenzado a usar combustibles de menor octanaje, sin saber que estos combustibles tienen una mayor pérdida de calor. Estos combustibles son más baratos; sin embargo, su uso puede conducir a un mayor consumo de combustible debido a la reducción del rendimiento del motor. Este proyecto analizará los parámetros de operación de un motor MPI para mejorar el rendimiento de consumo de combustible a través del ciclo de emisión real RDE en la ciudad de Quito-Ecuador, variando las características de filtrado (aire, combustible) y tipo de gasolina.

Para poder tener un mayor ahorro de combustible y una disminución de emisiones contaminantes dentro de la ciudad de Quito-Ecuador, se toma en cuenta diferentes parámetros que influyen en el consumo de combustible, que no suelen ser tomados en cuenta, por factores económicos. Usualmente las personas utilizan combustibles de menor octanaje porque suelen ser más económicos, minimizando la eficiencia energética que tiene un combustible de mayor octanaje.

Existen estudios realizados en laboratorios, pero difieren de los valores obtenidos en condiciones reales de carretera, por eso se pretende hacer un análisis de las variables que normalmente no son tomados en cuenta cuando se realiza un mantenimiento al vehículo como es el cambio de los filtros de aire y gasolina, por lo general, esto es ignorado por las personas que desconocen del tema. También se pretende hacer un análisis de la influencia que tiene un combustible de mayor octanaje en el consumo, al recorrer varios ciclos de emisiones reales RDE

A través de las pruebas RDE, este proyecto tiene como objetivo explorar variables como las características del filtro y el tipo de gasolina que utiliza un motor MPI mientras circula por una ruta en Quito-Ecuador. Los datos recopilados a través de un dispositivo OBD II se utilizan en este estudio, con la finalidad de calcular el consumo de combustible y hacer comparaciones entre los parámetros que lo influyen. Al optimizar la eficiencia del combustible a través de esta prueba, el proyecto espera estimar el consumo de combustible real en carretera.

Palabras Claves: Consumo de combustible, emisión de gases contaminante, NO_x, ciclos de conducción.

ABSTRACT

Emissions in the city Quito-Ecuador have increased drastically in the last decade due to the increased use of automobiles. This represents higher emissions of harmful gases such as carbon monoxide and hydrocarbons. Without gasoline subsidies, many people have switched to lower octane fuels, not realizing that these fuels have higher heat loss. These fuels are cheaper; however, its use can lead to increased fuel consumption due to reduced engine performance. This project will analyze the operating parameters of an MPI engine to improve fuel consumption performance through the RDE real emission cycle in the city of Quito-Ecuador, varying the filter characteristics (air, fuel) and type of gasoline.

To have greater fuel savings and a decrease in polluting emissions within the city of Quito-Ecuador, different parameters that influence fuel consumption are taken into account, which are not usually taken into account, due to economic factors. Usually, people use lower octane fuels because they tend to be cheaper, minimizing the energy efficiency of a higher-octane fuel.

There are studies carried out in laboratories, but they differ from the values obtained in real road conditions, for this reason it is intended to make an analysis of the variables that are not normally considered when maintenance is carried out on the vehicle, such as the change of air filters. air and gasoline, in general, this is ignored by people who are unaware of the subject. It is also intended to make an analysis of the influence that a higher-octane fuel has on consumption, when going through several cycles of real RDE emissions.

Through RDE tests, this project aims to explore variables such as filter characteristics and the type of gasoline used by an MPI engine while driving on a route in Quito-Ecuador. The data collected through an OBD II device is used in this study, to calculate fuel consumption and make comparisons between the parameters that influence it. By optimizing fuel efficiency through this test, the project hopes to estimate actual fuel consumption on the highway.

Keywords: Fuel consumption, emission of polluting gases, NO_x, driving cycles.

INTRODUCCIÓN

La industria automotriz en estos últimos años ha venido realizando importantes avances tecnológicos específicamente en sistemas multiplexados, en los primeros años de fabricación automovilística se diseñaron vehículos que carecían de un sistema de comunicación, de tal forma que era muy complejo lograr una interacción entre el técnico y el vehículo y más aún lograr medir una las emisiones contaminantes perjudiciales para el medio ambiente.

En primer capítulo encontramos información sobre la normativa EURO 6 que trata sobre requerimientos de aprobación para los fabricantes de vehículos con el objetivo de cuidar la calidad de aire, categorías y tipos de vehículos según su clasificación que buscan reducir las emisiones de óxido de nitrógeno, descripción y funcionamiento de un ciclo de conducción, que es el RDE (Real Driving Emission), parámetros que intervienen en el consumo de combustible.

El capítulo 2 presenta información sobre los elementos empleados para el análisis de rendimiento de combustible en ruta, características técnicas de operación de los dispositivos OBD II, freematics, GPS entre otros, rangos de operación, voltajes, etc., que es un PID, que es un circuito RDE, mapa de la ruta aplicada para el análisis, la importancia de experimentar con un diseño, que es un diseño factorial y fórmulas para calcular el consumo de combustible.

El tercer capítulo nos muestra información sobre los cálculos de combustible y sus variables haciendo referencia a x_1 , x_2 , x_3 , explica brevemente los resultados del análisis exploratorio, el modelo del ANOVA diseñado, la información del diseño factorial y las interacciones utilizadas.

En el capítulo 4 se redacta información sobre cómo se establece los parámetros que optimizan el consumo de combustible según las variables propuestas en el estudio y se realiza el análisis de varianza, se grafica el diagrama de Pareto para la variable del tipo de combustible y se presentan los parámetros para explorar la superficie de respuesta con un menor consumo.

PROBLEMA

Hoy en día, los vehículos que utilizan un motor de combustión interna son una de las principales fuentes de emisiones de gases que son nocivos para el medio ambiente, los cuales generan efectos dañinos tanto para el ser humano como para el medio ambiente. Estudios han encontrado una elevada correlación entre las personas expuestas a emisiones de gases de escape (CO, NOX y HC), y sufrir de enfermedades respiratorias (ARROYO TERÁN et al., 2020). Por otro lado, las emisiones contaminantes generan alteraciones en el ambiente y se presentan como uno de los factores principales del cambio climático (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2013). Con el constante aumento de zonas urbanizadas y el rápido desarrollo de las ciudades, la necesidad de transporte ha provocado un aumento del número de vehículos privados como de transporte público siendo considerados parte de la crisis ambiental, por lo cual, es necesario encontrar nuevas alternativas que formen parte de un programa de desarrollo urbano, buscando la mejora de la calidad del aire dentro de las grandes ciudades, debido a que, si las normas implementadas no son aptas para frenar la contaminación, la creciente actividad vehicular producirá un mayor impacto tanto en la salud poblacional como en el medio ambiente (Roldán, 2019).

Por su parte, la contaminación generada por una conducción agresiva se encuentra reflejada en aspectos de conducción como: aceleraciones repentinas o bruscas que causan un mayor ingreso de aire al motor, influyendo de manera directa en el consumo de combustible y emisión de gases nocivos para el medio ambiente (Hillier & Coombes, 2004). Una conducción agresiva se refleja en un número elevado de revoluciones en el motor, generalmente los motores al encontrarse en regímenes superiores a las 3000 Revoluciones por Minuto (RPM) consumen más combustible de lo necesario debido a que se exige más potencia de salida del motor (Hogan, 1973). La selección de marchas o velocidades también es un factor importante en el consumo del combustible, dependerá mucho en qué régimen de revolución se realiza el cambio de marcha, si se conduce de una manera agresiva, el motor necesitará utilizar mucho más torque disponible, lo cual hará que el vehículo consuma mucho más combustible y contamine más, pero si se conduce de una manera óptima se limita la cantidad de recursos necesarios para impulsar el automotor y reducir la contaminación (Luque et al., 2008).

Otro factor que afecta al consumo de combustible, pero suele pasar desapercibidos por los conductores son los filtros, tanto de aire como de combustible, ya que el no cambiar periódicamente un filtro de aire puede generar problemas como un aumento en el consumo de combustible, emisiones contaminantes y numero de averías (Ticse, 2018). En el caso de los filtros de gasolina, las principales consecuencias son: las partículas contaminantes pueden llegar a los inyectores y las válvulas, provocando averías como obstrucción, rozaduras o roturas (Soriano Negrete & Brubeck Salcedo, 2006)

Delimitación del problema. -

Estudios previos demuestran que los datos obtenidos en laboratorios distan de los resultados de las emisiones de NOx registradas fueron un 60% y un 76% inferiores (García-Contreras et al., 2021) que se pueden obtener mediante circulación en carretera. La norma EURO 6 especifica el ciclo de emisiones reales RDE que especifica una conducción en ciudad en un recorrido interurbano y de autopista (Claßen et al., 2021).

El estudio realizado por (Wang et al., 2022), examinó los efectos de la regeneración del NOx en las emisiones de los vehículos diésel EURO 6d-temp. El estudio se realizó en laboratorio y en condiciones reales de conducción. Descubrió que cuando se realizaba la regeneración del NOx en un automóvil diésel EURO 6d-temp, las emisiones aumentaban en varios órdenes de magnitud. Además, se estudiaron los resultados de las pruebas RDE obtenidos durante diferentes estaciones y condiciones climáticas. Se determinó que las emisiones de NOx eran más altas durante la conducción urbana que en otras fases de la conducción. Esto se puede atribuir a los sistemas EGR que tenían tasas de apertura más bajas durante la conducción en invierno que en la conducción en verano.

La implementación de un ciclo RDE en la ciudad de Quito permitiría a los ciudadanos y autoridades conocer la cantidad diaria de contaminación que producen los vehículos, tratando de aproximarse lo más posible al tipo de conducción y ubicación geográfica de la ciudad. El valor de este método es que no es invasivo y recopila datos del puerto OBD II del vehículo que se aproximan a la cantidad real de contaminación emitida por un vehículo en diferentes condiciones.

En el área metropolitana de Quito se ha presentado un incremento en el tráfico y la contaminación del aire que no es saludable, los niveles de contaminantes superan consistentemente los promedios anuales. El NO y el NO₂ son los principales contaminantes ácidos que se producen durante la combustión a altas temperaturas, por lo que el tratamiento de residuos se utiliza como catalizador para reducir estas emisiones. Como resultado, los vehículos que circulan por las carreteras son los principales contribuyentes a las emisiones de NO_x. Recientemente se han implementado regulaciones más estrictas para reducir la cantidad de gases nocivos emitidos por los vehículos (Triantafyllopoulos et al., 2018).

Es necesario aplicar la metodología RDE en vehículos que circulan por la ciudad diariamente, porque estas pruebas son realizadas en laboratorios, se necesita obtener datos reales con las variables inevitables como es el ruido, para obtener datos cercanos a la realidad. El ciclo RDE consta de cuatro conjuntos de reglas dentro del estándar EURO 6 (García-Contreras et al., 2021)

Un filtro de aceite de motor es vital para un funcionamiento correcto, ya que este dispositivo se encarga de filtrar las impurezas que podrían ingresar al motor, esto permite prolongar la vida útil del motor evitando el desgaste prematuro. Por otro lado, el correcto funcionamiento del filtro de aire es importante para que se anule la obstrucción del paso de aire al motor, y es de suma importancia para una correcta mezcla aire combustible y se cumpla la relación estequiométrica 14,7 – 1, ya que, al tener un filtro con un porcentaje mayor de saturación impedirá el paso libre de aire, obligando al sistema de inyección a ingresar más combustible a la mezcla, de tal forma que se incrementa su consumo. Es importante realizar estas pruebas en motores de combustión interna a gasolina, ya que hay muchos automotores en el país y su crecimiento se ha acentuado en los últimos años. Con este estudio se busca economizar el combustible mediante la adecuada selección de parámetros de mantenimiento y uso de combustible reduciendo el número de emisiones contaminantes generadas en la ciudad de Quito, ya que su aire supera los límites de contaminación recomendado por los organismos de calidad ambiental (Machado, 2019).

Con la ayuda de los PID's obtenidos al adquirir de forma no intrusiva las señales de computador a bordo del vehículo y el uso de sensor MAP, la sonda lambda y un data logger OBD II, se obtendrán los datos de presión absoluta en el colector de admisión de aire, temperatura y ajustes de combustible con lo cual se puede calcular el consumo instantáneo

de combustible, además parámetros como los filtros de aire y combustible son variables de control de este estudio cuando estos consumibles están totalmente limpios y obstruidos así como con la variación del tipo de combustible, esto permitirá hacer un análisis profundo cuando el conductor consuma más combustible y cuando consuma menos combustible (Rocha-Hoyos et al., 2018).

Las emisiones de gases influyen mucho con el tipo de combustible que esté usando el vehículo, pero también tiene algunas variables que hacen que este contamine más o contamine menos, aunque el principal motivo es por el exceso de revoluciones por minuto (RPM). Como consecuencia, la ciudad de Quito-Ecuador tenga un exceso de contaminación más elevado a nivel internacional (Llanes et al., 2018) (A. Rodríguez & Cuví, 2019).

Objetivo General.

Analizar los parámetros de funcionamiento de un motor MPI y variar las características de filtrado y tipo de gasolina para mejorar el rendimiento de consumo de combustible mediante ciclo de emisiones reales RDE en la ciudad de Quito Ecuador.

Objetivos Específicos.

- Establecer los fundamentos teóricos de normativa euro 6 y parámetros que afectan el consumo de combustible.
- Obtener e interpretar las señales y datos del vehículo en prueba mediante la adquisición de datos vía OBD II.
- Diseñar un estudio factorial completo según las variables de interés para estimar el consumo de combustible.
- Establecer los parámetros que optimizan el consumo de combustible según las variables establecidas en el estudio.

Marco Teórico

La conducción ecológica es un sistema de conducción de bajo consumo de combustible que no cambia las capacidades del vehículo y se basa en controles como la aceleración, el cambio de marchas y la aceleración/desaceleración que puede realizar el conductor. Si bien la cantidad depende de la habilidad del conductor, el tipo de vehículo y el entorno, el uso de

este método de conducción puede ahorrarle hasta un 25 %. Por ejemplo, los automóviles híbridos usan un poco menos de energía porque parte de la energía utilizada se usa para cargar la batería del automóvil (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2005).

Se ha estudiado y probado el impacto de la conducción y el tráfico en las emisiones de gases nocivos para el medio ambiente y el consumo de combustible. Como resultado, puedes ahorrar entre un 5% y un 25% en combustible siguiendo los principios de conducción sostenible (van Merlo et al., 2014).

El consumo de combustible se analiza cuando se presiona el pedal del acelerador a fondo, lo que se interpreta en un aumento de la velocidad del motor, que aumentará su velocidad durante el funcionamiento, por lo que la necesidad de más potencia conduce a un mayor consumo de combustible y a una mayor emisión de gases contaminantes (Ulloa & Velasco, 2018).

El análisis que se hizo sobre combustible de Ecuador, una gasolina denominada como Extra tiene un octanaje de 85 y una gasolina premium denominada como Super tiene un octanaje de 92, lo que también tiene un gran impacto en las emisiones porque Extra, que tiene un octanaje más bajo, hace que el motor necesite más combustible para su funcionamiento, sin tener control a la falla del sistema de control de emisiones con el tiempo (Llanes et al., 2018). Los gases contaminantes de los vehículos, como el dióxido de carbono (CO₂) y otros, producen efectos desfavorables sobre el medio ambiente y la salud. El motor de ciclo Otto es responsable de la producción de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (NO_x) y otros gases contaminantes. (Montero León et al., 2017) Nos muestra por qué los motores son responsables del 96,7% (CO), 89,4% (HC) y 77% (NO_x).

En Ecuador, la industria automotriz utiliza una combinación de combustibles conocida en inglés como RON (Research Octane Number), esto es un tipo de prueba para medir el octanaje del combustible, mediante estas combinaciones que son manejadas por la ECU del vehículo, que incluye el sensor MAP de presión absoluta del múltiple de escape y el sensor de flujo de aire de admisión. Con un flujo de aire alto, usando cada método apropiado, también debemos considerar la velocidad del motor y la temperatura absoluta de admisión. Uno de los métodos utilizados es el uso de un sensor de presión absoluta múltiple, acompañado de una fórmula matemática basada en la ecuación de gas ideal.

El uso del enfoque de diseño de factores nos ayuda a simplificar el proceso de optimización de datos. Este método consiste en probar todos los tratamientos obtenidos al combinar cada nivel de un factor con los niveles de otro factor (Jarquin-López et al., 2011).

Actualmente podemos encontrar una gran cantidad de métodos que nos ayudan a combinar pruebas en un solo viaje, uno de ellos es el método RDE, que consiste en combinar pruebas de manejo en un solo viaje a tiempo específico, estas pruebas son realizadas en tres rutas diferentes, las cuales son: urbano, interurbano y carretera (Bodisco & Zare, 2019).

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA NORMATIVA EURO 6 Y PARÁMETROS QUE AFECTAN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

1.1 Normativa EURO 6

El estándar EURO 6 se basa en la recomendación de la Organización Mundial de la Salud para la calidad del aire. WLTP (Worldwide Harmonized Vehicle Test Procedure) es un nuevo método para registrar automóviles que se estableció como resultado de la creación de un método de prueba globalmente consistente. Esto se debe a que WLTP estaba destinado a determinar el consumo de combustible y los niveles de emisiones de los automóviles. En comparación con los estándares NEDC (New European Driving Cycle), los estándares WLTP brindan a los clientes información más precisa (Boveroux et al., 2021).

En 2013 se establecieron los estándares EURO 6 para emisiones contaminantes. La normativa europea EURO 6 limita las emisiones de determinados gases de los vehículos. Entró en vigor en septiembre de 2015 y aumentó los límites de emisiones de óxidos de nitrógeno y material particulado (NOx). Esta ley obliga a los fabricantes de automóviles y camiones a idear nuevos modelos que reduzcan la contaminación (Arias et al., 2023).

En 1992, la Unión Europea estableció estándares "europeos" para los contaminantes del aire. Todos los automóviles nuevos deben cumplir con estos estándares para evitar gases que pueden afectar negativamente la salud, como el CO y los HC. Además, estos estándares limitan el NOx, PM e hidrocarburos en el aire (Arias et al., 2023).

La norma EURO 6 establece un límite en la cantidad de contaminantes que puede emitir un automóvil que son dañinos para la capa de ozono. Los Estándares Europeos de Emisión de Contaminantes regulan los nuevos vehículos vendidos en los estados de la Unión Europea. Cada directiva sucesiva hace que los estándares sean más restrictivos, hasta que la directiva más reciente cierra todas las opciones de emisiones (Spedding, 2002).

Los vehículos nuevos vendidos en la Unión Europea deben seguir un conjunto de pautas con respecto al nivel de contaminantes internos que deben producir. Estos estándares se implementaron primero paso a paso a través de varias directivas (Luque et al., 2008).

Este reglamento establece lineamientos fundamentales para la expedición de vehículos en categorías específicas las cuales son: M1, M2, N1 y N2 (CLASIFICACIÓN DE CATEGORÍAS Y TIPOS DE VEHÍCULOS, 1992). El peso de referencia para estos vehículos es de 2610 kg o menos. Las normas EURO 5 y 6 forman parte de este conjunto de directrices. Una de las razones por las que existen estas regulaciones es para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno, material particulado e hidrocarburos en un esfuerzo por reducir los valores de contaminación del aire causados por el sector del transporte y mejorar la calidad del aire. Además, esta regulación fue creada para mejorar la eficiencia de los sectores energético, agrícola e industrial, así como para reducir el consumo total de energía (Sánchez, 2010).

1.1.1 Descripción y funcionamiento de un ciclo de conducción

Los ciclos de conducción son un método comúnmente utilizado para calcular el consumo de combustible y los gases de efecto invernadero (CO₂, HC y NO_x) emitidos al aire. Los puntos de datos en un ciclo representan la velocidad de un automóvil a lo largo del tiempo, que normalmente se mide con velocímetros de vehículos. Diferentes organizaciones proponen ciclos de conducción para evaluar el desempeño de sus autos, se utilizan métodos estandarizados para estimar el combustible y las emisiones por ciclo de manejo. Estos ciclos se pueden calcular considerando las velocidades de un vehículo a lo largo del tiempo (Quinchimbla & Solís, 2017).

Técnicas como Eco-Drive en pruebas de carretera de los vehículos reveló que las emisiones nocivas de HC disminuyen levemente, pero no de manera significativa. Además, las pruebas de equipos a bordo de CO y NO_x mostraron reducciones significativas en las emisiones. Estos hallazgos llevaron a la conclusión de que Eco-Drive redujo las emisiones de los vehículos (Pineda & Xie, 2021).

La ley estadounidense exige una revisión de las emisiones relacionadas con los vehículos, esto incluye limitaciones en la liberación de vapores nocivos de los vehículos. El límite legal actual de EE. UU. es de 2 gramos de HC por hora; esto se traduce en aproximadamente 1 litro, o ¼ de galón, de vapor liberado por mes (van Merlo et al., 2014). Las emisiones de los vehículos son una fuente de gases nocivos para el medio ambiente. Su importancia va en aumento por su impacto en el calentamiento global, el consumo de energía y la salud global

(Andrade-Castañeda et al., 2017). El sector del transporte continúa produciendo gases de efecto invernadero (GEI) significativos, incluso con mejoras en la calidad y tecnología del combustible. La contribución del sector energético al total global de GEI fue del 25,6 % en 2015 (Schröck et al., 2017). Se prevé que esta cifra aumente un 1,1 % anual hasta 2020 antes de estabilizarse finalmente alrededor de 2040 (Administración de Información de Energía, 2017). Las medidas de política tecnológica son implementadas por la industria del automóvil. Estas medidas de referencia reducen el consumo de combustible y las emisiones de carbono (Bottiglione et al., 2014). Muchas técnicas operativas empleadas por los administradores de tráfico incluyen límites de velocidad dinámicos, optimización coordinada de señales de tráfico y medidas para influir en el comportamiento del conductor, términos como conducción ecológica, conducción ecológica o conducción eficiente se asocian con hábitos de conducción como la conducción consciente o ecológica.

La reducción de emisiones. Se ha comprobado que la reducción del consumo de combustible está directamente relacionada con la reducción de las emisiones contaminantes del aire hasta en un 15%. Además, la contaminación acústica se reduce considerablemente gracias a ECO-Driving (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2013).

Los controles de emisiones han tenido un impacto significativo en la reducción de la cantidad de contaminantes emitidos por distancia recorrida en automóviles. Sin embargo, el aumento de la distancia recorrida por vehículo, y el aumento del vehicular en circulación, conducen a una disminución de la reducción total.

1.1.2 Tipos de ciclos de conducción FTP 75

A nivel mundial existen diferentes tipos de ciclos de conducción, de los cuales dos de los más usados e importantes son:

- El FTP 75
- El ciclo de conducción europeo (WLTP).

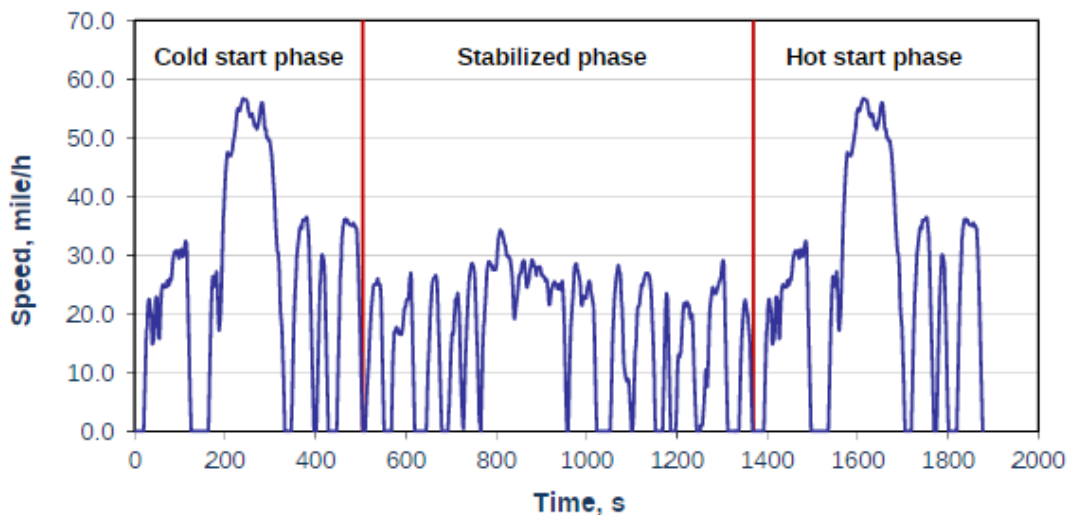
El ciclo FTP-75 es un ciclo de conducción desarrollado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental) de los Estados Unidos para simular las condiciones de conducción promedio de un conductor estadounidense típico. El ciclo FTP-75 consta de cuatro segmentos diferentes,

cada uno con diferentes perfiles de velocidad y aceleración (Witze et al., 2004). El FTP-75 (Procedimiento de prueba federal) es un ciclo de conducción utilizado para medir las emisiones de un vehículo en una distancia específica. Es un ciclo de conducción desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para simular las condiciones de conducción promedio de un conductor estadounidense típico (Kim et al., 2016).

1.1.3 Ciclo de conducción europeo (WLTP)

El WLTP (Procedimiento de prueba de vehículos ligeros armonizados a nivel mundial) es un ciclo de conducción desarrollado por la Unión Europea para medir las emisiones de un vehículo en una distancia específica. Está diseñado para simular las condiciones de conducción promedio de un conductor europeo típico. El WLTP es más estricto que el FTP-75, ya que requiere una aceleración más agresiva y velocidades más altas (Pavlovic et al., 2016). El ciclo FTP-75 es un ciclo de conducción desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para simular las condiciones de conducción promedio de un conductor estadounidense típico como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Ciclo de conducción FTP-75



Representación gráfica del ciclo, Fuente: (Wang et al., 2022)

El ciclo FTP-75 consta de cuatro segmentos diferentes, cada uno con diferentes perfiles de velocidad y aceleración. El ciclo de conducción europeo (WLTP) es un ciclo de conducción desarrollado por la Comisión Europea para simular las condiciones de conducción medias

de un conductor europeo típico. El ciclo WLTP consta de cuatro segmentos diferentes, cada uno con diferentes perfiles de velocidad y aceleración. El ciclo WLTP es más agresivo que el ciclo FTP-75, con mayores velocidades medias y mayores aceleraciones, como se describe en la tabla 1 (Choi et al., 2019).

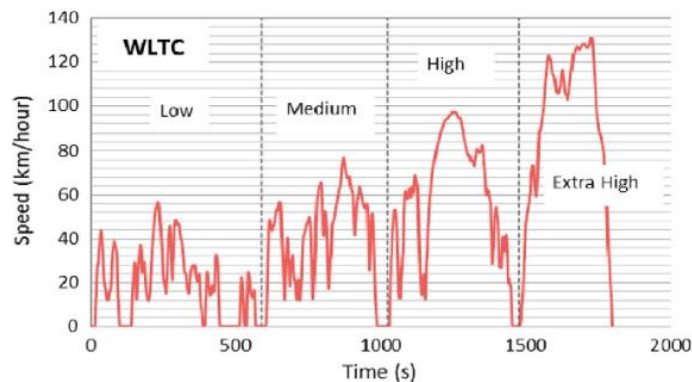
Tabla 1. Clases de ciclo WLTP

CLASE	RELACIÓN DE POTENCIA/MASA
1	$PMR \leq 22$
2	$22 < PMR < 34$
3	$PMR \geq 34$

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

En la figura 2 se muestra la representación gráfica del ciclo WLTP.

Figura 2. Ciclo WLTP



Representación gráfica del ciclo, Fuente: (Pavlovic et al., 2016)

1.1.4 Real Driving Emission

Se deben considerar muchos factores al evaluar las pruebas de emisiones de la vida real. Estos incluyen la estrategia de cambio de marchas, la resistencia a la rodadura, la resistencia aerodinámica, el estilo de manejo del conductor, las condiciones ambientales y la ganancia de altitud del vehículo cuando no va cuesta arriba. Al ignorar estos factores, muchas de estas pruebas son defectuosas.

El Centro Común de Investigación de la Comisión Europea realizó varias pruebas de sistemas de medición de emisiones a bordo, como el PEMS (Sistema Portátil de Medición de Emisiones). Uno de estos se realizó en automóviles livianos, llamado experimento del PEMS. En este experimento, el PEMS midió las emisiones reales tanto en el laboratorio

como en la carretera. El resultado mostró que había diferencias significativas entre ambas pruebas. Una de las razones por las que se debió a una directiva de la Unión Europea emitida en 2016 llamada Reglamento de la Comisión (UE) 2016/427. Esta directiva establece algunas reglas para el ciclo RDE, que es cuando un automóvil se usa como transporte personal. Estas reglas especifican la ruta, la velocidad, la distancia y la duración del uso para cada sesión. Además, especifica las condiciones ambientales para cada sesión, como la temperatura o los niveles de humedad (Donateo & Giovinazzi, 2017).

El principal objetivo de un ciclo RDE es complementar el ciclo WLTP midiendo las emisiones contaminantes de los vehículos durante las pruebas en carretera. Se necesita llevar a cabo estas pruebas en vías públicas, ya que existe una variedad de condiciones, para ello se utiliza instrumentos PEMS para medir y recolectar emisiones de óxido de nitrógeno, dióxido de carbono, hidrocarburos y partículas que no deben ser superadas por las que son establecidas por la normativa EURO 6.

Las principales condiciones que debe cumplir un ciclo RDE es como se muestra a continuación en la Tabla 2:

Tabla 2. Especificaciones de viaje 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 ... 30	60 ... 90	>90	km/h
Distancia mínima	>16	>16	>16	km/h
Porcentaje de distancia	28 ... 43	23 ... 43	23 ... 43	%
Tiempo de parada	>10	-	-	%
Tiempo a v > 100 km/h	-	-	>300	s

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

En la ruta urbana, la velocidad debe ser inferior a 60 km/h, el promedio de velocidad debe estar entre los 15 y 30 km/h, la distancia de recorrido debe ser superior a 16 km, pero en toda la ruta, su porcentaje de distancia debe estar entre el 28 y 43% de toda la ruta, no debe ser menor ni superior a este valor. Por último, esta ruta debe tener como mínimo un 10% de tiempo de parada.

En la ruta rural o interurbana, la velocidad debe estar entre los 60 y 90 km/h, el promedio de velocidad debe ser semejante a las velocidades en las que el vehículo recorre dicha ruta, la distancia de recorrido debe ser superior a 16 km, al igual que en la ruta urbana, el porcentaje de distancia debe estar entre los 23 y 43% de toda la ruta.

En la ruta de autopista, su velocidad debe ser superior a 90 km/h, su porcentaje de velocidad también debe ser superior a 90 km/h y, por último, su porcentaje de distancia debe estar entre los 23 y 43% de toda la ruta establecida (García-Contreras et al., 2021).

En cuanto a los requisitos del motor, es difícil cumplir con la actual normativa EURO 6 que limita la contaminación, asegurando que las condiciones reales de operación son significativamente diferentes a las requeridas para operar en los ciclos NEDC o WLTC. Por supuesto, cuando se utilizan factores de compatibilidad, estos límites pueden aumentar, dejando pequeños márgenes de beneficio para los fabricantes. Nueva fórmula de límite que no coincide con la conducción real (Wang et al., 2022).

Se evalúa el consumo real de combustible y las emisiones de los gases contaminantes, ya que es un problema abierto. Los funcionarios gubernamentales utilizan esta información para determinar las estrategias de control de emisiones. Mientras los fabricantes implementan estrategias para innovar y mejorar los vehículos, los operadores de flotas implementan estrategias para reducir el consumo de combustible (Solano, 2021).

Las pruebas se realizaron en Quito, la capital de Ecuador y una de las ciudades más pobladas. Con una gran cantidad de vehículos, las pruebas cumplen con las condiciones de tráfico que son ideales y se pueden adaptar a las condiciones de conducción reales. Similar a (García-Contreras et al., 2021), se crea una ruta que sigue la distancia mínima para cada tramo de la ruta y se limita a los límites de velocidad de la ciudad. Considerando los métodos utilizados por (Noé et al., 2013) en el desarrollo de una ruta turística propuesta en la ciudad de Jalisco, México, se determinó el terreno muy similar y los límites de acuerdo con el área propuesta para el desarrollo del proyecto, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Vías seleccionadas

Características de las rutas	Recorrido
Ruta Urbana	Av. De la prensa – Av. Mariscal Sucre – Av. Simón Bolívar
Ruta Rural o Interurbana	Av. Simón Bolívar – Ruta Viva
Ruta de Autopista	Ruta viva – Conector Alpachaca

Caracterización de las vías, Fuente: Autor.

1.1.5 Fundamentos teóricos del consumo de combustible

El consumo o rendimiento de combustible de un automóvil indica la distancia recorrida por litro de combustible. Las medidas más utilizadas son: MPG (millas por galón) y KM/L (kilómetros por litro). El kilometraje por litro suele ser la medida más sencilla; indica el potencial de kilometraje de un automóvil dividido por la cantidad de litros en un tanque lleno. Alternativamente, KM/L indica el potencial de kilometraje dividido por 100, siendo un kilómetro igual a un litro. En general, los vehículos de bajo consumo de combustible tienen mayores distancias recorridas que los de alto consumo (Marchese & Golato, 2011).

Las mezclas estequiométricas son proporciones de combustible y aire necesarias para que se produzca una reacción química. Sin estos dos elementos, no ocurriría una reacción; no se crearían nuevos compuestos y no se produciría la combustión, para poder garantizar una mezcla equilibrada de combustible y aire dentro de un motor, es necesario que todos los elementos de aire y combustible se combinen para crear una mezcla ideal 1:1. Esto da como resultado que todo el combustible y el aire se quemen y se reemplacen con elementos nuevos (Araujo & Pintado, 2015).

Para tener una buena combustión, se debe tener en cuenta otros factores muy importantes como son las condiciones ambientales; por ejemplo, conducir con clima templado reduce el consumo de combustible. Es importante tomar nota del efecto que tiene el rendimiento del

motor de un vehículo en la eficiencia del combustible. Esto se debe a que la forma en que conduce un conductor también puede tener un impacto en este aspecto de su vehículo. Al observar formas de mejorar la eficiencia del combustible, como acelerar y desacelerar con más suavidad, los conductores pueden mejorar los resultados de este elemento (Ulloa & Velasco, 2018).

Comprender la relación entre el estilo de conducción y el consumo de combustible es clave para mejorar la eficiencia de un vehículo. Los fabricantes de automóviles estandarizan el consumo de combustible de sus automóviles. Esto se debe a que muchos factores afectan la cantidad de combustible que usa un automóvil, incluido el estilo de conducción, la carrocería y el motor. Los autos nuevos tienen eficiencias diferentes a las de los autos antiguos debido a los cambios aerodinámicos porque estos tienen un efecto sobre la eficiencia del combustible debido a la aerodinámica. La resistencia del aire juega un papel importante en la velocidad a la que puede viajar un vehículo. Otros factores, como la posición de las ventanas, también afectan la velocidad. Si las ventanillas están cerradas, la resistencia del aire disminuirá, lo que aumenta la eficiencia de conducción y el consumo de combustible. Sin embargo, tener las ventanas abajo, aumentará la resistencia y disminuirá la velocidad. Conducir vehículos teniendo en cuenta la economía de combustible requiere comprender la resistencia aerodinámica. Esta es la razón por la cual los vehículos tienen costos de combustible más altos cuando viajan a 120 km/h o más. Además, otros factores influyen en los costos de combustible, incluidos el peso y la aceleración del (Alba & Guangasi, 2018).

1.1.6 Paramentos que afectan el consumo de combustible

Los diferentes tipos de combustible, es un factor que influye en el consumo de combustible, esto es debido a que los combustibles tienen diferentes números de octanos. El número de octanos representa la resistencia a la detonación que posee un combustible cuando se comprime en los cilindros de un motor. Cuanto mayor sea el octanaje, la compresión del combustible es más alto y llega a tener un mayor rendimiento. Los combustibles de alto octanaje pueden funcionar a presiones más altas y producir más potencia y energía que otros combustibles con menor número de octanaje (Leone et al., 2015).

Además del diseño de motores más pequeños con menor cilindrada y número de cilindros, el uso de inyección directa y turbo alimentación, los motores reciben y recibirán más

tecnologías para disminuir el consumo y las emisiones. Los motores más pequeños usan menos combustible, pero agregar un turbocompresor u otro refuerzo puede compensar su menor potencia. Un tren de válvulas variable, que permite un cambio en el número de válvulas operativas por cilindro, puede permitir que un motor determinado produzca más potencia, lo que permite reducir el tamaño del motor. La extracción de oxígeno es otra técnica para reducir el tamaño de un motor sin perder potencia. La mayoría de los fabricantes en la actualidad, optan por utilizar motores de pequeña cilindrada relacionados con la turboalimentación para conseguir la misma potencia que los motores de gran cilindrada (Orellana, 2021).

Estos motores reducen la cantidad de combustible quemado y reducen las emisiones al medio ambiente, que son objetivos de su diseño. Las personas que usan estos motores cambian la forma en que conducen para beneficiarse del cambio. ADEFA recomienda el mantenimiento regular de los vehículos para mejorar la economía de combustible. Cambiar los filtros y realizar un mantenimiento regular puede ayudar a que su automóvil ahorre un 1,5 % en combustible. Esto se debe a que el mantenimiento regular puede evitar que el filtro reduzca la capacidad de retención de aceite del motor y dañe el motor. Según ADEFA, los cambios en la capacidad del aceite o el mantenimiento de los filtros pueden reducir la capacidad de retención de impurezas en el motor, provocando daños más severos y un mayor consumo de combustible (Donato Laborde, 2014).

Otro factor importante en el consumo de combustible son los inyectores que vienen en muchas variedades diferentes, algunos motores cuentan con un sistema de inyección directa o indirecta. Uno de los primeros sistemas de inyección es el de inyección indirecta, cuando los automóviles a gasolina mezclan su combustible con el aire que ya se está moviendo a través de sus motores, lo hacen a través del colector de admisión. Algunos autos diésel más antiguos también usan inyección indirecta, lo que significa que el combustible se mezcla fuera de la cámara de combustión del motor. Para aumentar la mezcla entre aire y combustible, los motores con este diseño incorporan un interior rugoso. Esto se puede lograr mediante el uso de cámaras de turbulencia en el eje o cámaras de turbulencia adicionales si se desea. Esto hace que tengan un mayor consumo debido a que el combustible se distribuye uniformemente por toda la cámara de combustión, el motor tiene mayores pérdidas de calor a diferencia de los motores con una distribución de combustible más centralizada. Cuando se enciende el motor, el combustible calienta rápidamente el área circundante y reduce la

eficiencia térmica del motor. Otro sistema de inyección es el de inyección directa, en los últimos años, algunos motores de gasolina han comenzado a utilizar inyectores directos. Este método garantiza un suministro preciso de combustible directamente a los cilindros del motor. Debido a la mayor relación de compresión, esto permite una mayor eficiencia de combustible. La inyección indirecta de combustible requiere que la combustión se produzca a cierta distancia de la bujía. Esto se debe a que la inyección indirecta de combustible requiere una cantidad significativa de pérdida de calor a través de las paredes del cilindro. Además, la temperatura en el múltiple de admisión es más baja, lo que resulta en una menor pérdida de calor que se transfiere a las paredes del cilindro resultando así una mayor ventaja por tener un menor consumo (Fellay et al., 2021).

Cambiar la configuración del motor puede mejorar el uso de combustible también otro factor muy importante para tener en cuenta es el mantenimiento regular, esto puede aumentar el rendimiento de un vehículo. Según un informe publicado por Fuel-Economy, usar el nivel de aceite de motor que es recomendado por el fabricante puede reducir el consumo de combustible entre un 1 y un 2 %. Además, cambiar el filtro de aire o reemplazar el aceite puede aumentar el rendimiento en un 40 % (de Carvalho et al., 2012).

Reducir la velocidad al conducir puede reducir los costos de combustible porque cuando se limita la velocidad, se disminuye la cantidad de combustible que se utiliza. Esto se debe a que la velocidad reducida usa menos combustible. Hacer que los vehículos sean más livianos reduce el uso de combustible. Muchos fabricantes de automóviles utilizan piezas de carrocería compuestas en sus vehículos, lo que reduce el peso total del vehículo. Esto produce un aumento en la eficiencia y ayuda a reducir los costos de combustible (Arboleda, 2010).

Mantener continuamente una velocidad es el enfoque más eficiente en combustible, la velocidad y la fluidez en un bucle evitan que el motor frene y acelere con frecuencia. Estos factores ayudan a reducir el desperdicio de combustible y aumentan la calidad del viaje, lo mejor es conducir con velocidad y ritmo constantes. Es preferible mantener la velocidad a la que se mueve un vehículo evitando frenar, acelerar o cambiar de marcha innecesariamente. Los automóviles pueden retrasar el frenado lo antes posible utilizando primero los frenos del motor. También es beneficioso suavizar la aceleración del vehículo y los cambios de marcha para que el viaje sea breve y sin interrupciones. La Agencia Internacional de la Energía

recomienda conducir a 110 km/h en carretera para reducir el consumo de combustible en un 11%. Sin embargo, cambiar de marcha y frenar o acelerar aumenta el consumo de combustible. Por lo tanto, minimizar el cambio de marchas y el frenado puede ayudar a ahorrar combustible (Alcántar et al., 2015).

CAPITULO II

INTERPRETACIÓN DE SEÑALES Y DATOS DEL VEHÍCULO EN PRUEBA MEDIANTE LA ADQUISICIÓN DE DATOS VÍA OBD II.

2.1 Adquisición de datos

A continuación, se describe los dispositivos empleados para la obtención de datos de prueba mediante el uso del OBD II, tomando en cuenta características, voltajes, capacidades de cada elemento empleado en el análisis de estudio. Entre los dispositivos empleados encontramos Freematics que facilita la toma de datos provenientes del vehículo, el GPS que nos da la ubicación del vehículo y para el mapeo de ruta es usado el servicio de Google Maps, características sobre la ruta seleccionada para las pruebas y también información sobre cálculos para la obtención de consumo.

2.1.1 Freematics

Los sistemas OBD se crearon originalmente en la década de 1960 como una forma de conectar automóviles con un puerto de diagnóstico. Con el tiempo, estos sistemas se han reforzado con nuevas tecnologías que los hacen más efectivos para diagnosticar y resolver problemas en los vehículos. En la figura 3 se muestra el dispositivo de adquisición de datos OBD.

Figura 3. Freematics ONE+



Recolector de datos OBD II, Fuente: (Alvarado & Ucho, 2020)

Actualmente, se está trabajando en formas de utilizar los sistemas OBD para detectar y tratar el deterioro de la cognición motora en los automóviles. Esta tecnología todavía es bastante nueva, ya que no se implementó hasta la década de 1970. En ese momento, los fabricantes de automóviles comenzaron a construir sus modelos con sistemas de control electrónico que

podían detectar fallas e irregularidades en sus motores. Actualmente, los vehículos creados por fabricantes de automóviles tienen instalados múltiples sistemas de control electrónico. Estos sistemas pueden detectar problemas con cada actuador o sistema como: bolsas de aire, controles de tracción y calentadores de asientos, para reducir o incluso eliminar fallas relacionadas con el motor. Es difícil diagnosticar diferentes sistemas utilizados por diferentes fabricantes de automóviles y años de modelo. Cada fabricante tiene un sistema diferente que debe ser diagnosticado. Los estándares OBD I se implementaron en 1991. Requieren que los vehículos tengan un conector de diagnóstico estandarizado, así como señales y datos de prueba de diagnóstico. Estos estándares están representados por la SAE (Gárate Montalvo, 2018). Las características físicas del OBD I son:

- La transferencia de datos y el conector.
- Un indicador que se enciende cuando hay una falla.
- Monitoreo de los elementos relacionados con las emisiones

Es así que la evolución de OBD es OBD II, la organización internacional de normalización (ISO), la sociedad de ingenieros del automóvil (SAE) y la agencia de protección del medio ambiente (EPA) fueron las encargadas de realizar las mejoras centrándose en la normativa vigente para esos años. En la actualidad este dispositivo ya cuenta con mejoras notables gracias a su evolución y mejoras tecnológicas a diferencias de su antecesor.

2.1.2 GPS

Este dispositivo permite obtener la posición de un objeto en tiempo real, la cual se conecta por medio de un cable al freematics. Las tecnologías utilizadas son (GPS) Global Positioning System) y GLONASS (Global Navigation Satellite System). En la figura 4 se muestra el GPS utilizado.

Figura 4. GPS



Imagen del dispositivo GPS, Fuente: (Alvarado & Ucho, 2020)

2.1.3 OBD II

Este dispositivo se conoce con el nombre de “On-Board Diagnostics II” u OBD II, como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Puerto OBD II



Entrada puerto OBD II del vehículo, Fuente: Autor

On Board Diagnostics II es la continuación de OBD I, que proporciona actualizaciones y mejoras al sistema de diagnóstico de un vehículo. Se utiliza para detectar fallas químicas, mecánicas y eléctricas que afectan las emisiones del vehículo al medio ambiente y también puede identificar otras fallas del vehículo.

Los sistemas OBD II requieren estándares más estrictos que los sistemas OBD I. Estos estándares son exigidos por las normas SAE, ISO y OBD II.

Cuando ocurre un mal funcionamiento en el vehículo, el sistema OBD II alerta al conductor. La función del panel de instrumentos de luz mil, inicia el proceso de comunicación, y el conductor puede cambiar inmediatamente el vehículo a un lugar seguro o llevar a un

mecánico para que lo ayude. El sistema comprueba todos los sensores relacionados con las emisiones antes y después de los convertidores catalíticos. Por ejemplo, los sensores de oxígeno deben confirmar su correcto funcionamiento químico después de los convertidores catalíticos y antes del motor.

Cada vehículo es diferente, por eso cada vehículo tiene un diseño único. Sin embargo, las marcas suelen utilizar los mismos principios de diseño al construir sus vehículos. Esto conduce a una ubicación de puerto OBD II única para cada marca. La ubicación de este puerto depende del asiento del pasajero o del área del volante, lo que dicten los diseñadores del vehículo. Los sistemas OBD II almacenan información sobre fallas almacenadas en una base de datos y proporcionan esos datos al sistema al que pertenece.

Este sistema OBD II es crucial para la comunicación entre un automóvil y el mecánico, así como para la resolución de problemas. Se puede usar cualquier herramienta de diagnóstico para conectarse a este sistema, como Bluetooth, cable USB, WiFi o un programa de computadora o aplicación móvil. Los automóviles que usan diésel o algún otro combustible alternativo también se pueden adaptar con este sistema.

Todo vehículo que contenga una ECU requiere un puerto OBD II porque fue obligatorio para los fabricantes incluir este sistema en sus modelos a partir de 1996. Estos sistemas manejan diferentes funciones del motor para garantizar un correcto funcionamiento, por lo que todos los vehículos con ECU deben poder acomodar un puerto OBD II. Esto se debe a las diferentes opciones de transmisión de datos de transmisión que el sistema puede acomodar. A continuación, se enumeran los principales vehículos compatibles con OBD II.

- El estándar SAE J1850 PWMN se utiliza en vehículos Ford. Emplea señales diferenciales y puede transferir datos a 41,6 kbps.
- El estándar SAE J1850 VPW se utiliza en vehículos GM. Puede transferir datos a una velocidad de 10,4 Kbps.
- Los vehículos fabricados entre 2000 y 2004 para consumidores europeos utilizan la norma ISO 9141/14230.
- KWP2000 es un protocolo extremadamente común utilizado en automóviles fabricados en 2003. Funciona a 10,4 kilobits por segundo.

- De 2003 a 2008, el protocolo CAN fue obligatorio en todos los vehículos estadounidenses. Este estándar para información de diagnóstico de vehículos se introdujo en 2003 y 13765.
- SAE J1850 VPM establece que puede transmitir datos a 10,4 kbps a través de un solo cable de transferencia de datos con referencia masiva.
- La velocidad de transmisión de datos de SAE J1850 PWM es de 41,6 Kbps cuando se utilizan dos conductores en modo diferencial.

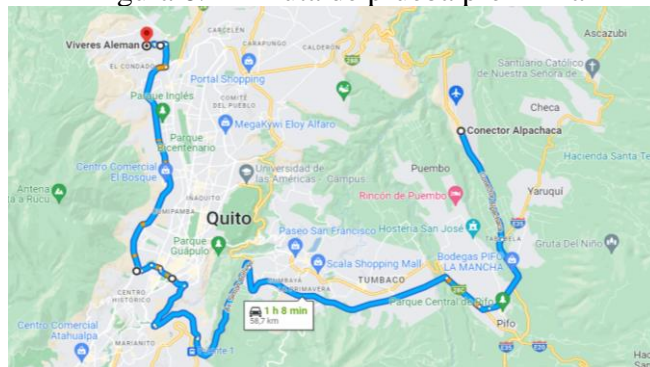
2.1.4 PIDS

En el área automotriz los PID son conocidos como parámetros de identificación de datos, los cuales son códigos utilizados para la obtención de datos informativos del vehículo, El estándar SAE J1979 manifiesta que todos los vehículos requieren cumplir ciertas regulaciones, principalmente para las pruebas de emisiones con las diferentes normativas de la región. Las diferentes marcas determinan que un PID es de uso reservado para para cada casa comercial, ya que no están obligados aportar modelos impuestos de otras marcas sino más bien a que cada fabricante diseñe su propio modelo.

2.2 Diseño de la ruta de pruebas.

Anteriormente, se probó con diferentes rutas en diferentes horarios, pero no se logró cumplir las velocidades ni los tiempos de paradas ya que eran superiores a los requeridos, esto fue provocado por la carga vehicular excesiva y en otros casos se produjo por el efecto contrario, de tal forma que se procedió a rediseñar una nueva ruta como se muestra en la figura 6 teniendo en cuenta los factores de afectación anteriores.

Figura 6. Ruta de prueba preliminar



Diseño de prueba de ruta, Fuente: Autor

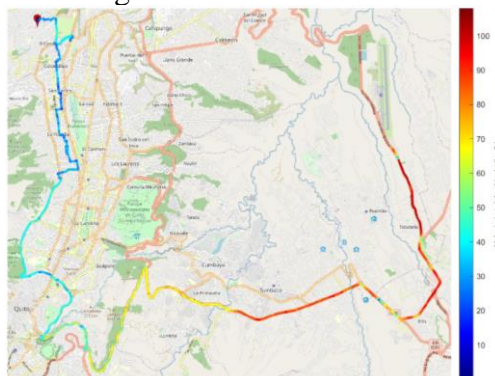
2.2.1 Circuito RDE

La selección de ruta está sujeta a ciertos parámetros y requisitos que se debe cumplir para que pueda ser tomada en cuenta y ser válida para realizar las pruebas, de los cuales los requerimientos los podemos observar en la tabla 1.

Las tres zonas empleadas tienen diferentes requisitos, el trayecto urbano consta de un 34%, mientras que la zona rural es de 33% y en autopista es de 33% considerando una tolerancia de $\pm 10\%$, no debe cubrir menos del 29% de la distancia total recorrida, excepto para operaciones urbanas. Además, se establece el kilometraje mínimo para cada tramo, siendo el tramo mínimo de 16 km. La velocidad media en ciudad está entre 15 y 30 km/h, y las paradas (definidas como periodos en los que la velocidad es inferior a 1 km/h) deben ocupar al menos el 10% del tiempo. Las operaciones urbanas incluyen interrupciones de 10 segundos o más y evitan interrupciones excesivamente largas que representan el 80% o más. Las distancias entre carreteras deben incluir velocidades superiores a 90-110 km/h. La velocidad debe ser superior a 100 km/h durante al menos 5 minutos (Cazorla, 2022).

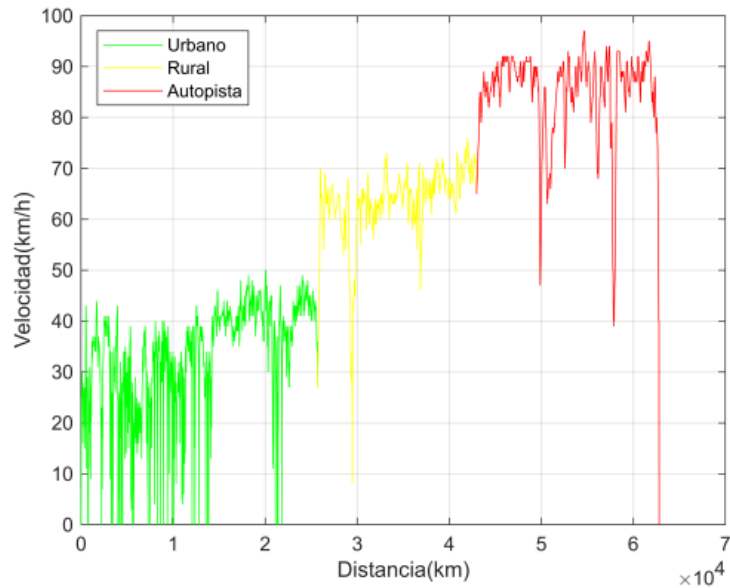
Al graficar la ruta planificada, se puede notar claramente que se encuentra identificado por colores según las velocidades y kilometrajes empleados en cada una de las rutas antes mencionadas como se observa en la figura 7.

Figura 7. Ruta recorrida



Mapa de la ruta recorrida con sus velocidades, Fuente: Autor

Figura 8. Distancia



Gráfica velocidad vs distancia, Fuente: Autor

2.2.2 Procesamiento de información

Las señales obtenidas para las pruebas se las obtuvo mediante la adquisición de datos vía OBD II, que es un dispositivo (puerto de conexión) electrónico con la capacidad de transmitir datos del vehículo para ser leídos por otro dispositivo electrónico (Freematics) el cual posee la capacidad de almacenar información para posteriormente ser transferido a Matlab, de tal manera que se logra la obtención de diferentes PID's (VSS, MAP, IAT, etc.). Ya con esa información se procede a realizar un ANOVA para la interpretación de datos y gráficas según el requerimiento.

2.2.3 Importancia de experimentar con un diseño

El papel de las pruebas en todas las áreas de investigación y desarrollo es esencial, ya que el objetivo principal de las pruebas es obtener información de calidad. Esta información permite desarrollar nuevos productos y procesos, mejora la comprensión del sistema (ya sea un proceso industrial o un proceso analítico, etc.), optimiza y mejora su calidad, formula hipótesis científicas permitiendo realizar pruebas, etc.

2.2.4 Consumo de combustible

Para que la combustión se realice en un motor de un vehículo a combustión, depende de tres factores fundamentales que son aire, chispa y combustible, de tal forma que la mezcla sea la ideal, En nuestro estudio es necesario contemplar las tres variables propuestas como es el filtro de gasolina, filtro de aire, calidad y tipo del combustible según su octanaje. De ello dependerá la cantidad de combustible consumido en una distancia recorrida, además, se lo puede medir en galones o litros por cada 100 km. Este trabajo se enfoca en el análisis de rendimiento con combustible con diferentes octanajes de combustible (super de 95 octanos y extra de 85 octanos), por lo general un vehículo posee un contador de kilómetro y medidor de combustible con el cual mediante un cálculo por medio de la computadora del vehículo nos muestra el consumo, pero también se lo puede realizar mediante la siguiente fórmula matemática:

$$\text{consumo de combustible (l/100km)} = \frac{\text{flujo de combustible [l/h]}}{\text{Velocidad [km/h]}} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

2.2.5 Cálculo del consumo de combustible mediante el sensor de presión absoluta del motor

Los fabricantes de vehículos no están obligados a proveer un parámetro de identificación de combustible por lo cual en muchos casos esta información es inaccesible para el usuario o el técnico automotriz mediante un scanner. Mediante el sensor de presión absoluta del colector, y la utilización de la fórmula de la Ecuación de los Gases Ideales se puede estimar la masa de aire que se introduce en la cámara de combustión.

$$PV = nRT \quad \text{Ec. (2)}$$

donde:

- P representa la presión en la cámara de combustión obtenida por el sensor MAP en kPa o psi;
- V es el volumen de las cámaras de combustión en los cilindros del motor en centímetros cúbicos (cm³);
- R es la constante general de los gases que es igual a 8,3146 (cm³*MPa)/(K* mol);

- T es la temperatura del gas obtenida por el sensor IAT (Temperatura Absoluta de Admisión) en grados kelvin (K°);
- Finalmente, n es el número de moles en la muestra.

Esta ecuación también se puede escribir como se expresa a continuación:

$$n = \frac{PV}{RT} \quad \text{Ec. (3)}$$

Entonces, la masa de aire (m_{air}) se puede calcular multiplicando n por el peso molecular (masa molar— M_{air}) del aire, como se describe a continuación:

$$m_{air} = n \times M_{air} \quad \text{Ec. (4)}$$

$$\frac{m_{air}}{M_{air}} = \frac{PV}{RT} \quad \text{Ec. (5)}$$

$$m_{air} = \frac{PV}{RT} \times M_{air} \quad \text{Ec. (6)}$$

En realidad, la ecuación (6) es válida si la Eficiencia Volumétrica (VE) del motor es igual al 100%. La eficiencia volumétrica se define como la relación entre la densidad de la mezcla aire-combustible admitida en el cilindro a presión atmosférica y la densidad del mismo volumen de aire en el colector de admisión. El valor de VE se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$VE(\%) = \frac{V_{consumo}}{V_{nominal}} \times 100 \quad \text{Ec. (6)}$$

donde $V_{consumo}$ es el volumen real de aire de admisión soportado por los cilindros, y $V_{nominal}$ es el volumen del motor del vehículo. De esta manera, logramos la ecuación para la masa de aire.

$$m_{air}[g] = \frac{P[kPa]V[cm^3]}{R \left[\frac{cm^3 MPa}{Kmol} \right] T[K]} \times M_{air} \left[\frac{g}{mol} \right] \times VE \quad \text{Ec. (7)}$$

Después de la corrección de VE , es necesario incluir en la fórmula el número de revoluciones por minuto del motor adquirido por el lector OBD-II. El motor de referencia considerado es un motor de cuatro tiempos en el que dos de las cuatro fases del ciclo permiten la entrada de

aire al interior, lo que es una configuración muy habitual. Posteriormente, dividiendo el número de revoluciones por 2 y, posteriormente, dividiéndolo por 60, el resultado en segundos se expresa en las siguientes:

$$m_{af} = \frac{PV}{1000 \times RT} \times M_{air} \times VE \times \frac{RPM}{2 \times 60} \quad \text{Ec. (8)}$$

que se reorganizan de la siguiente manera.

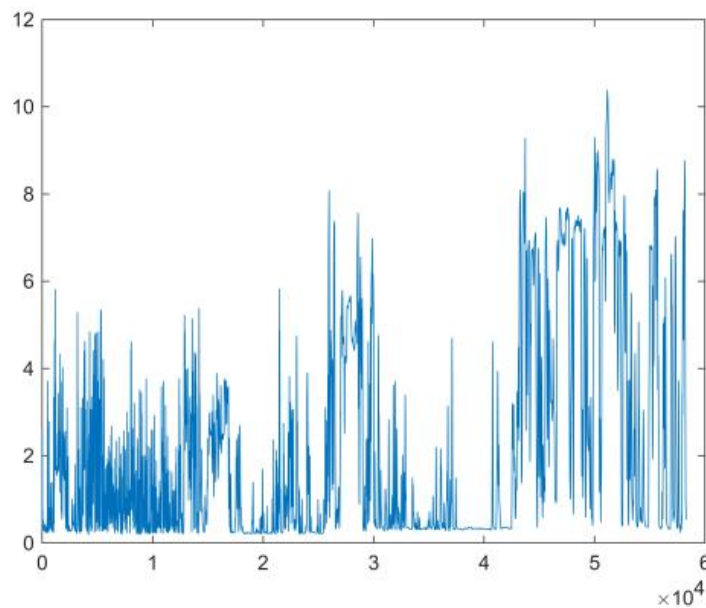
$$m_{af} \left[\frac{g}{d} \right] = \frac{P \times V \times M_{air} \times VE \times RPM}{1000 \times 120 \times R \times T} \quad \text{Ec. (9)}$$

Luego de obtener el valor del flujo másico de aire, la entrada de combustible a la cámara de combustión se puede calcular como se define en la siguiente ecuación:

$$V_{combustible} [L/s] = \frac{m_{af} \left[\frac{g}{s} \right]}{AFR \times g_{gas} \left[\frac{g}{L} \right]} \quad \text{Ec. (10)}$$

Mediante la obtención de la señal PID's y las ecuaciones matemáticas mostradas previamente se puede estimar el consumo de combustible para cada una de las pruebas realizadas.

Figura 9. Consumo de combustible



Grafica del consumo de combustible en la ruta urbana, Fuente: Autor

2.3 Diseño factorial

El apartado experimental se desarrollará mediante un diseño fraccionario completo 2^k donde k representan el número de factores y para cada factor existen dos niveles. Los factores para tomar en cuenta en cada corrida experimental son 3, el filtro de aire al ser un elemento obviado en los mantenimientos por muchos usuarios se considera como un nivel bajo cuando esta con un porcentaje alto de impurezas y de nivel alto cuando se encuentra limpio, el filtro de gasolina se encuentra en su nivel bajo cuando se encuentra contaminado con impurezas y alto cuando se encuentra limpio. Un factor adicional para considerar es el tipo de combustible representando un nivel bajo un comburente de bajo octanaje y nivel alto uno con un mayor grado de octanaje. Cada muestra será corrida de forma aleatoria para no generar ningún sesgo en la muestra, además un vehículo de categoría M1 será usado para cuantificar el consumo de combustible en cada una de las pruebas realizadas mediante su recorrido por un circuito urbano, interurbano y de autopista según la metodología del ciclo de emisiones reales RDE.

Estos niveles pueden ser cuantitativos como en el caso de dos valores de temperatura, presión o tiempo, pero dos máquinas, dos operarios, un factor "superior" y niveles "superiores". También puede ser cualitativo, como en el caso del nivel de "límite inferior", o quizás la ausencia o presencia de un elemento. Recopilar una copia completa de dicho plan requiere $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ observaciones y se denomina plan global de 2^k .

Este tipo de diseños son caracterizados por no requerir un elevado número de pruebas experimentales y poseen algunas ventajas entre las cuales se encuentra que:

- Si se requiere aumentar las pruebas por alguna razón en especial, se lo puede hacer sin complicaciones.
- Es de fácil interpretación una vez terminadas las pruebas ya se puede usar el sentido común o también algún programa en especial para mayor precisión de datos y observación de gráficas.
- No requiere una cantidad elevada de pruebas para el estudio de los factores.
- Como se mencionó anteriormente, este diseño realiza todas las combinaciones posibles entre los efectos. Para ello se genera una matriz de planificación. El cual utiliza los signos $-$ y $+$ para los dos niveles del factor, hechos de la siguiente manera:

- La primera columna reemplaza los símbolos que comienzan con -. en la segunda columna.
- Los signos son alternativamente 2 por 2, 4 por 4 para el 3er código 8, para el 4to código 16 y así sucesivamente, además, siempre comienza con el signo –

En la tabla 4 muestra el diseño factorial descrito anteriormente (Fernández, 2020).

Tabla 4. Diseño Factorial

<i>Orden Std</i>	<i>Variable X1</i>	<i>Variable X2</i>	<i>Variable X3</i>
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Orden estandarizado de aleatoriedad, Fuente: (Fernández, 2020)

CAPITULO III

DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN ESTUDIO FACTORIAL COMPLETO SEGÚN LAS VARIABLES DE INTERÉS PARA LA ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

3.1 Cálculo del consumo de combustible y sus variables.

Una vez que realizó de manera aleatoria las pruebas de la Tabla 4, se procedió a calcular el consumo de combustible mediante el sistema de cómputo numérico Matlab. Una vez realizado los cálculos correspondientes, se procedió a tomar los datos que se muestran en la Tabla 5, para este estudio se consideraron las siguientes variables:

- x1: Tipo de combustible.
- x2: Filtro de Aire.
- X3: Filtro de Gasolina.

Para el análisis inicial de la experimentación parte de un diseño completo factorial de 2^3 , utilizando dos niveles (alto y bajo) y tres variables: para la variable de los filtros de aire y gasolina, su nivel alto es cuando se encuentran libres de impurezas, es decir, cuando estos están limpios, mientras que su nivel bajo es cuando presenta impurezas en este caso un recorrido de 5 000 y 10 000 kilómetros respectivamente. Para el tipo gasolina, su nivel alto es el combustible de mayor octanaje (Super-92 octanos) y su nivel bajo es el combustible de menor octanaje (Extra-85 octanos), la respuesta del sistema es el consumo estimado a partir de la lectura del sensor MAP, realizando 8 pruebas como se observa en la siguiente Tabla.

Tabla 5. Diseño Factorial Estandarizado

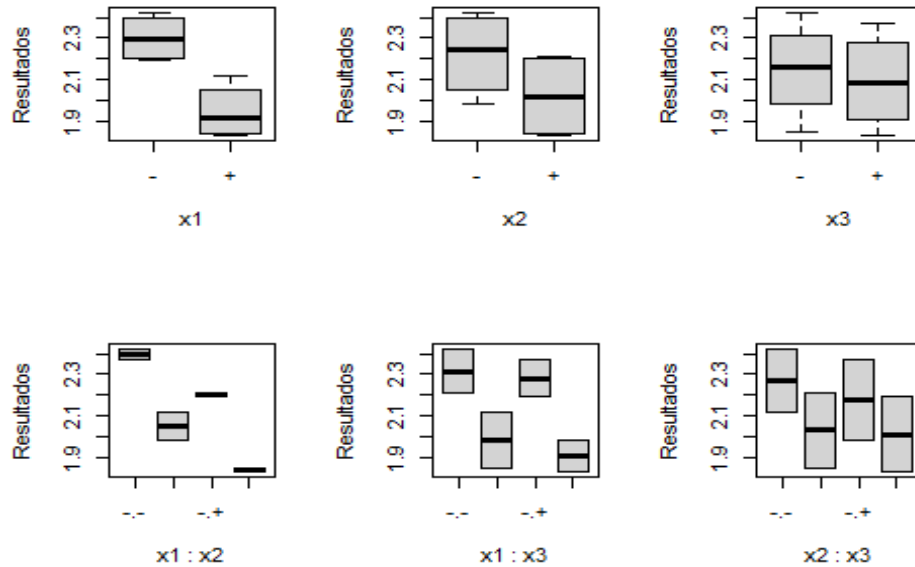
Orden experimental	Combustible	Filtro A.	Filtro G.	consumo
1	-	-	-	2.4197
8	+	-	-	2.1158
4	-	+	-	2.2109
3	+	+	-	1.8487
6	-	-	+	2.3713
2	+	-	+	1.9828
7	-	+	+	2.1911
5	+	+	+	1.8297

Orden de aleatoriedad que se realizaron las pruebas, Fuente: Autor

3.1.1 Análisis Exploratorio

En el apartado se procede a realizar un análisis exploratorio de los resultados obtenidos, en la figura 8 se muestra los resultados del análisis factorial de las pruebas realizadas.

Figura 10. Resultados



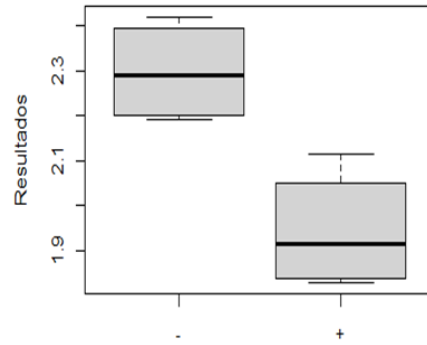
Resultados del análisis factorial. Fuente: Autor

Esta gráfica nos muestra los resultados generales de todas las variables empleadas por medio de cuartiles, y nos permite conocer los datos dentro de una variable. Si observamos en el interior de las cajas encontramos una línea en la mitad de cada caja que marca la mediana, referencia que separa claramente la mitad superior e inferior. Llamaremos x_1 a la variable de combustible, x_2 a la variable de filtro de aire y x_3 a la variable filtro de gasolina, con el signo + se representa la variable al 100% mientras que el signo menos representa la variable con un grado de saturación. A continuación, detallamos cada gráfico según la variable empleada en el estudio realizado.

3.1.2 Combustible

La gráfica resalta claramente que, al analizar la variable de combustible en el estudio, existe una variabilidad entre el combustible super y extra, tomando en cuenta que se está trabajando con combustible super de 95 octanos y extra de 82 octanos, con esto podemos comprobar que al utilizar un combustible de mayor calidad se logra una mezcla más estequiométrica y un mejor rendimiento, logrando más km con un menor consumo.

Figura 11. Combustible

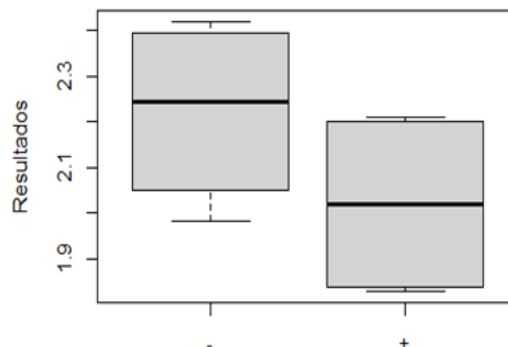


Grafica de la variación de combustibles. Fuente: Autor

3.1.3 Filtro de aire

Al encontrar un filtro de aire saturado en un vehículo, existe la posibilidad que consuma más combustible de los habitual por un ingreso ineficiente de aire al motor según la gráfica 5, el filtro de aire posee un porcentaje de variación reducido entre el filtro de aire al 100% y uno saturado que debe ser complementado posteriormente con un análisis factorial.

Figura 12. Filtro de aire

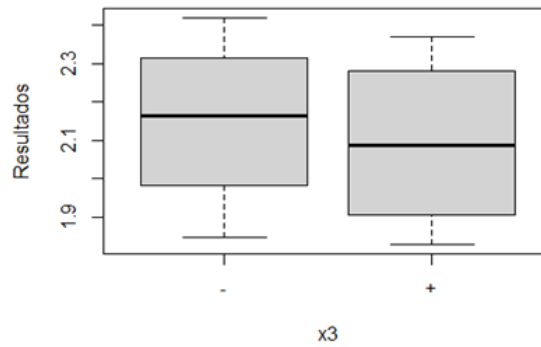


Grafica de la variación de filtro de aire al 50% y 100%. Fuente: Autor

3.1.4 Filtro de gasolina

En este caso al igual que en el anterior comprobamos que existe una variación entre las medianas del filtro de combustible al 100% y uno saturado, solo que en este caso es de menor impacto para el consumo. Un filtro de combustible cumple la función de impedir que ingresen las impurezas provenientes del combustible al motor, en este caso no posee un sensor que mida la cantidad de combustible que ingresa al filtro para determinar el grado de saturación, razón por la cual el impacto no es de mayor de consideración.

Figura 13. Filtro de gasolina.

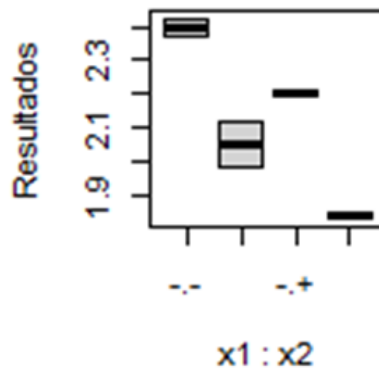


Gráfica de la variación del filtro de gasolina. Fuente: Autor

3.1.5 Combustible vs filtro de aire

Entre la relación combustible con filtro de aire, se demuestra que, si existe un gran impacto de consideración a favor del combustible, por tanto, se concluye que la calidad del combustible si es un influyente en el estudio realizado.

Figura 14. Interacción de tipo de combustible y filtro de aire.

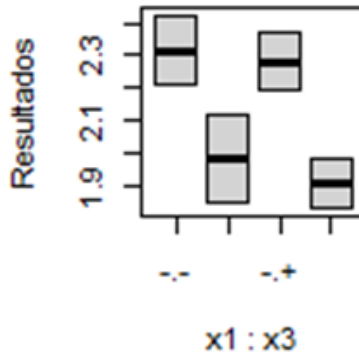


Gráfica de la interacción entre el tipo de combustible y el filtro de aire. Fuente: Autor

3.1.6 Combustible vs filtro de combustible

En la gráfico nos comprueba que la variación del combustible con el filtro de combustible si es influyente, pero en menor porcentaje, ya que sus medianas poseen una distancia de consideración no muy distante entre cada una de ellas a diferencia de la anterior variable.

Figura 15. Interacción entre el tipo de combustible y filtro de gasolina.

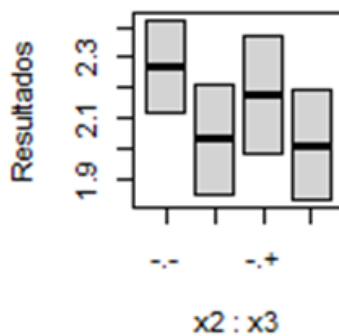


Gráfica de la interacción entre el tipo de combustible y el filtro de gasolina. Fuente: Autor

3.1.7 Filtro de aire vs filtro de combustible

En las dos comparativas anteriores se demuestra que las variaciones entre cada una de ellas existen en distintos porcentajes, pero ahora entre la relación de filtro de aire con filtro de combustible es más alejado el grado de afectación, por tanto, se concluye que la variable X3 (filtro de combustible), es el menos influyente en el consumo del vehículo.

Figura 16. Interacción entre el filtro de aire y filtro de gasolina



Gráfica de la interacción entre el tipo de combustible y el filtro de gasolina. Fuente: Autor

3.2 Modelo

Según el estudio exploratorio, se observa una diferencia significativa entre la varianza de los combustibles super con respecto a extra. Para x_2 y x_3 no se observan diferencias significativas. Podría existir una reducción de combustible cuando x_1 está en su nivel más bajo y x_2 en su nivel más alto.

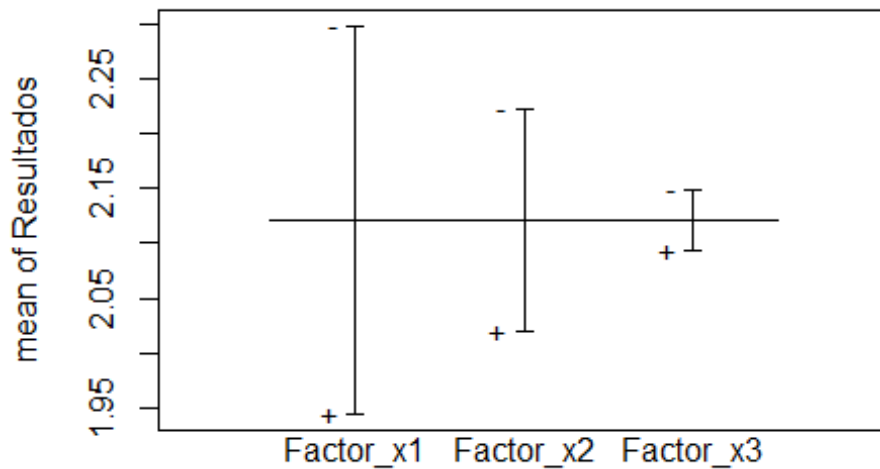
Tabla 6. ANOVA

```
## Coefficients:
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  2.12125    0.01068 198.712  0.0032 **
## x11          -0.17700    0.01068 -16.581  0.0383 *
## x21          -0.10115    0.01068  -9.475  0.0669 .
## x31          -0.02753    0.01068  -2.578  0.2355
## x11:x21      -0.00390    0.01068  -0.365  0.7770
## x11:x31     -0.01047    0.01068  -0.981  0.5060
## x21:x31      0.01783    0.01068   1.670  0.3435
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.03019 on 1 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.9973, Adjusted R-squared:  0.9814
## F-statistic: 62.54 on 6 and 1 DF, p-value: 0.09649
```

Datos de la tabla ANOVA. Fuente: autor

El modelo explica el 98.1% de la variabilidad de los datos y corrobora que los parámetros seleccionados son significativos en el modelo. El único parámetro significativo del modelo es el tipo de combustible, la variable x1 tiene un nivel de significancia inferior a 5%, mientras x2 podría ser considerada en análisis posteriores si se aumenta el número de experimentos.

Figura 17. Rendimiento

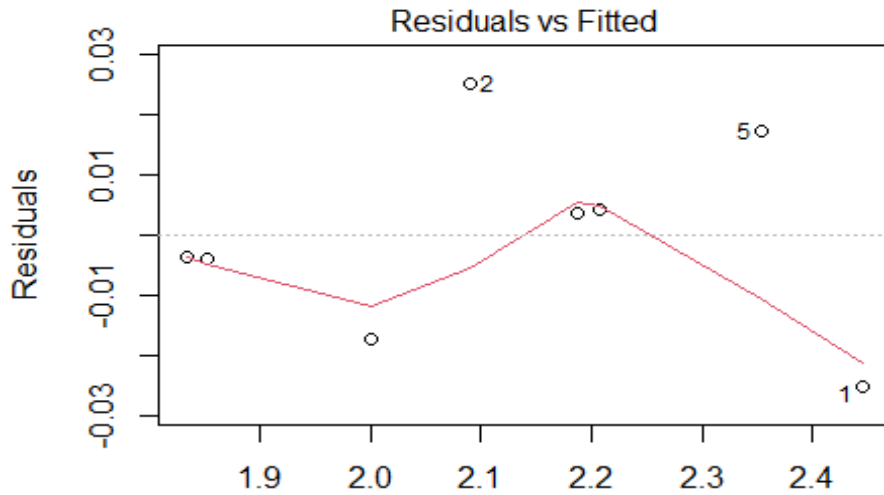


Factors

Modelo de rendimiento. Fuente: Autor

El rendimiento más alto del modelo se consigue cuando los tres factores se encuentran en su nivel más alto. Los datos de residuo no siguen ninguna curva conocida por lo cual los valores están normalmente distribuidos como se describe en la figura 17.

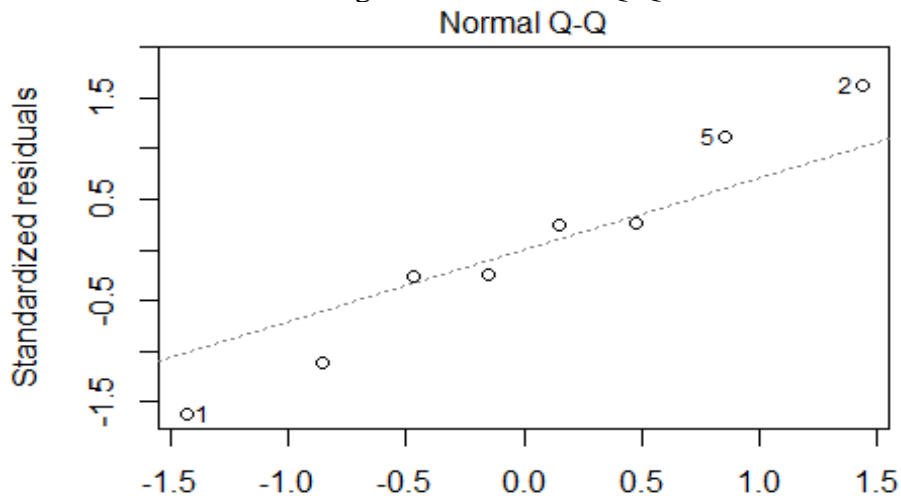
Figura 18. Residuos vs Valores ajustados



Fitted values
aov.default(Resultados ~ x1 + x2 + x3 + x2 * x3)
Resultados de Residuos contra Valores ajustados. Fuente: Autor

Con el grafico Q-Q normal se verifica que los datos están alrededor de la línea de tendencia como se aprecia en la figura 18, por lo cual, se podría considerar que los datos son normales.

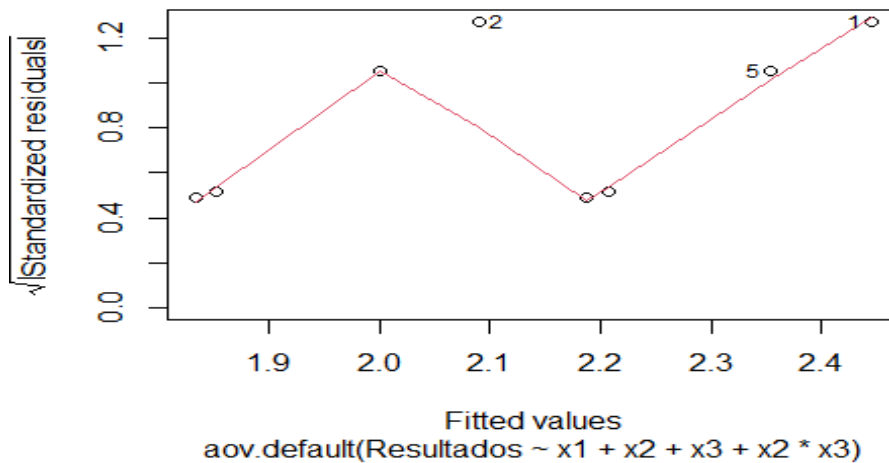
Figura 19. Normal Q-Q



Theoretical Quantiles
aov.default(Resultados ~ x1 + x2 + x3 + x2 * x3)
Resultado de Residuos estandarizados contra Cuantiles teóricos. Fuente: Autor

Con el grafico de residuos estandarizados, descritos en la figura 19, se verifica la homogeneidad de varianzas, al no poder pasar una curva que pase por todos los puntos se podría corroborar este hecho.

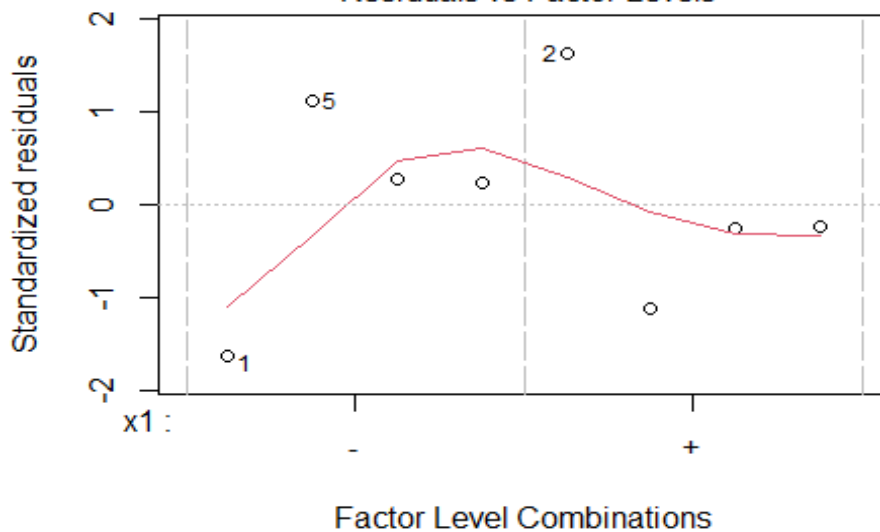
Figura 20. Escala de Localización
Scale-Location



Resultados de Residuos estandarizados contra valores de ajuste. Fuente: Autor

Mediante gráfico 20 se verifica la existencia de datos atípicos, los cuales no son significativos en el estudio.

Figura 21. Combinaciones de niveles
Constant Leverage:
Residuals vs Factor Levels



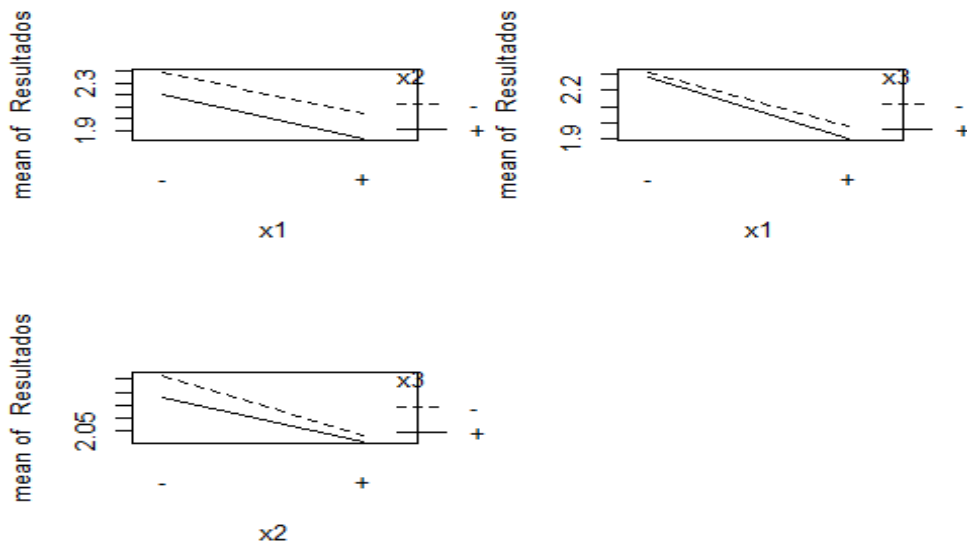
Resultados de Residuos estandarizados contra Combinaciones de factores de niveles.
Fuente: Autor.

3.3 Interacciones

Se puede verificar que las rectas de las interacciones de los factores x_1 y x_2 (ver figura 22) son paralelas por lo cual no interactúan entre ellas, mientras la interacción entre x_1 y x_3 es reducida. La interacción más fuerte del proceso se da con los factores x_2 y x_3 .

Existe una ligera interacción entre x_1 y x_3 , x_2 con respecto a x_3 , mientras x_1 y x_2 al ser líneas paralelas no muestran interacción entre ellas.

Figura 22. Interacciones



Interacciones de las variables empleadas. Fuente: Autor

CAPITULO IV

ESTABLECER LOS PARÁMETROS QUE OPTIMIZAN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE SEGÚN LAS VARIABLES PROPUESTAS EN EL ESTUDIO

Como se observa en el gráfico de Pareto el factor A correspondiente al tipo de combustible es la única variable que sobrepasa el umbral de significancia, por lo cual esta sería la única variable realmente influyente del proceso según las condiciones establecidas para la realización de la experimentación, por el contrario, x2 está muy cerca del umbral de significancia y se podría considerar ampliar el modelo a más corridas experimentales en futuras experimentaciones.

Tabla 7. Análisis de Varianza

Análisis de Varianza para Var_1					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Factor_A	0,250632	1	0,250632	274,92	0,0383
B:Factor_B	0,0818506	1	0,0818506	89,78	0,0669
C:Factor_C	0,00606101	1	0,00606101	6,65	0,2355
AB	0,00012168	1	0,00012168	0,13	0,7770
AC	0,000877805	1	0,000877805	0,96	0,5060
BC	0,00254185	1	0,00254185	2,79	0,3435
Error total	0,000911645	1	0,000911645		
Total (corr.)	0,342997	7			

Análisis de varianza para la variable del tipo de combustible. Fuente: Autor

Figura 23. Diagrama de Pareto

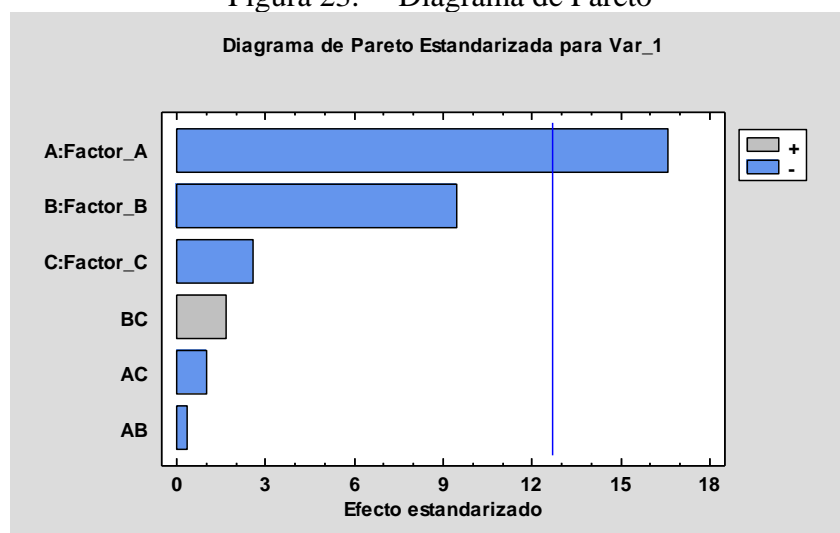
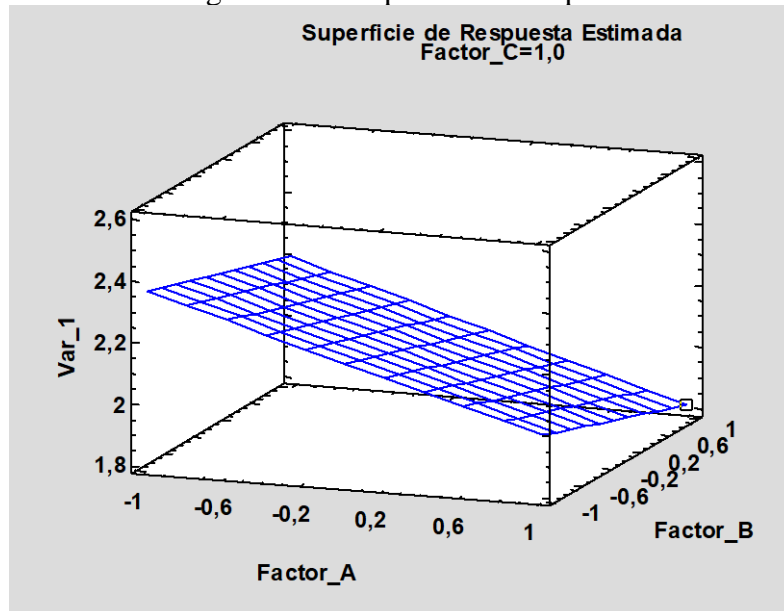


Diagrama de Pareto para la variable del tipo de combustible.

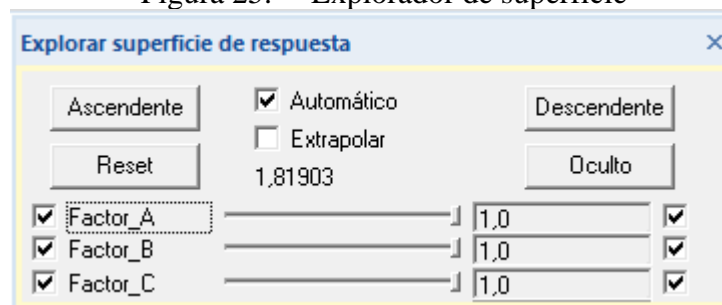
Como se observa en el gráfico de descenso de pendiente el menor consumo de combustible que se puede obtener es de 1.8103 litros a lo largo de un recorrido de 62,5955 km y 104,7381 minutos según las especificaciones del ciclo RDE cuando se usa un combustible con un mayor grado de octanaje y filtros de aire y combustible nuevos.

Figura 24. Superficie de respuesta



Superficie de respuesta estimada. Fuente: Autor

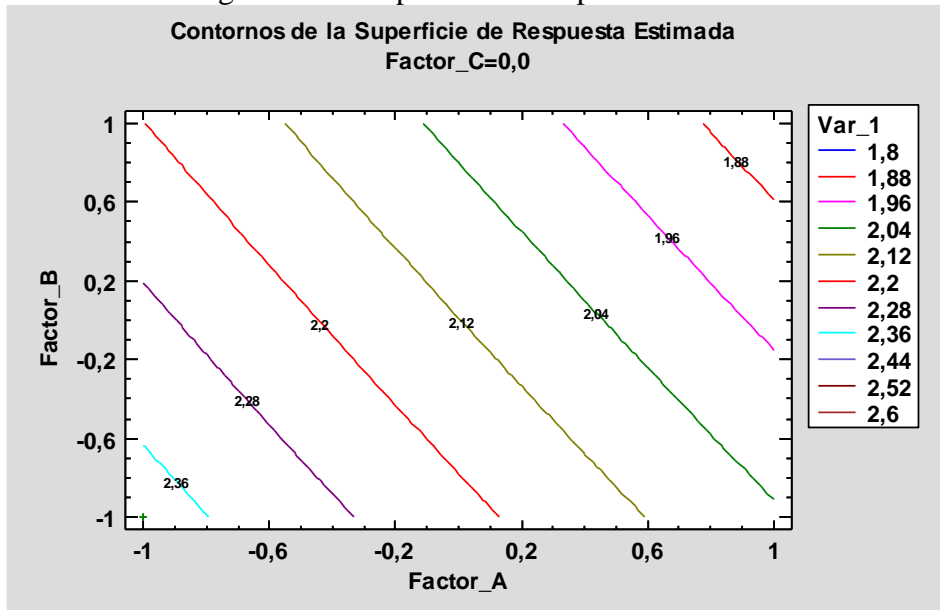
Figura 25. Explorador de superficie



Parámetros para explorar la superficie de respuesta con un menor consumo. Fuente: Autor

En la gráfica de contornos de superficie de respuesta estimada se puede observar la dirección de ascenso para obtener la pendiente mínima debido a que se busca la minimización del consumo de combustible.

Figura 26. Superficie de respuesta estimada.



Contornos de la superficie de respuesta estimada. Fuente: Autor

CONCLUSIONES

- Según los resultados obtenidos en el estudio puede existir una reducción en el consumo de combustible de hasta el 24.38 % según el tipo de combustible utilizado, mientras los filtros de aire y gasolina no fueron significativos después de realizar el análisis correspondiente.
- Según el estudio realizado el consumo de combustible es muy dependiente de condiciones externas como tráfico vehicular y lluvia, debido a que incrementa los tiempos de ruta, por lo cual muchas de las pruebas realizadas durante este análisis no fueron validas debido a los grandes tiempos de parada que se obtuvieron a lo largo de todo el recorrido.
- Es importante tomar en cuenta que se debería realizar un aumento de corridas experimentales, considerando solo los factores más significativos del modelo, pero aumentando el número de puntos centrales o estrellas del modelo usando modelos como el diseño compuesto centrado o Box Behnken.
- La ruta seleccionada para el análisis demuestra ser optima ya que cumple los requisitos en 62,5955 kilómetros y velocidades que exige la normativa RDE, con un promedio de tiempo de 104,7381 minutos de tal manera que resulta optimo el modelo seleccionado 2k.

RECOMENDACIONES

- Si se pretende realizar un proyecto similar, utilizando un ciclo de conducción RDE, es recomendable tomar en cuenta tres factores muy importantes, el primero, establecer un horario fijo, ya sea en la mañana o en la tarde, donde no exista demasiada variabilidad de tráfico, ya que, el tiempo de parada va a tener una variación significativa. El segundo factor, es tomar en cuenta las condiciones climáticas porque esto produce que el GPS tenga varias interrupciones en la toma de datos y esto puede llegar a alterar los mismos. Por último, es recomendable que la persona que esté conduciendo, realice todas las pruebas, porque cada conductor tiene un estilo de conducción diferente.
- Si se desea tener una mayor significancia en los factores de los filtros de aire y gasolina, se recomienda utilizar en el caso de filtro de aire, uno que tenga una saturación de 10 000 kilómetros de recorrido o superior y para el filtro de gasolina, uno que tenga 15 000 kilómetros de recorrido o superior.
- Al momento de realizar las pruebas en ruta es de suma importancia tomar en cuenta el clima y la hora, de tal manera que, si realizamos el recorrido en una hora pico, los tiempos de parada saldrán de los parámetros necesarios y con un clima de lluvia, la señal del GPS se verá alterada.
- En una continuación de este diseño a futuro se debería profundizar más, integrando más corridas al diseño con menos variables ya se comprueba que la variable x_3 no produce gran impacto en el consumo.
- Se recomienda vaciar el tanque de combustible y las cañerías de entrada en su totalidad al momento de realizar las pruebas con el cambio de combustible para evitar alteraciones en la toma de datos y posteriormente al momento de realizar el ANOVA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Administración de Información de Energía. (2017). *Homepage - U.S. Energy Information Administration (EIA)*. <https://www.eia.gov/>
- Alba, R., & Guangasi, D. (2018). *ANÁLISIS AERODINÁMICO DE UN PROTOTIPO DE AUTO ELÉCTRICO BIPLAZA UTA CIM17* [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO].
<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27927/1/Tesis%20I.%20M.%20459%20-%20Alba%20Tarabata%20Reinaldo%20Pa%20c3%20bal%20y%20Guangasi%20N%20c3%20ba%20c3%20blez%20Diego%20Fabi%20c3%20a1n.pdf>
- Alcántar, R., Treviño, F., & Martínez, J. (2015). Modelo estadístico que permite observar el impacto de los factores que inciden en el rendimiento de combustible. *Revista Electrónica Nova Scientia*. <https://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v7n14/2007-0705-ns-7-14-00236.pdf>
- Alvarado, O. N., & Ucho, J. Q. (2020). Desarrollo de un algoritmo para la detección de eventos durante la conducción basado en señales pid's obtenidas a través de OBD-II. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*, 1–15.
- Andrade-Castañeda, H. J., Arteaga-Céspedes, C. C., & Segura-Madrigal, M. A. (2017). Emission of greenhouse gases from the use of fossil fuels in Ibagué, Tolima (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 103–112. https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL18_NUM1_ART:561
- Araujo, V., & Pintado, W. (2015). *CARACTERIZACIÓN DEL TIPO DE GASOLINA EN FUNCIÓN DE LA ESTEQUIOMETRÍA DE LA MEZCLA Y DEL ADELANTO AL ENCENDIDO EN UN MOTOR CICLO OTTO PARA UNA ALTITUD DE 2500 MSNM MEDIANTE TERMOGRAFÍA* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7697/1/UPS-CT004563.pdf>
- Arboleda, M. (2010). *MANUAL DE CONDUCCIÓN EFICIENTE PARA EL AHORRO DE COMBUSTIBLE*. [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6618/1/07638.pdf>
- Arias, S., Agudelo, J. R., Ramos, A., & Lapuerta, M. (2023). Emissions from a Euro 6 engine using polyoxymethylene dimethyl ethers: Chemical effects vs mapping strategy. *Fuel*, 335. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2022.127017>
- ARROYO TERÁN, E. S., CEVALLOS GONZÁLEZ, A. F., IMBAQUINGONAVARRETE, R. P., MELO OBANDO, J. L., ARROYO TERÁN, E. S., CEVALLOS GONZÁLEZ, A. F., IMBAQUINGONAVARRETE, R. P., & MELO OBANDO, J. L. (2020). Estudio del efecto de la altitud sobre las emisiones de gases de escape de motores de combustión interna con encendido provocado. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), 148–162. <https://doi.org/10.14482/INDE.38.1.629.25>

- Bodisco, T., & Zare, A. (2019). *Practicalities and Driving Dynamics of a Real Driving Emissions (RDE) Euro 6 Regulation Homologation Test*. <https://doi.org/10.3390/en12122306>
- Bottiglione, F., Contursi, T., Gentile, A., & Manriota, G. (2014). The Fuel Economy of Hybrid Buses: The Role of Ancillaries in Real Urban Driving. *Energies* 2014, Vol. 7, Pages 4202-4220, 7(7), 4202–4220. <https://doi.org/10.3390/EN7074202>
- Boveroux, F., Cassiers, S., de Meyer, P., Buekenhoudt, P., Bergmans, B., Idczak, F., Jeanmart, H., Verhelst, S., & Contino, F. (2021). Impact of Mileage on Particle Number Emission Factors for EURO5 and EURO6 Diesel Passenger Cars. *Atmospheric Environment*, 244, 117975. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2020.117975>
- Cazorla, Y. (2022). *ESTIMACIÓN DE UNA RUTA REPRESENTATIVA PARA LA CIUDAD DE QUITO SEGÚN LA METODOLOGÍA DEL CICLO DE EMISIONES REALES RDE [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA]*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23371/1/UPS%20-%20TTS993.pdf>
- Charlie, C., & Romain, N. (2013). *The different driving cycles*. <https://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/>
- Choi, Y., Lee, J., Jang, J., & Park, S. (2019). Effects of fuel-injection systems on particle emission characteristics of gasoline vehicles. *Atmospheric Environment*, 217, 116941. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2019.116941>
- Claßen, J., Krysmón, S., Dorscheidt, F., Sterlepper, S., Pischinger, S., & Granelli, F. (2021). *Real Driving Emission Calibration-Review of Current Validation Methods against the Background of Future Emission Legislation*. <https://doi.org/10.3390/app11125429>
- de Carvalho, R. N., Villela, A. C. S., & Botero, S. W. (2012). Fuel Economy and CO₂ Emission - A Comparison between Test Procedures and Driving Cycles. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2012-36-0479>
- 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>
- Donato Laborde, M. G. (2014). Neodesarrollismo e industria automotriz argentina, concentración espacial de la producción y dispersión del consumo. *Cardinalis* 2014 (2), 2, 13–26. <https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/library?a=d&c=arti&d=Jpr14200>
- Fellay, J. R., Aguerre, H. J., Gimenez, J. M., Pedreira, P. H., Gulich, E. I., Orbaiz, P. J., Nigro, N. M., Castro, H. G., Mroginski, J. L., Paz, R. R., & Storti, M. A. (2021). Validación Experimental de Tecnologías de Simulación para Inyección Directa e Indirecta. *Mecánica Computacional*, 38(24), 949–949. <http://venus.santafe-conicet.gov.ar/ojs/index.php/mc/article/view/6180>
- Fernández, S. (2020). *DISEÑO FACTORIAL*. Universitat Politècnica de Catalunya.

- 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, 124927. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124927>
- Hillier, V. A. W., & Coombes, P. (2004). *Hillier's Fundamentals of Motor Vehicle Technology - Victor Albert Walter Hillier, Peter Coombes - Google Libros* (Quinta). Nelson Thornes. <https://books.google.com.pe/books?id=DoYaRsNFIEYC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Hogan, C. M. (1973). Analysis of highway noise. In *Water, Air, and Soil Pollution 1973* 2:3 (Vol. 2, Issue 3). Springer. <https://doi.org/10.1007/BF00159677>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2005, November). Manual de conducción eficiente para conductores de vehículos industriales. *EFICIENCIA Y AHORRO ENERGÉTICO*. www.idae.es
- Jarquín-López, G., Polupan, G., Jiménez-García, J. A., & Pysmenny, Y. (2011). Metodología de cálculo de NOx en generadores de vapor que queman gas natural. *Científica*, 15. <https://www.redalyc.org/pdf/614/61420351005.pdf>
- Kim, J., Kim, K., & Oh, S. (2016). An assessment of the ultra-lean combustion direct-injection LPG (liquefied petroleum gas) engine for passenger-car applications under the FTP-75 mode. *Fuel Processing Technology*, 154, 219–226. <https://doi.org/10.1016/J.FUPROC.2016.08.036>
- Leone, T. G., Anderson, J. E., Davis, R. S., Iqbal, A., Reese, R. A., Shelby, M. H., & Studzinski, W. M. (2015). The Effect of Compression Ratio, Fuel Octane Rating, and Ethanol Content on Spark-Ignition Engine Efficiency. *Environmental Science and Technology*, 49(18), 10778–10789. https://doi.org/10.1021/ACS.EST.5B01420/SUPPL_FILE/ES5B01420_SI_001.PDF
- Llanes, E., Rocha-Hoyos, J., Peralta, D., & Leguísano, J. (2018). Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador. *Revista UTE*, 149–158. <https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/201/220>
- Luque, P., Álvarez, D., & Vera, C. (2008). *Ingeniería del automóvil. Sistemas y comportamiento dinámico: sistemas y ... - ALVAREZ MANTARAS, DANIEL, LUQUE RODRÍGUEZ, PABLO, VERA, CARLOS - Google Libros* (Segunda). International Thomson Ediciones España. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=JDuzY9j6HwMC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Importancia+de+las+velocidades+automoviles&ots=IhNR-_r0-2&sig=43dz5ysDoqLsxhShORZC5qX4_Bs#v=onepage&q=Importancia%20de%20las%20velocidades%20automoviles&f=false

- Machado, J. (2019, July 18). *El aire de Quito supera los límites permitidos de contaminación*. <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/aire-quito-contaminacion-salud/#:~:text=La%20principal%20fuente%20de%20contaminaci%C3%B3n,de%20alta%20contaminaci%C3%B3n%20en%202018>.
- Marchese, R. A., & Golato, M. A. (2011). El Consumo de Combustible y Energía en el Transporte. *CET*, 1–9. www.bridgestone.co.jp/tire/ecopia_ep100/ind
- Noé, P., Ochoa, A., Hernández Vega, C., Delfina, T., & Tolentino, M. (2013). Propuesta para el diseño de rutas turísticas culturales “El caso del sur del estado de Jalisco, México.” *Turismo e Sociedade*, 6(2). <https://doi.org/10.5380/TES.V6I2.31931>
- Orellana, E. (2021, November 2). *Motores: ¿por qué ahora son todos más pequeños, pero más potentes?* Motores: ¿por Qué Ahora Son Todos Más Pequeños, Pero Más Potentes? <https://clasificados.lavoz.com.ar/nota/4549017/motores-por-que-ahora-son-todos-mas-pequenos-pero-mas-potentes>
- Pavlovic, J., Marotta, A., & Ciuffo, B. (2016). CO2 emissions and energy demands of vehicles tested under the NEDC and the new WLTP type approval test procedures. *Applied Energy*, 177, 661–670. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2016.05.110>
- Pineda, L., & Xie, Y. (2021). *PROGRAMAS DE ECO-CONDUCCIÓN (ECO-DRIVING) DE CAMIONES ESTADO ACTUAL EN AMÉRICA LATINA Y MEJORES PRÁCTICAS INTERNACIONALES*. www.theicct.org
- Quinchimbla, F., & Solís, J. (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 [ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL]*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17000/1/CD-7578.pdf>
- Rocha-Hoyos, J. C., Tipanluisa, L. E., Zambrano, V. D., & Portilla, Á. A. (2018). Study of a gasoline engine in altitude conditions with mixtures containing organic additive in the fuel. *Informacion Tecnologica*, 29(5), 325–334. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000500325>
- Rodríguez, A., & Cuvi, N. (2019). Contaminación del Aire y Justicia Ambiental en Quito, Ecuador. *Journal of Social, Technological and Environmental Science*, vol.8(3), 13–46. <http://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/3437/2682>
- CLASIFICACIÓN DE CATEGORÍAS Y TIPOS DE VEHÍCULOS, ARATEC INGENIERÍA (1992). www.aratec-ingenieria.com Tlf.:954840667-646166055
- Roldán, L. (2019, July). *CONTAMINACIÓN VEHICULAR: Qué es, Tipos, Causas y Consecuencias*. <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-vehicular-que-es-tipos-causas-y-consecuencias-2130.html>

- Sánchez, Á. (2010). LOS ESTANDARES DE CALIDAD. *CESVIMAP*, N°72, 48–51. <https://www.vagindauto.com/archivos/featureds/Nuevo%20reglamento%20EuroV%20y%20Euro%20VI.pdf>
- Schröck, A., Thierauf-Emberger, A., Schürch, S., & Weinmann, W. (2017). Phosphatidylethanol (PEth) detected in blood for 3 to 12 days after single consumption of alcohol—a drinking study with 16 volunteers. *International Journal of Legal Medicine*, 131(1), 153–160. <https://doi.org/10.1007/S00414-016-1445-X/METRICS>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2013). Los vehículos automotores como fuente de emisión. In A. Sánchez (Ed.), *Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas* (Primera edición, pp. 25–34). [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2F1AECB7E100DA9705257D4D005632DA/\\$FILE/Gu%C3%ADaMetodol%C3%B3gicaParaEstimaci%C3%B3nDeEmisiones.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2F1AECB7E100DA9705257D4D005632DA/$FILE/Gu%C3%ADaMetodol%C3%B3gicaParaEstimaci%C3%B3nDeEmisiones.pdf)
- Solano, F. (2021). *Engine model for real-driving emissions calculation Tesis presentada por*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Soriano Negrete, D. A., & Brubeck Salcedo, F. (2006). *Incremento de productividad en línea de ensamble de filtros de gasolina* [Universidad de Monterrey]. <http://repositorio.udem.edu.mx/handle/61000/2103>
- Spedding, D. J. (2002). *Contaminación atmosférica - D. J. Spedding - Google Libros* (S. González & J. Niclós, Eds.). REVERTÉ, S. A. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=5iPUOa_Q0mIC&oi=fnd&pg=PA5&dq=contaminacion&ots=9yPc60Id2s&sig=OikLjvz_r12DGGfCIk_LNN5zmfY#v=onepage&q=contaminacion&f=false
- Ticse, Y. (2018). *“PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS DE AIRE FLEETGUARD DE TECNOLOGÍA NANOFORCE, PARA REDUCIR COSTOS EN LOS MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL MOTOR CUMMINS K2000*. Universidad Privada del Norte.
- 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>
- Ulloa, J., & Velasco, A. (2018). *Evaluación del consumo de combustible en vehículos, utilizando diferentes estrategias cambios de marcha*. [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8428/1/14148.pdf>
- van Merlo, J., Maggetto, G., van de Burgwal, E., & Gense, R. (2014). Driving style and traffic measures-Influence on vehicle emissions and fuel consumption. *Proc. Instn Mech. Engrs*, 218. <https://doi.org/10.1243/095440704322829155>

- Wang, E., Liu, J., Skobiej, K., & Pielecha, J. (2022). Analysis of the Exhaust Emissions of Hybrid Vehicles for the Current and Future RDE Driving Cycle. *Energies* 2022, Vol. 15, Page 8691, 15(22), 8691. <https://doi.org/10.3390/EN15228691>
- Witze, P. O., Chase, R. E., Maricq, M. M., Podsiadlik, D. H., & Xu, N. (2004). Time-Resolved Measurements of Exhaust PM for FTP-75: Comparison of LII, ELPI, and TEOM Techniques. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2004-01-0964>

ANEXOS.

Elementos utilizados en el estudio	Descripción
	<p>Vehículo marca Ford fiesta 2010 de 1.6 cm³ utilizado para la toma de datos en el diseño factorial 2^k.</p>
	<p>Filtro de combustible saturado con 8.000 km de recorrido.</p>
	<p>Filtro de aire con saturación de 4.500 km de recorrido.</p>
	<p>Freematics utilizado para la recolección de datos.</p>

	<p>Adaptador de puerto OBD II en caso de existir algún inconveniente al lugar de acceso del vehículo.</p>
	<p>GPS encargado de emitir la señal de ubicación para el mapeo de la ruta.</p>
	<p>Tarjeta de memoria para almacenamiento de datos.</p>