FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN EN VEHÍCULO SEDAN DE INYECCIÓN DIRECTA PARA GASOLINA DE 87 OCTANOS Y 95 OCTANOS EN LA CIUDAD DE QUITO - ECUADOR

Realizado por:

Wilson Fernando Benítez Salinas

Director del proyecto:

Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, PhD.

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

QUITO, marzo de 2024

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Wilson Fernando Benítez Salinas, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 2100235825, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.

Firmado electrónicamente por:
WILSON FERNANDO BENITEZ SALINAS

WILSON FERNANDO BENITEZ SALINAS
C.I.: 2100235825

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, PhD.

LOS PROFESORES INFORMANTES:

Ing. María Gabriela Mancheno Falconi

Ing. Jesús López Villada, PhD

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.

_____ _____

Ing. María Gabriela Mancheno Falconi Ing. Jesús López Villada, PhD

Quito, marzo de 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Firmado electrónicamente por:
WILSON FERNANDO
BENITEZ SALINAS

Wilson Fernando Benítez Salinas
C.I.: 2100235825

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación es dedicado a Dios, que me ha permitido culminar esta maravillosa carrera de Ingeniería Automotriz.

A mi madre Cumandá Salinas Jiménez, quien me ha guiado con sus sabias palabras y consejos, que para mí siempre han sido importantes, y que en este momento está orgullosa de ver que cumplí mi sueño tan anhelado.

A mi hijo Jeremy Fernando Benítez Orbea, quien es un pilar importante en mi vida, su alegría ilumina los días más tristes.

A mi hermana Jenny Marly Rodríguez Salinas (+), quien desde el cielo está orgullosa de ver que cumplí mi sueño.

Wilson Fernando Benítez Salinas

Agradecimiento

Al concluir con el presente trabajo de titulación, expreso mis más grandes agradecimientos a:

Mi novia por haberme brindado su apoyo y tiempo en todo momento.

A mis hermanos quienes siempre estuvieron pendiente de mis avances en los estudios con sus palabras de aliento.

A mi padre Andrés Benítez Ochoa por estar en los momentos más difíciles, siempre con un buen consejo.

A todos los docentes de FICA que a lo largo de la carrera me brindaron sus enseñanzas y anécdotas e hicieron que mi estadía en la UISEK fuera la mejor.

Y a todas las personas que han formado parte de esta etapa de mi vida y siempre han estado conmigo, muchas gracias.

Wilson Fernando Benítez Salinas

Resumen

Las emisiones contaminantes producidas por los vehículos se han catalogado como la segunda causa de contaminación del aire a nivel mundial, los diferentes fabricantes han tomado estrategias para mejorar la eficiencia. En el presente caso de estudio, se evalúa los factores de emisión al usar combustible Extra-Plus de 87 octanos y Súper Premium de 95 octanos en el vehículo Mini SUV Changan CS15 AC, 1.5L 2019 de inyección directa mediante ciclos de conducción para su comparativa entre los dos combustibles. Para evaluar los diferentes tipos de combustible en el funcionamiento se realizó pruebas en el laboratorio con un método cuantitativo en porcentajes en los valores de las emisiones según el proceso de las pruebas de conducción, estas pruebas son normadas por la unión europea New European Driving Cycle (NEDC). Es una prueba diseñada para evaluar objetivamente el impacto medioambiental de los automóviles. En este caso se la realiza en un solo ciclo de conducción la primera parte representa conducción urbana. La segunda parte representa una conducción de carretera. Todas las pruebas tienen los ajustes indicados en la directiva de la norma Europea de una distancia de 11 007 m. con una duración aproximada de 20 min. Se miden íntegramente las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas (PM). Luego de analizar los diferentes tipos de combustible se obtuvo que los dos combustibles disponen de diferentes componentes en su composición, como su eficiencia antidetonante y llegando a las comparativas, la diferencia en emisiones en CO para gasolina de 87 octanos es 0,62g/km y para gasolina de 95 octanos es 1,788g/km, mientras que los HC para gasolina de 87 octanos es de 0,077g/km y para gasolina de 95 octanos es 0,121g/km, donde sí existe una mejora es en los gases NOx donde se reduce hasta un 62 % en sus contaminantes, siendo más beneficioso el combustible súper 92 ya que estos gases afectan de manera directa a los seres humanos en parte pulmonar.

Palabras clave**:** Óxidos de Nitrógeno- Changan CS15- Monóxido de carbono

Nitrogen Oxides- Changan CS15- Carbon Monoxide

Abstract

The polluting emissions produced by vehicles have been classified as the second cause of air pollution worldwide, causing the ozone layer to deteriorate and increase the greenhouse effect on the planet, different manufacturers have taken strategies to improve combustion within of their engines and contribute to the environment. In the present case study, the emission factors are evaluated when using 87 octane Extra-Plus and 95 octane Super Premium fuel in the Mini SUV Changan CS15 AC, 1.5L 2019 vehicle with direct injection through driving cycles for comparison. between the two fuels. To evaluate the different types of fuel in operation, dynamic tests were carried out in the laboratory with a quantitative method in percentages of the emission values according to the test process, during a driving cycle that simulates the operation of the vehicle on the road. After analyzing the different types of fuel, it was obtained that the two fuels have different components in their composition, such as additives to increase their anti-knock efficiency and reaching the comparisons, the difference in emissions in CO, HC is not a great difference, where if there is an improvement in NOx gases where its pollutants are reduced by up to 62%, with super 92 fuel being more beneficial in NOx since these gases directly affect human beings with pulmonary disorders.

Índice de contenido

Dedicatoria 6

Agradecimiento 7

Resumen 8

Abstract 10

Índice de contenido 11

Índice de figuras 14

Tablas 14

Introducción 16

Justificación 19

Antecedentes 20

Problemática 21

Pregunta de investigación 21

Objetivo General 21

Objetivos Específicos 21

Estado del arte 22

Normativas y Características de los combustibles Extra y Súper 23

Índice de octano 26

Presión de vapor Reid 26

Estabilidad a la oxidación (Periodo de inducción). 26

Relación Vapor-Líquido. 26

Uso de oxigenados en gasolina. 27

Estabilidad y Gomas 28

Corrosión 29

Contenido de azufre 29

Aditivos 29

Método 30

Área de estudio 33

Vehículo de prueba 34

Equipos empleados en las pruebas 36

Dinamómetro de chasis 39

Cajas Interfaces 41

Sistema de Extracción 42

Análisis de gases de combustión 43

Pruebas Dinámicas Ciclo Inspección y Mantenimiento 43

Protocolo de Prueba con el Ciclo con equipo de Procesamiento. 44

Encender HORIBA MEXA-ONE 47

Pruebas dinámicas de vehículo según normas NTE INEN 2204 49

Año modelo 49

Ciclo 49

Ciclos de prueba 49

Ciclo ECE + EUDC 49

Ciclo FTP-75 50

Diseño experimental 50

Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática) 50

Procedimiento de medición 52

Pruebas de emisiones de vehículos Según pruebas dinámicas 54

Determinación de los Factores de Emisión 54

Resultados y Discusión 57

Análisis de los resultados para los Factores de emisión 57

Factor de emisión del CO (FCO) 57

Factor de emisión del NOx (FNOx) 61

Conclusiones 67

Bibliografía 68

Anexos 71

Datos extraídos de pruebas dinámicas según parámetros de medición 71

Datos de ensayo de Gasolina Súper de 92 octanos 72

Datos de ensayo Gasolina Súper de 95 octanos 73

Comparativa de combustible Súper 92 – 95 Octanos 74

Datos de ensayo Gasolina Extra de 85 octanos 75

Datos de ensayo Gasolina Extra de 87 octanos 76

Comparativa de combustible Extra 77

Comparativa de Combustible Súper 95- 92 y Extra-85 – 87 78

Índice de figuras

FIGURA 1 *NORMATIVAS INEN REQUISITOS NORMADOS DE COMBUSTIBLES EN EL PAÍS.*.....23
FIGURA 2 *INSTALACIONES DE LIAVMS* 33
FIGURA 3 *VEHÍCULO DE PRUEBA CHANGAN* 34
FIGURA 4 *ANALIZADOR DE GASES COMBINADO PARA GASOLINA MEXA-ONE 7200 HORIBA*.....37
FIGURA 5 *DINAMÓMETRO DE CHASIS* 39
FIGURA 6 *CAJA DE INTERFACES* 42
FIGURA 7 *SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES DE ESCAPE*.....42
FIGURA 8 *SISTEMA DE ANÁLISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN*.....43
FIGURA 9 *SISTEMA DE ANÁLISIS PRUEBA DINÁMICA* 45
FIGURA 10 *ANCLAJE DINAMÓMETRO* 46
FIGURA 11 *SUJECIÓN DEL AUTOMOTOR AL DINAMÓMETRO* 46
FIGURA 12 *ANALIZADOR DE GASES INSTALACIÓN DE MANGUERAS*.....47
FIGURA 13 *COMPUTADORA MEXA HORIBA*.....47
FIGURA 14 *SOFTWARE DE ANÁLISIS DE GASES* 48
FIGURA 15 *RUTA PREESTABLECIDA POR EL EQUIPO* 48
FIGURA 16 *RANGOS FCO Y TIPO DE COMBUSTIBLES*.....59
FIGURA 17 *DIAGRAMA CAJA Y BIGOTES PARA EL FHC*.....60
FIGURA 18 63
FIGURA 19 *COMPARATIVA DEL FCO PARA LAS GASOLINAS EXPERIMENTADAS CON LA NORMA NTE INEN 2204* 65
FIGURA 20 *COMPARATIVA DEL FHC PARA LAS GASOLINAS EXPERIMENTADAS CON LA NORMA NTE INEN 2204* 65
FIGURA 21 66

Tablas

TABLA 1 *REQUISITOS DE LA GASOLINA DE 87 OCTANOS (RON)*.....24

TABLA 2 *REQUISITOS DE LA GASOLINA 92 OCTANOS (RON)*.....25
TABLA 3 *COMBUSTIBLE POR VAPORIZARSE*.....27
TABLA 4 VARIABLES DEPENDIENTE E INDEPENDIENTES 31
TABLA 5 TRATAMIENTOS PARA EL ANÁLISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS (VARIABLE RESPUESTA: FACTORES DE EMISIÓN) 32
TABLA 6 CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO MINI SUV CHANGAN CS15 1.5L ELITE 4X2 2019 34
TABLA 7 *CARACTERÍSTICAS DEL ANALIZADOR DE GASES* 38
TABLA 8 *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DINAMÓMETRO DE CHASIS* 40
TABLA 9 *VALORES EMISIONES PRUEBA ESTÁTICA*.....51
TABLA 10 *LÍMITES MÁXIMOS DE EMISIONES PARA FUENTES MÓVILES CON MOTOR DE GASOLINA (PRUEBA DINÁMICA) (DIRECTIVA DE LA UE 98/69/CE)* 51
TABLA 11 *TABLA ANOVA PARA FCO POR TIPO DE COMBUSTIBLE*.....58
TABLA 12 *PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGOS PARA FCO POR TIPO DE COMBUSTIBLE*.....58
TABLA 13 *TABLA ANOVA PARA FHC POR TIPO DE COMBUSTIBLE*.....60
TABLA 14 *PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGOS PARA FHC POR TIPO DE COMBUSTIBLE*.....60
TABLA 15 *TABLA ANOVA PARA FNOX POR TIPO DE COMBUSTIBLE*.....62
TABLA 16 *PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGOS PARA FNOX POR TIPO DE COMBUSTIBLE*.....63
TABLA 17 *DATOS GENERALES VEHÍCULO UTILITARIO CHANGAN CS*.....71
TABLA 18 *CONDICIONES DE VEHÍCULO PARA PRUEBAS DINÁMICAS*.....72
TABLA 19 *VALORES Y FECHAS DE PRUEBAS DINÁMICAS CON COMBUSTIBLE 92 OCTANOS*.....72
TABLA 20 *RESULTADOS PRUEBA DINÁMICA SECUENCIA ENSAYO COMBUSTIBLE SÚPER 92 OCTANOS.*.....73
TABLA 21 *VALORES Y FECHAS DE PRUEBAS DINÁMICAS CON COMBUSTIBLE 95 OCTANOS*.....73
TABLA 22 *RESULTADOS PRUEBA DINÁMICA SECUENCIA ENSAYO COMBUSTIBLE SÚPER 95 OCTANOS.*.....74
TABLA 23 *COMPARATIVA COMBUSTIBLES 92 Y 95 OCTANOS*.....74
TABLA 24 *VALORES Y FECHAS DE PRUEBAS DINÁMICAS CON COMBUSTIBLE 85 OCTANOS*.....75
TABLA 25 *RESULTADOS PRUEBA DINÁMICA SECUENCIA ENSAYO COMBUSTIBLE EXTRA-85 OCTANOS* 76
TABLA 26 *VALORES Y FECHAS DE PRUEBAS DINÁMICAS CON COMBUSTIBLE 87 OCTANOS*.....76
TABLA 27 *RESULTADOS PRUEBA DINÁMICA SECUENCIA ENSAYO COMBUSTIBLE EXTRA-87 OCTANOS* 77
TABLA 28 *COMPARATIVA ENTRE COMBUSTIBLES EXTRA DE OCTANAJE 85 Y 87* 77
TABLA 29 *COMPARATIVA DE LOS 4 DIFERENTES OCTANAJES DE COMBUSTIBLE*.....78
TABLA 30 *COMPARATIVA DE LOS 85 A 92 OCTANOS*.....79
TABLA 31 *COMPARATIVA DE LOS 87 A 95 OCTANOS*.....79

Introducción

Los vehículos con tecnología de inyección directa tienen emisiones de escape más bajas que los vehículos con carburadores o inyección indirecta de combustible. Sin embargo, también se ha demostrado que los vehículos de inyección directa pueden tener mayores emisiones de partículas finas debido a la manera en que se pulveriza el combustible en la cámara de combustión.

En la actualidad los vehículos que circulan en el Distrito Metropolitano de Quito provocan una gran cantidad de emisiones contaminantes como el monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SOx), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx), estos compuestos combinados con material particulado generan un gran problema de contaminación ambiental al igual que complicaciones de salud pública (Caiza Jácome, 2011).

Hoy en día la mayoría de nuevos modelos de vehículos están trabajando con motores a gasolina que utilizan sistemas de inyección directa de combustible que están reemplazando los sistemas de inyección indirecta y los antiguos carburadores. Los sistemas de inyección directa son nuevas tecnologías que dosifican mejor el combustible y regula las diferentes fases de funcionamiento, considerando el tipo de manejo del conductor. En la investigación se utiliza este tipo de alimentación directa de combustible y se diferenciara valores de emisiones con el uso de octanajes de 87 y Súper Premium de 95.

El octanaje es la capacidad antidetonante de la gasolina cuando se comprime dentro del cilindro del motor, mientras la relación de compresión de un motor es mayor también es mayor su eficiencia y potencia, pero esto también incrementa el peligro de que se produzca el cascabeleo y se reduzca la potencia y eficiencia del motor. El mayor octanaje de las gasolinas se refleja en un aumento de la eficiencia, sobre todo en motores de inyección directa.

El combustible que se va a usar siempre queda a consideración del consumidor, sin

embargo, no resta importancia comprobar, si en realidad existen efectos negativos en cuanto a rendimiento, economía y en los resultados en las emisiones de los diferentes tipos de combustibles disponibles en Ecuador.

En la actualidad la calidad de combustibles que se producen en las Refinerías de Esmeraldas, La Libertad y Shushufindi, y los terminales Beaterio y Pascuales operados por EP Petroecuador, cumplen con la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN, para ello los productos son analizados previamente en sus laboratorios acreditados por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano – SAE bajo la norma 17025 y calificados por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (Petroecuador 2023, s.f.).

Los combustibles que se distribuyen desde EP Petroecuador cuentan siempre con los certificados de calidad de acuerdo con lo que nos pide cada normativa. A futuro, esperamos contar con inversiones desde el sector privado, que nos permitan mejorar su calidad, bajar los contenidos de azufre en cada combustible y tener especificaciones internacionales Euro V", (Petroecuador 2023, s.f.).

Según representantes de la Cámara Nacional de Distribuidores de Derivados de Petróleo, entre el 2012 y el 2013 el consumo de la gasolina extra subió un 6,1% mientras que el consumo de la gasolina Súper bajó 5,1% esto se explica por el aumento del octanaje en la gasolina Extra. También indica que se pueden usar aditivos para mejorar el octanaje, sin embargo, advierte que este uso no debe ser habitual sino más bien esporádico, porque los aditivos están compuestos de químicos que pueden generar reacciones negativas en los componentes del motor.

El consultor automotriz Édison Yánez opina que hay aditivos que limpian el motor y los potencializan adecuadamente, pero advierte que estos productos han tenido problemas en ingresar al país a causa de la restricción de las importaciones, añade que una variación negativa del octanaje de la gasolina también producirá más residuos en el motor por lo que los mantenimientos pueden

volverse más seguidos. La misma tesis mantiene el jefe de servicio técnico de Nissan. Como mecánico dice que no tiene evidencia alguna de que el uso de un combustible u otro pueda provocar mayor deterioro de los vehículos. (Ing. Fredy Leonardo Morquecho Andrade, 2018)

Los factores de emisión son valores que indican la cantidad de contaminantes emitidos por un vehículo durante su operación. Estos factores pueden variar según el modelo del vehículo, el tipo de combustible utilizado y otros factores. En este trabajo, se ha desarrollado una investigación para determinar los factores de emisión para dos vehículos de gasolina en las condiciones de altura de Quito: el Mini Suv Changan CS15AC, 1.5L 2019 de inyección directa.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), los factores de emisión de los vehículos varían dependiendo de varios factores, incluyendo el tipo de vehículo, la Tecnología del motor, la calidad del combustible, las variables ambientales y meteorológicas y los hábitos de conducción. En USA los factores de emisión se miden en gramos por milla recorrida (g/mi) (EPA United State Environmental Protection Agency, 2023). En Europa y otros países se miden en gramos por kilómetro (g/km).

La evaluación de los factores de emisión en vehículos es esencial para comprender el impacto ambiental de los vehículos en la calidad del aire. En este caso, se evaluarán los factores de emisión para el vehículo: Mini Suv Changan CS15AC, 1.5L 2019 de inyección directa, utilizando gasolina de 87 octanos y 95 octanos.

El estudio realizado por la revista International Journal of Engineering and Technology Research en el año 2019, será el punto de partida para el presente trabajo de titulación ya que a través de los resultados obtenidos de los factores de emisiones para gasolina de 87 y 95 octanos nos permitirá comparar con los factores de emisión resultantes en la investigación de los dos tipos

de gasolina que se comercializan en la ciudad de Quito.

Justificación

Los motores de combustión interna generan agentes contaminantes durante el proceso de combustión, donde se transforma la energía química del combustible en energía térmica y posteriormente, parte de esta, en energía mecánica que produce el movimiento de rotación del cigüeñal. Las emisiones contaminantes dentro del planeta se han elevado notablemente con el pasar de los años, el incremento del parque automotor ha elevado las emisiones contaminantes producidas por motores de explosión interna, debido a este problema las marcas comerciales de vehículos se han visto en la necesidad de implementar sistemas que actúen sobre los gases contaminantes producidos durante la combustión.

Las emisiones dentro de los vehículos pueden variar según una variedad de factores, tales como la tecnología de inyección de combustible, la eficiencia del motor, el mantenimiento adecuado, condiciones ambientales y meteorológicas, el tipo de combustible utilizado y el estilo de conducción.

En el caso de los vehículos de inyección directa, tienden a tener emisiones más bajas que los vehículos con carburadores o inyección indirecta de combustible. Sin embargo, los vehículos de inyección directa también pueden tener mayores emisiones de partículas finas debido a la manera en que se pulveriza el combustible en la cámara de combustión.

En cuanto al tipo de combustible utilizado, los vehículos que utilizan gasolina de mayor octanaje como la gasolina de 95 octanos pueden tener emisiones ligeramente más bajas debido a una combustión más completa y una menor formación de depósitos en el motor en comparación a vehículos que utilizan una gasolina de 87 octanos.

Para evaluar con precisión los factores de emisión de un vehículo específico, se deben tener en cuenta los gases contaminantes producidos dentro del motor de combustión interna, para ello es necesario recopilar la información de los factores de contaminación a través de pruebas de emisiones.

Antecedentes

Para la evaluación de los factores de emisiones contaminantes en los vehículos es necesario conocer los valores de emisiones normados por la entidad reguladora del país, los gases de escape se realiza pruebas con un analizador de gases.

Para obtener los factores de emisión precisos para el Mini SUV Changan CS15AC, 1.5L 2019 de inyección directa, se debe realizar una medición específica de las emisiones en condiciones controladas de laboratorio realizando una prueba dinámica.

Los métodos de análisis permitirán demostrar el recorrido total, la velocidad promedio, el tiempo utilizado para realizar el recorrido, con lo que se obtiene datos del consumo de combustible, mediante tablas comparativas de los factores de emisión de los dos vehículos dispuestos al análisis.

Mediante un método de investigación cuantitativa se recopilará la información para contrastar las diferencias que producen el uso de los combustibles Extra-85 octano vs Extra-Plus de 87 octanos y Súper 92 octano vs Súper Plus de 95 octanos; tanto en rendimiento, consumo, emisiones de gases para demostrar que tipo de combustible es el más adecuado a utilizar, para lo cual se desea realizar cuatro pruebas de ruta y un análisis de los gases de escape.

Una vez realizado el análisis y evaluación de los factores de emisión se determinará que tipo de combustible ofrece un mejor rendimiento para el recorrido asignado y evaluado, resultando un ahorro para el consumidor a largo plazo y un mejor cuidado del medio ambiente.

Problemática

La industria automotriz siempre está buscando la solución a la contaminación del medio ambiente por esa razón siempre las nuevas tecnologías y el desarrollo automotriz se enfocan a la disminución de agentes contaminantes en las emisiones de combustible, de esta manera se trata de buscar sistemas de emisiones bajas como son los sistemas de inyección directa de gasolina en los cilindros (GDI), en esta problemática se busca verificar su eficiencia de consumo e emisiones con dos diferentes combustibles uno de mayor octanaje de 95 y otro menor con 87 octanos.

Pregunta de investigación

¿Qué diferencia existe al utilizar combustibles de alto y bajo octanaje en sistemas de inyección directa de gasolina en modelos de inyección directa como el Mini SUV Changan CS15 AC, 15L 2019 en la cuidad de Quito?

Objetivo General

- Evaluar los factores de emisión al usar combustible Extra-Plus de 87 octanos y Súper Premium de 95 octanos en el vehículo Mini SUV Changan CS15 AC, 1.5L 2019 de inyección directa en la ciudad de Quito mediante ciclos de conducción para su comparativa con la gasolina Extra de 85 octanos y Súper de 92 octanos.

Objetivos Específicos

- Obtener las características del combustible Extra de 85 octanos y Súper de 92 octanos mediante metodología descriptiva para la determinación de los parámetros de evaluación.
- Determinar los factores de emisión en ciclo de conducción para los combustibles experimentados a partir de los porcentajes de contaminantes, recorrido, y combustible consumido, para su posterior comparativa.
- Comparar los factores de emisión para los diferentes combustibles experimentados en el

vehículo Mini Suv Changan CS15 AC, 1,5L 2019 en la ciudad de Quito mediante la aplicación de software estadístico para la determinación de diferencias significativas.

Estado del arte

En la actualidad, la industria automotriz ha tenido un gran avance en el desarrollo de nuevos motores, mejorando los sistemas de combustión y escape enfocados en cuidar al planeta de las combustiones incompletas que producen emisiones contaminantes.

Según el estudio realizado por Coviello (2019), aduce que los vehículos que utilizan gasolina de mayor octanaje como la gasolina de 95 octanos tienen emisiones ligeramente más bajas de NOx y CO debido a una combustión más completa. Sin embargo, el estudio encontró que el uso de gasolina de mayor octanaje no tenía un impacto significativo en las emisiones de partículas finas.

En el caso de estudio de Beltrán (2023) afirma que la tecnología de inyección directa puede reducir las emisiones de CO y NOx en comparación con los motores de inyección indirecta o carburadores, pero también puede aumentar las emisiones de partículas finas. Además, el uso de gasolina de mayor octanaje puede reducir las emisiones de CO y NOx, pero no parece tener un impacto significativo en las emisiones de partículas finas.

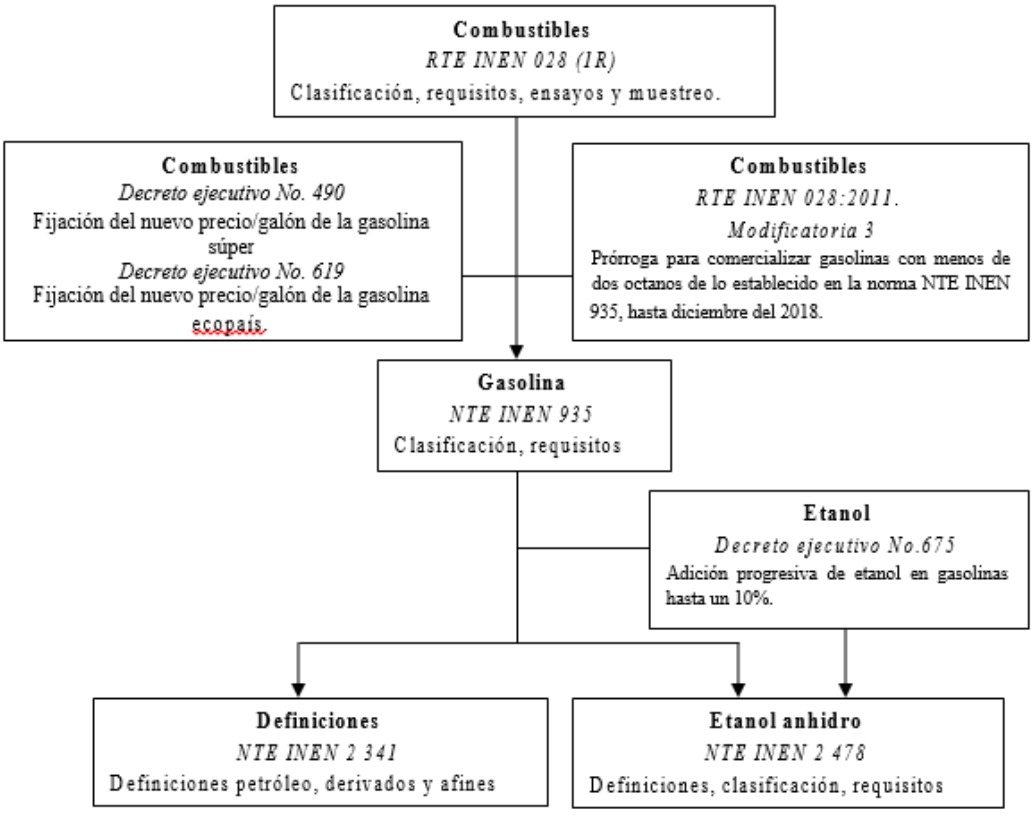
La tecnología de inyección directa puede reducir las emisiones de CO y NOx en comparación con los motores de inyección indirecta o carburadores, pero también puede aumentar las emisiones de partículas finas. Además, el uso de gasolina de mayor octanaje puede reducir las emisiones de CO y NOx, pero no parece tener un impacto significativo en las emisiones de partículas finas (Beltrán, 2023)

Normativas y Características de los combustibles Extra y Súper

Tal como lo indica la Figura 1, los combustibles que se comercializan en el Ecuador para uso vehicular están regidos por el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 028 (1R): COMBUSTIBLES; que define su clasificación, requisitos y ensayos de muestreo. En tanto, el decreto ejecutivo al Decreto Ejecutivo 1183, de 4 de noviembre de 2020, la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARC) realiza el cálculo de precios referenciales de la gasolina Extra y Extra con etanol, para abastecedora y comercializadoras autorizadas del país. (Torres, 2019, págs. 24-25)

Figura 1

Normativas INEN requisitos normados de Combustibles en el país.



Continuando con la Figura 1, para la gasolina súper, la modificatoria 3 (2017-05-02) al reglamento RTE INEN 028:2011, estipula que por las condiciones que atraviesa el país, los precios globales del petróleo y los costos de operación, se realicen las siguientes:

Se establece una nueva prórroga para que EP PETROECUADOR comercialice la gasolina de 87 octanos y, gasolina de 95 octanos con hasta menos dos unidades de octano de las establecidas en la Norma NTE INEN 935 vigente.

Una vez transcurrido el plazo de 18 meses, es decir, a partir del 01 de diciembre de 2018, los combustibles Gasolina y Diésel, deberán cumplir con los requisitos establecidos en las Normas NTE INEN 935 y NTE INEN 1489 vigentes. Por ello, las pruebas para el presente estudio emplearon gasolina extra de 85 octanos y gasolina súper de 95 octanos.

En consecuencia, la norma NTE INEN 935: Productos Derivados de Petróleo. Gasolina. Requisitos, está vigente para la normalización de las gasolinas en cuanto a su clasificación y requisitos; debiéndose tener presente que el decreto ejecutivo No: 675 establece que la gasolina "Eco-país" estará compuesta por un porcentaje de hasta el 10% de bioetanol anhidro, grado carburante, y la diferencia por naftas necesarias para alcanzar el número de octanos que establece la correspondiente norma INEN aplicable. Así, la que sería la gasolina eco-país o de 87 octanos (RON), según la Tabla 1, presenta un menor contenido de gomas, menores porcentajes volumétricos o másicos de aromáticos, benceno y olefinas; todo ello si se compara con la gasolina de 95 octanos (RON) o súper de la Tabla 2.

Tabla 1

Requisitos de la gasolina de 87 octanos (RON)

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo
Número de octano (RON)[a]	-	87	-
Presión de vapor	kPa	-	60
Corrosión a la lámina de cobre (3h a - 50º C)	-	-	1

Contenido de gomas	mg/100 ml	-		3
Contenido de azufre	%[c]	-		0,065
Contenido de aromáticos	%[b]	-		30
Contenido de benceno	%[b]	-		1
Contenido de olefinas	%[b]	-		18
Estabilidad a la oxidación	Min	240	-	
Contenido de oxígeno	%[c]	-		2,7
Contenido de plomo, manganeso y hierro	mg/l	-	No detectable	

Nota: En el caso que las gasolinas contengan etanol anhidro la presión de vapor, este puede llegar hasta 62 kPa. [a] Para determinar el número de octano Research en ciudades de altura, se debe considerar la ecuación descrita en NTE INEN 2102.

[b] % corresponde a fracción de volumen expresada en porcentaje. [c] % corresponde a fracción de masa expresada en porcentaje. Fuente: NTE INEN 935: 2016

Tabla 2

Requisitos de la gasolina 92 octanos (RON)

Requisitos	**Unidad**	**Mínimo**	**Máximo**
Número de octano (RON) [a]		-	92
-Presión de vapor		kPa	-
60 Corrosión a la lámina de cobre (3h 1 a 50º C)		-	-
Contenido de gomas	mg/100 ml	-	4
Contenido de azufre	%[c]	-	0,065
Contenido de aromáticos	%[b]	-	35
Contenido de benceno	%[b]	-	2
Contenido de olefinas	%[b]	-	25
Estabilidad a la oxidación	Min	240	-
Contenido de oxígeno	%[c]	-	2,7
Contenido de plomo, manganeso y hierro	mg/l	-	No detectable

Nota; En el caso que las gasolinas contengan etanol anhidro la presión de vapor, este puede llegar hasta 62 kPa.

[a] Para determinar el número de octano Research en ciudades de altura, se debe considerar la ecuación descrita en NTE INEN 2102. .[b] % corresponde a fracción de volumen expresada en porcentaje. [c] % corresponde a fracción de masa expresada en porcentaje. Nota: NTE INEN 935: 2016

Continuando con las especificaciones de las tablas presentadas se investiga componentes y propiedades de estos tipos de combustibles y que mejoras dan sus aditamentos. Propiedades de los combustibles

Índice de octano

Esta propiedad mide la capacidad antidetonante de un combustible al someterse a ignición, en una mezcla con aire en el cilindro de un motor de combustión interna. Los tipos de octanaje más comunes son dos:

- Octanaje probado en un motor estático o "Motor Octane Number" (MON),
- Octanaje medido en laboratorio o "Research Octane Number" (RON). A pesar de que ambos métodos emplean un mismo tipo de motor de prueba básico, operan bajo diferentes condiciones (Moreno, 2021).

Presión de vapor Reid

¨Esta propiedad indica la tendencia de un hidrocarburo líquido a volatizarse y guarda relación con el rango de ebullición de la gasolina, puesto que repercute en el encendido del motor, la velocidad de aceleración, el sobrecalentamiento del motor y las pérdidas de combustible por evaporación¨ (Moreno, 2021)

Estabilidad a la oxidación (Periodo de inducción).

¨El período de inducción implica una predicción de la tendencia de la gasolina a formar gomas durante su almacenamiento, aunque la formación de gomas en almacenamiento puede variar dependiendo de las condiciones de almacenamiento y el tipo de gasolina.¨ (Moreno, 2021)

Relación Vapor-Líquido.

Se trata de la proporción entre líquido y vapor de un combustible a una temperatura y presión determinadas.

Tabla 3

Combustible por vaporizarse

ºC	PROPANO	BUTANO
Temperatura de ebullición a 1 atm	101.76	92.09
25 ºC	81.76	86.83
60 ºC	61.88	76.07

Nota: la tabla muestra la tendencia de evaporación de los gases a presión atmosférica y temperatura (Moreno, 2021)

El GLP se almacena en forma líquida en un envase y se utiliza en forma gaseosa, el cambio de una fase a otra se produce al romperse el equilibrio líquido/vapor en el que se encuentra el producto a una temperatura dada, para lo que es necesario evacuar el gas del envase mediante la apertura de la válvula de regulación de la misma y por diferencia de presión el gas fluye al exterior del envase y el líquido vaporiza sustituyendo el gas que fluye (Moreno, 2021).

Uso de oxigenados en gasolina.

Básicamente, dos tipos de oxigenados se añaden a las gasolinas: los éteres y los alcoholes. Los éteres más empleados son: Metil Terbutil Éter (MTBE), Teramil Éter (TAME), Teramil Etil Éter (TAAE) y Diisopropil Éter (DIPE). En tanto, los alcoholes más adicionados son: Alcohol Metílico, Alcohol Etílico y Alcohol terbutílico. El MTBE es el oxigenado más usado debido a su alto número de octano (110 aproximadamente), su disponibilidad y sus características fisicoquímicas

y térmicas muy compatibles con las de la gasolina; especialmente en el rango de evaporación donde las gasolinas típicamente muestran características antidetonantes bajas (Moreno, 2021).

Estabilidad y Gomas

¨Son los componentes poliméricos u oxigenados presentes en gasolinas o destilados medios solubles en el producto, bajo condiciones de almacenamiento y manipulación normales que se depositan por la evaporación¨ (INEN, 2003). Contenido de goma: Las gomas pueden estar ya presentes en la muestra de gasolina por ser producidas en el mismo proceso de fabricación.

En este ensayo se cuantifican los depósitos formados cuando se evapora una muestra de gasolina a una temperatura dada en presencia de una corriente de aire. Mide la tendencia del combustible a generar depósitos fundamentalmente en los sistemas de alimentación de los vehículos.

Los componentes que potencialmente pueden dar lugar a la formación de gomas, cuando se formula una gasolina, son principalmente los hidrocarburos olefínicos, de los que no se puede prescindir ya que son derivados de procesos importantes de los sistemas de refino y contribuyen con un alto nivel de octano. La acción para contrarrestar esta característica es la de aditivar la mezcla.

La Norma ASTM D 381, Test Method for Existing Gum in Fuel by Jet Evaporation, permite determinar esta característica:

GASOLINAS

• Evaporación inicial (160 °C)

• Lavado con n-heptano (material no volátil)

• Determinación masa de gomas

• Contenido de gomas debe ser 5 mg/100 ml como máximo

(Moreno, 2021)

Corrosión

La manipulación, distribución, almacenamiento y uso del producto no debe deteriorar las instalaciones o equipos donde dichas operaciones se realizan, por lo que se evita la corrosión. Se determina por:

Corrosión a la lámina de cobre

Mide la tendencia del combustible a atacar los metales con los que entra en contacto, mediante la medición del ataque producido por el combustible a una lámina normalizada de cobre (Norma ASTM D Test Method for Detection of Copper Corrosion from Petroleum Products by the Copper Strip Tarnish Test).

Para evitar la corrosión se eliminan los mercaptanos que son los compuestos más corrosivos. Uno de los métodos más utilizados es el tratamiento cáustico del derivado.

Contenido de azufre

El contenido de azufre total (expresado como % en peso) es indicativo de la formación de óxidos de azufre durante la combustión y a partir de los mismos de ácido sulfúrico, que ataca u oxida a los elementos con los que entra en contacto. Entre los métodos de determinación, el más usado es el de espectrografía por rayos-X (Norma ASTM D 2622).

Aditivos

Existen multitud de compuestos que se añaden en pequeñas proporciones a las gasolinas para mejorar algún aspecto del comportamiento de las mismas. Entre ellos podemos citar:

- Antioxidantes, que disminuyen la tendencia a reaccionar con oxígeno (disminuye la formación de gomas).
- Desactivadores de metales, que mejoran la estabilidad del combustible.
- Anticorrosivos que inhiben la corrosión de metales en contacto con el producto
- Desemulsionantes que favorecen la decantación del agua emulsionada o suspendida.
- Anticongelantes, previenen y evitan los efectos de formación de hielo.

• Mejoradores de combustión, que disminuyen la tendencia a la detonación (el índice de octano)

• Odorizantes, que enmascaran el olor del producto

• Trazadores, que sirven para identificar los productos.

• Detergentes, sustancias tensoactivas que previenen la formación de depósitos en el motor

• Dispersantes, que previenen la formación de depósitos en el motor y mantienen en suspensión las sustancias potencialmente generadoras de los mismos. (Moreno, 2021)

Método

En la investigación de seguimiento se aplicó un análisis cuantitativo que pretende a través de los datos obtenidos en el estudio determinar los valores de emisión de contaminantes emitidos al medio ambiente; Verificando los diferentes combustibles utilizados con los variados octanajes y calidades de estos.

El octanaje es la capacidad antidetonante de la gasolina cuando se comprime dentro del cilindro del motor, mientras la relación de compresión de un motor es mayor también es mayor su eficiencia y potencia, pero esto también incrementa el peligro de que se produzca el cascabeleo y se reduzca la potencia y eficiencia del motor.

El mayor octanaje de las gasolinas se refleja en un aumento de la eficiencia, sobre todo en motores de inyección directa. El combustible que se va a usar siempre queda a consideración del consumidor, sin embargo, no resta importancia comprobar, si en realidad existen efectos negativos en cuanto a rendimiento, economía y en los resultados en las emisiones de los diferentes tipos de combustibles disponibles en Ecuador.

En la actualidad la calidad de combustibles que se producen en las Refinerías de Esmeraldas, La Libertad y Shushufindi, y los terminales Beaterio y Pascuales operados por EP

Petroecuador, cumplen con la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204, para ello los productos son analizados previamente en sus laboratorios acreditados por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano – SAE bajo la norma 17025 y calificados por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (Petroecuador 2023, s.f.).

Mediante este trabajo se realiza un estudio de las diferencias en el rendimiento de los combustibles tipo Súper 95 octanos y extra-87 octanos para demostrar las diferencias de estos combustibles con la variación de emisiones contaminante, relacionando el modelo de vehículo especificado de sistema de inyección directa obteniendo datos específicos de agentes contaminantes, respecto al uso de alguno de los dos tipos de gasolina.

Ante el encarecimiento de las gasolinas y el fin de los subsidios en el País, vuelve al debate con qué combustible alimentar al vehículo para ahorrarse unos dólares. Claro que, por evitar pagar más no hay que arriesgar y dañar el automóvil. Ese es el debate que se ha estado conversando durante estos dos últimos años atrás ya que el costo del súper se encuentra en $3.92 a variante de $4.00 dólares mientras que la extra con su valor fijo de $2.40 ahora: Qué gasolina es mejor y si debemos pagar más por la Súper. Lo que manifiestan los técnicos en el área es que, tal y como se comercializan la Extra y la Súper, no hay grandes diferencias mecánicas. (Ing. Fredy Leonardo Morquecho Andrade, 2018).

Diseño experimental

Para la determinación de las emisiones contaminantes (CO%, CO_2%, O_2%, NO_x % y HC %); se utilizó un dinamómetro de chasis bajo el ciclo de conducción NEDC y un analizador de gases. Se experimentó con gasolina Extra 85 y 87 octano y Súper 92 y 95 octano para un vehículo marca CHANGAN (directa). En la tabla 4 se representan los factores y sus niveles como variables independientes además de la variable dependiente.

Tabla 4

Variables dependiente e independientes

Factores (variables independientes)	**Niveles de los factores**	**Variable dependiente (variables respuestas)**
Tipo de combustible (TC)	Extra 85 Extra 87 Súper 92 Súper 95	Factores de emisión (FCO, FHC, FNO_x)

De la tabla 4 se tiene un diseño de experimento unifactorial, obteniéndose 4 tratamientos (combinaciones) que se muestran en la tabla 4. Para el análisis y comparación de los resultados se emplea el software *Statgraphics Centurion* XVI, realizándose un análisis de varianza (ANOVA).

Se realizaron 3 repeticiones de cada tratamiento según lo establecido por la norma NTE INEN 2205 en el apartado 6 sobre métodos de ensayo donde en el punto 6.1.5.4 refiere “Registrar y promediar un mínimo de 3 lecturas en cada prueba”.

Tabla 5

Tratamientos para el análisis de diferencias significativas (Variable respuesta: Factores de

emisión)

Número de Tratamientos	Autos	Gasolina	DENOTACIÓN
T1	CHANGAN	Extra – 85	CHE-85 (1)
T2	CHANGAN	Extra – 87	CHE-87 (2)
T3	CHANGAN	Súper – 92	CHS-92 (3)
T4	CHANGAN	Súper – 95	CHS-95 (4)

Área de estudio

El presente trabajo fue realizado en el laboratorio institucional de análisis de vehículos y movilidad sostenible (LIAVMS), instalaciones que pertenecen a la Escuela Politécnica Nacional. Se encuentra ubicado en la ciudad de Quito, con una altitud de 2850 msnm, con una temperatura que fluctúa entre los18 °C a los 25 °C.

Figura 2

Instalaciones de LIAVMS

Vehículo de prueba

Para el desarrollo de este estudio se utilizó un vehículo tipo: Mini SUV Changan CS15AC, 1.5L 2019 de inyección directa como se identifica en la figura 2. Es un vehículo de inyección directa tiene un factor de emisión de CO_2 de 294 g/mi para gasolina de 87 octanos y 290 g/mi para gasolina de 95 octanos. El factor de emisión de CO del vehículo es de 0,79 g/mi para gasolina de 87 octanos y 0,77 g/mi para gasolina de 95.

Figura 3

Vehículo de Prueba Changan

Tabla 6

Características del vehículo MINI SUV Changan CS15 1.5L Elite 4x2 2019

Características	Especificaciones técnicas
Combustible	Gasolina+9
Cilindrada	1500cc DOHC
Potencia	105hp/rpm
Torque	145N.m/rpm
Alimentación	Inyección directa
Cilindros	4 en línea
Válvulas	16 válvulas con sistema i-VVT
Caja/ Transmisión	Manual 5 velocidades
Revoluciones par máximo	5500 rpm
Neumáticos	R17
Tracción	Delantera

Nota: (CHANGAN EC, 2019)

El Laboratorio Institucional de Análisis de Vehículos y Movilidad Sostenible –LIAVMS, mediante solicitud de ensayos SPE-077 presentada por parte de la Universidad Internacional SEK será el punto de partida para el presente trabajo de titulación ya que a través de los resultados obtenidos de los factores de emisiones para gasolina de 85-87 extra y 92-95 octanos súper nos permitirá comparar con los factores de emisión resultantes en la investigación de los dos tipos de gasolina y tipos de octanajes que se comercializan en la ciudad de Quito.

Equipos empleados en las pruebas

Los equipos que se usaron en la realización de las pruebas de medición de emisiones están ubicados en el Laboratorio Institucional de Análisis de Vehículos y Movilidad Sostenible de la Escuela Politécnica Nacional, estos son:

Analizador de gases combinado para gasolina Horiba MEXA-ONE, con este equipo se puede medir las concentraciones de emisiones contaminantes en automóviles a gasolina, en condiciones determinadas, generan notificaciones automáticas de inspecciones y ajustes periódicos según lo exigen las reglamentaciones sobre emisiones de acuerdo con un cronograma definido por el usuario. Las inspecciones y los ajustes también se pueden iniciar desde la ventana de control, figura 4. Las características que mantiene este equipo se pueden observar en la Tabla 4, en el Anexo A se puede observar las especificaciones del equipo.

Figura 4

Analizador de Gases Combinado para Gasolina MEXA-ONE 7200 HORIBA

Prueba dinámica según normativas NTE INEN 2204

Medición de emisiones que se realiza con el vehículo o motor sobre un dinamómetro, aplicando los ciclos de prueba descritos en esta norma NTE INEN 2204 2017-01 2016-849 3

Temperatura normal de operación

Temperatura que alcanza el motor después de operar un mínimo de 10 minutos en marcha mínima (ralentí), o cuando en estas mismas condiciones, la temperatura del aceite en el cárter del motor alcance 75 °C o más. En las fuentes móviles equipadas con electro ventilador, esta condición es confirmada después de operar un ciclo.

Tabla 7

Características del Analizador de Gases

DETALLE	VALOR
Gases analizables	(CO, CO_2, CH_4, N_2O, NO, SO_2, NH_3, NOx, O_2, Siloxane)
Deriva del margen de medición	Inferior a +/- 0,6 % del valor final del alcance
Valor Lambda	Margen indicador: 0,500 – 9,999 w Resolución: 0,001 w
Cantidad total de flujo	Máx. 3,5 l/min – min.1,5 l/min
Caudal – gas de medición	Máx. 2,5 l/min – bomba de membrana
Presión de servicio	750 – 1100 mbar
Fluctuación de la presión	Máx. errores 0,2% con fluctuaciones de 5 kPa
Alimentación	85 V – 280 V ; 50 Hz ; 65W/12V-24DC
Temperatura de servicio	+ 5 ° - + 45 °C • tolerancia ± 2 °C
Dimensiones	560 x 240 x 300 mm

Fuente: (Dávila, 2013, págs. 64-65)

Funciones adicionales

- Calibración automática
- Control de retroceso
- Autodiagnóstico
- Registro de datos
- Ajustes de configuración del analizador
- Múltiples salidas analógicas y digitales (opcional) (HORIBA Process y Environmental, 2023)

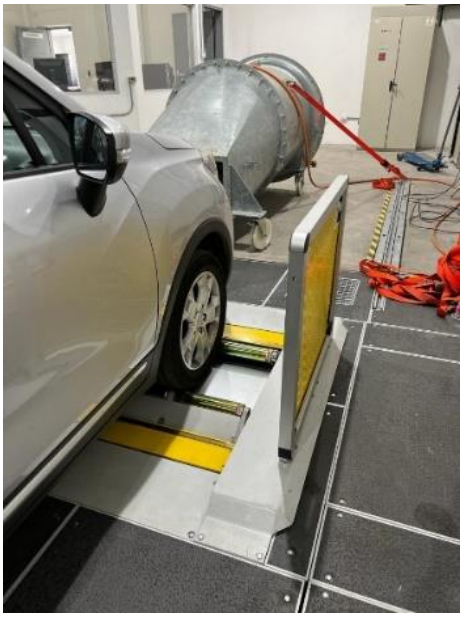
Dinamómetro de chasis

Este equipo facilita la medición del torque y potencia del motor de un automóvil, en condiciones definidas; de igual manera se realiza el test de opacidad dinámica Lug Down, simulador de carga, mediciones de la elasticidad de un motor, control de tacómetro, consumo de combustible, análisis de emisiones contaminantes, se muestra en la figura 7. Sus elementos principales son:

- Consola de mando
- Juego de rodillos R200/1
- Cajas de interfaces- sonda de temperatura de aceite
- Sistema de extracción de gases de escape

Figura 5

Dinamómetro de Chasis



A continuación, en la Tabla 8 se identifican algunas características del dinamómetro de Chasis y las especificaciones detalladas las encontramos en el Anexo.

Tabla 8

Especificaciones Técnicas del Dinamómetro de Chasis

DETALLE	VALOR
Revoluciones del motor	0-10000 rpm
Precisión potencia de rueda +/-	2% del valor de la medición
Tensión de alimentación	400V/50 Hz

Potencia de rueda	30-máx. 400kW
Velocidad de prueba máx.	200 km/h
Fuerza de tracción máxima	15000 N
Carga máxima por eje (t)	15
Diámetro mínimo de rueda para ensayar	12”

Cajas Interfaces

Las medidas que se registran en las pruebas son guardadas en las cajas de interfaces, de igual manera se ubican los números de revoluciones, parámetros medioambientales y temperatura de aceite de motor, La medición de los compuestos de nitrógeno (NO, NO_2, N_2O, NH_3) es esencial para la evaluación de los sistemas de postratamiento de NOx. MEXA-ONE se puede configurar fácilmente para proporcionar una capacidad de medición óptima basada en el objetivo de la prueba. (HORIBA Process y Environmental, 2023) Ver Figura 5.

Figura 6

Caja de Interfaces

Sistema de Extracción

Las emisiones contaminantes de los gases de escape son eliminadas mediante un sistema de extracción como se muestra en la figura 7, estas se producen durante el proceso de ejecución de las pruebas dinámicas.

Figura 7

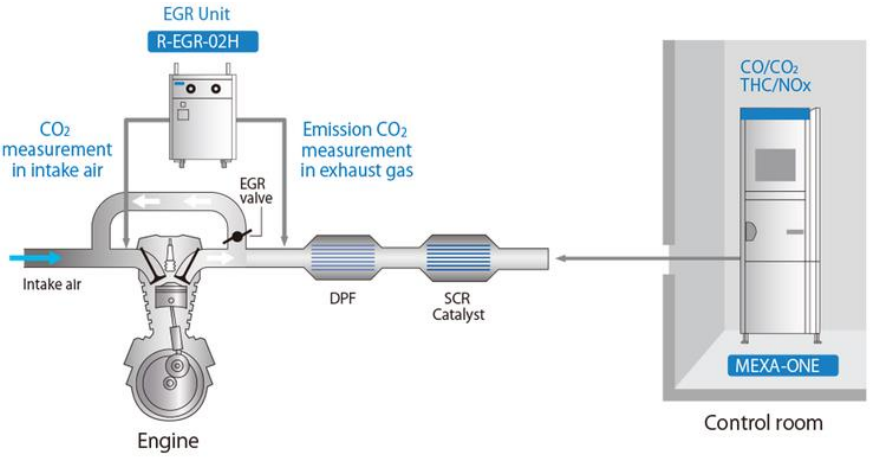
Sistema de Extracción de Gases de Escape

Análisis de gases de combustión

Este sistema permite la recolección de emisiones que se producen en el motor Figura 10 y son enviadas al analizador de gases.

Figura 8

Sistema de análisis de Gases de Combustión



Nota: (Automotive, 2023)

Pruebas Dinámicas Ciclo Inspección y Mantenimiento

El ensayo dinámico transitorio, que se realiza en un dinamómetro de chasis de un vehículo ligero con un ciclo de conducción dinámico. El dinamómetro simula una carga externa e intenta seguir un camino preestablecido en el software del dispositivo de medición. Junto al dispositivo se encuentra un analizador de gases para medir las emisiones de: CO, HC y NOx.

El proceso se realizó en el Laboratorio Institucional de Análisis de Vehículos y Movilidad Sostenible –LIAVMS, ya que es necesario contar con software específicos y personal capacitado.

Dentro de los equipos que se necesitan para el desarrollo de la prueba se mencionan:

- Analizador de gases MEXA-ONE
- Equipo para procesamiento de información (computador)

- Equipo LPS 3000
- Caja de Interfaces
- Extractor de gases
- Tanque externo de presión de combustible
- Probeta de 1000ml
- Matraz Erlenmeyer de 5000ml

Protocolo de Prueba con el Ciclo con equipo de Procesamiento.

El ensayo de determinación de factores de emisiones reales bajo ciclo estandarizado en condiciones controladas en vehículos de más de tres ruedas se realiza con los siguientes combustibles.

Los combustibles utilizados en las pruebas fueron los siguientes:

- Gasolina Súper de 92 octanos

- Gasolina Súper de 95 octanos

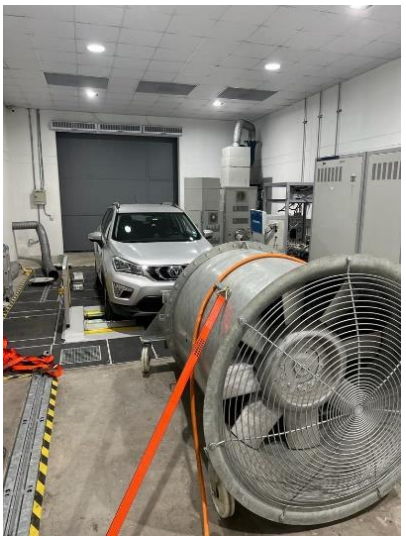
- Gasolina Extra de 85 octanos

- Gasolina Extra de 87 octanos

En cada prueba de combustible se realiza, con tiempos de acondicionamiento del vehículo y 3 mediciones en diferentes secuencias de ensayo o ciclos. Las tres pruebas se realizan a condiciones normales de trabajo como se muestra en la figura 9.

Figura 9

Sistema de análisis prueba dinámica



Los procedimientos realizados durante la prueba se detallan a continuación.

Se deben realizar los siguientes pasos:

- Identificar condiciones óptimas del vehículo.
- Identificar el buen estado del sistema de escape (sin fugas ni perforaciones).
- Posicionar las ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos del dinamómetro de chasis de forma recta en dirección de marcha. Como se muestra en la figura 9 y 10 respectivamente del automotor.

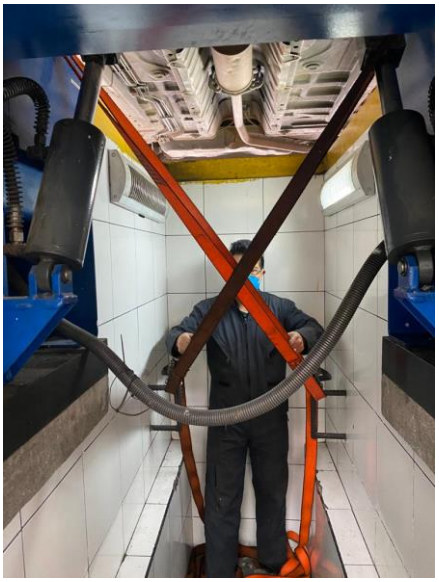
Figura 10

Anclaje dinamómetro

- Fijar el vehículo al dinamómetro por medio de correas de tensión al eje trasero del automotor. Como se indican en la figura 11.

Figura 11

Sujeción del automotor al dinamómetro



- Instala la sonda de gases al final del tubo de escape. Se muestra en la figura 12.

Figura 12

Analizador de gases instalación de mangueras

Poner el extractor de gases a la salida de las emisiones contaminantes del motor.

Encender HORIBA MEXA-ONE

En el sistema se ingresa todos los datos del vehículo de motor y mediadas de ruedas, ingreso al sistema figura 13.

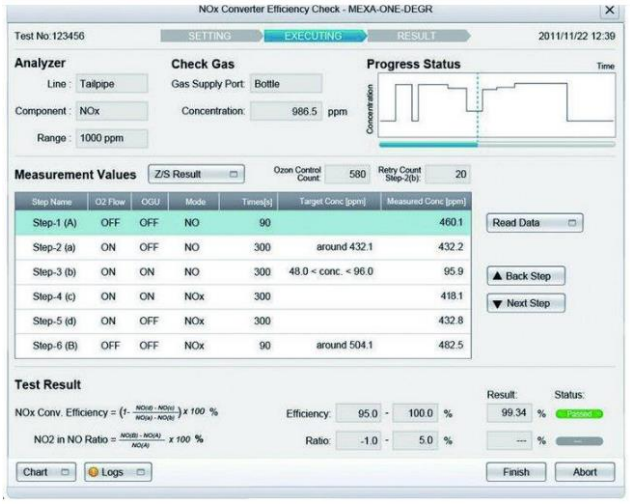
Figura 13

Computadora Mexa Horiba

Procedemos a dar inicio a los ensayos MEXA-ONE y medición de gases en todos los componentes. Como se indica en la figura 14.

Figura 14

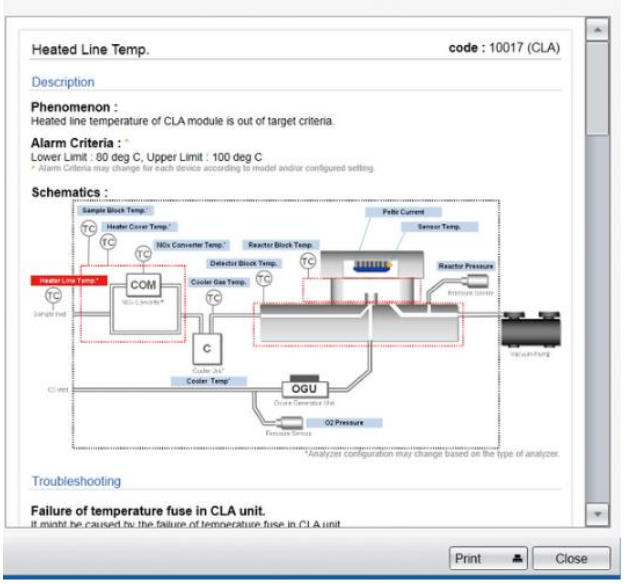
Software de Análisis de Gases



Conducir el vehículo siguiendo la ruta preestablecida por el equipo, procurando estar dentro de la zona de tolerancia de la prueba y evitar que esta sea cancelada por el equipo. Figura 15.

Figura 15

Ruta Preestablecida por el Equipo



Pruebas dinámicas de vehículo según normas NTE INEN 2204

Según las normativas de gestión ambiental sobre vehículos automotores NTE INEN 2204 revisión 2017-01 los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina sin aplicar fuentes móviles como motores de pistón libre, motores fijos, neumáticos y quipos de aplicaciones industriales, por ello se adopta términos siguientes:

Año modelo

Año de producción del modelo de la fuente móvil.

Ciclo

Tiempo necesario para que el vehículo alcance la temperatura normal de operación en condiciones de marcha mínima o ralentí. Para las fuentes móviles equipadas con electro ventilador, ciclo es el período que transcurre entre el encendido del ventilador del sistema de enfriamiento y el momento en que el ventilador se detiene.

Ciclos de prueba

Secuencia de operaciones estándar a las que es sometido un vehículo automotor o un motor, para determinar el nivel de emisiones que produce. Para los propósitos de esta norma, los ciclos que se aplican son los siguientes:

Ciclo ECE + EUDC

Ciclo de prueba dinámico establecido por la Unión Europea para los vehículos livianos y medianos, que utilizan gasolina.

Ciclo FTP-75

Ciclo de prueba dinámico establecido por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), para los vehículos livianos y medianos, que utilizan gasolina. (Semblantes, 2023)

Diseño experimental

Para la determinación de las emisiones contaminantes (CO%, CO_2%, O_2%, NO_x % y HC %); se utilizó un dinamómetro de chasis bajo pruebas de conducción dinámica realizada en un solo ciclo acondicionado en dos pruebas simulando tráfico pesado y carretera con un tiempo estimado de 20 minutos y una distancia 11007 metros a una velocidad media de 36.5 km/h y una velocidad máxima de 120 km/h, extrayendo tres mediciones según las normativas Europeas New European Driving Cycle (NEDC) obteniendo valores según directiva del consejo de la legislación de los estados en materia de medidas contra la contaminación atmosférica causada por las emisiones de los vehículos de motor mediante análisis significativo de varianza indicando valores extremos según el método Dixon, bajo requisitos establecidos según la normativa INEN como indica en la tabla 9 son valores de pruebas estáticas y los valores que utilizamos para relacionar las medidas se especifican en la tabla 6 son los factores utilizados para analizar los datos obtenidos en pruebas dinámicas.

Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina.

Marcha mínima o ralentí (prueba estática)

Toda fuente móvil con motor de gasolina, durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralentí y a temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas en la Tabla 9. (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)

Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática)

Tabla 9

Valores emisiones prueba estática

Año modelo	**% CO a**		**ppm HC a**	
	0 - 1500 *b	**1500 - 3000 *b**	**0 - 1500 *b**	**1500 - 3000 *b**
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1000	1200

a = Volumen
*b = Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm)

Nota: Lo que muestra la tabla son emisiones utilizadas para el sistema de revisión técnica vehicular ya que son medidas estáticas a aceleraciones máximas de 2500 rpm.

(Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)

Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de gasolina. (Prueba dinámica)

¨Toda fuente móvil con motor de gasolina no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx), y emisiones evaporativas, en cantidades superiores a las indicadas en la Tabla 10¨ (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016).

Tabla 10

Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica)

(Directiva de la UE 98/69/CE)

Categoría	Clase	Peso de referencia (PR) kg	CO g/km	HC g/km	HC + Nox g/km	Nox	Ciclo de prueba
Ma	-	Todas	2,3	0,2	-	0,15	ECE + EUDC (también conocido como MVEG-A)
N1b	I	PR ≤ 1 305	2,3	0,2	-	0,15	
	II	1 350 < PR ≤ 1 760	4,17	0,25	-	0,18	
	III	1 760 < PR	5,22	0,29	-	0,21	

a= Salvo los vehículos cuyo peso máximo sobrepasen 2500 kg.
b= Y los vehículos de la categoría M que sobrepasen 2500 kg.

Nota*:* Lo que muestra la tabla son emisiones utilizadas con el vehículo en movimiento ya que se necesita otro tipo de equipamiento como lo dispone la **LIAVMS** laboratorio institucional de análisis de vehículos y movilidad sostenible.

Procedimiento de medición

Antes de la prueba, realizar las verificaciones siguientes:

- Someter al equipo a un período de calentamiento y estabilización, según las especificaciones del fabricante.
- Retirar todo material en forma de partículas y eliminar toda substancia extraña o agua, que se hayan acumulado en la sonda de prueba y que puedan alterar las lecturas de la muestra.
- Revisar que la transmisión del vehículo esté en neutro (transmisión manual) o parqueo (transmisión automática).
- Revisar que el control manual del ahogador (choque), no se encuentre en operación, y que los accesorios del vehículo (luces, aire acondicionado, etc.), estén apagados.
- Revisar en el vehículo que el sistema de escape se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y sin ninguna salida adicional a las del diseño que provoque dilución de los gases de escape o fugas de estos. Las salidas adicionales a las

contempladas en el diseño original no deben ser aceptadas, aunque éstas se encuentren bloqueadas al momento de la prueba.

- Si el vehículo no cumple con las condiciones establecidas en el numeral
- La prueba no se debe realizar hasta que se corrijan aquellas.
- Revisar que el nivel de aceite en el cárter esté entre el mínimo y máximo recomendado por el fabricante, con el motor apagado y el vehículo en posición horizontal.
- Encender el motor del vehículo y verificar que se encuentre a la temperatura normal de operación. (Moposita, 2013, págs. 34-38)

Medición

- Conectar el tacómetro del equipo de medición al sistema de encendido del motor y verificar las condiciones de marcha mínima o "ralentí".
- Con el motor a temperatura normal de operación y en condición de marcha mínima o "ralentí", introducir la sonda de prueba en el punto de salida del sistema de escape del vehículo. Tener la seguridad de que la sonda permanezca fija dentro del sistema de escape mientras dure la prueba.
- Esperar el tiempo de respuesta del equipo de medición dado por cada fabricante.
- Imprimir las lecturas estabilizadas de las emisiones medidas.
- Si, por diseño, el vehículo tiene doble sistema de escape, medir por separado cada salida. El valor del resultado final será la mayor lectura registrada. (Instituto Ecuatoriano de Normaliza ción, 2004)

Pruebas de emisiones de vehículos Según pruebas dinámicas

Las pruebas realizadas se las hizo en el laboratorio institucional de análisis de vehículos y movilidad sostenible (LIAVMS), certificando que el vehículo fue evaluado en los ensayos.

- Ensayo de determinación de factores de emisiones reales bajo ciclo estandarizado en condiciones controladas en vehículos de más de tres ruedas.

  Los combustibles para utilizar en los ensayos fueron:

  - Gasolina Súper de 92 octanos
  - Gasolina Súper de 95 octanos
  - Gasolina Extra de 85 octanos
  - Gasolina Extra de 87 octanos

Determinación de los Factores de Emisión

Los factores de emisión son estimados a través de los datos obtenidos experimentalmente del equipo de medición. A continuación, se presenta un resumen del modelo de la combustión en la mezcla del comburente aire-combustible en sus principales productos.

Donde las variables son coeficientes estequiométricas (a, b, c, d, e, f y *m*) que corresponden a coeficientes estequiométricos desconocidos y determinados por mol de combustible consumido. Se desarrolla un balance de masa respecto a la cantidad de carbono, debido a que como fruto de la combustión se obtiene emisiones contaminantes de CO_2, CO y HC resultado de la combsutión. El balance de masa para el carbono se puede escribir como la Ecuación 1 (Leguísamo Milla, 2019).

$$CH_y + m\,(0.21\,O_2 + 0.79N_2)\;aCO + bH_2O + cC_3H_6 + dCO_2 + eN_2 + fNO \qquad [1]$$

$$1 = a + 3c + d$$

Donde:

$m =$ Moles de aire consumido por mol de combustible consumido.

$a =$ Moles formados de CO por mol de combustible consumido.

$b =$ Moles formados de H_2O por mol de combustible consumido

$c =$ Moles formados de C_3H_6 por mol de combustible consumido

$d =$ Moles formados de CO_2 por mol de combustible consumido

$e =$ Moles formados de N_2 por mol de combustible consumido

$f =$ Moles formados de NO por mol de combustible consumido

Las emisiones contaminantes son medidas desde el sistema de escape del vehículo y son analizados correspondientemente a la ecuación 2.

$$d = \frac{1}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \qquad [2]$$

Donde:

$R_{CO} =$ Es la relación de CO con respecto al CO_2 dado en porcentaje.

$R_{HC} =$ Es la relación de HC con respecto al CO_2 dado en porcentaje.

Se toma en cuenta como base principal del combustible al octano C_8H_{18}(equivalente $CH_{2.25}$) y se procede a determinar el peso molecular del combustible como se muestra en la Ecuación [3].

$$MW_{CO} = \frac{12gC}{molC} x \left(\frac{1molC}{mol\ comb}\right) + \frac{1gH}{molH} x \left(\frac{ymolH}{mol\ comb}\right) = 14{,}25 \frac{gcomb}{mol\ comb}$$

$$= 0{,}01425\ \frac{Kgcomb}{mol\ comb} \qquad [3]$$

Utilizando la densidad del combustible (kg/m^3) y el consumo por distancia recorrida FC m^3/km), cómo se puede observar en las Ecuaciones 4,5 y 6.

$$F_{CO} = \frac{R_{CO}}{R_{CO+3RHC+1}} \frac{MW_{CO}}{MW_{comb}} \qquad [4]$$

$$F_{HC} = \frac{R_{HC}}{R_{CO+3RHC+1}} \frac{MW_{HC}}{MW_{comb}} \qquad [5]$$

$$F_{NO} = \frac{R_{CO}}{R_{CO+3RHC+1}} \frac{MW_{NO}}{MW_{comb}} \qquad [6]$$

Dónde:

$F_{CO}\ Corresponde\ a\ factor\ de\ emisión\ de\ CO$

$R_{CO}\ Razón\ de\ \%\ de\ CO\ con\ respecto\ a\ la\ concentración\ de\ CO_2$

$R_{CH}\ razón\ de\ \%\ de\ HC\ en\ cuanto\ a\ la\ concentración\ de\ CO_2$

$R_{NO}\ razón\ de\ \%\ de\ NOX_x\ en\ cuanto\ a\ la\ concentración\ de\ CO_2$

$MW_{CO}\ peso\ molecular\ del\ CO$

$MW_{HC}\ peso\ molecular\ de\ HC$

$MW_{NO}\ peso\ molecular\ de\ NO$

$MW_{COMB}\ peso\ molecular\ del\ combustible$

¨La densidad del combustible δ_{com}(kg/m^3) con un valor de 744 kg/$m^3 a$ a 15ºC es una variable independiente en estas fórmulas al igual que el consumo de combustible por distancia recorrida en la ruta de prueba¨ (J.C. Leguísamo Milla et al., 2020).

El equipo encargado de realizar las respectivas mediciones de gases en todo el tiempo de la prueba del ciclo de manejo realizando una base de volumen de los resultados de las emisiones en los gases de escape, obteniendo así la relación de la ecuación 1.

En la ecuación 3 se muestra la determinación de los factores de emisión (FE_I) (ecuación

4) en unidades de gramos de contaminación por cada kilómetro $[g/km]$**,** el subíndice i muestra la relación con las emisiones contaminantes anteriormente mencionadas.

$$FE_i = \frac{1}{R_{CO}+3R_{HC}+1} x \frac{MW_i}{MW_{comb}} x \rho_{comb}\ x\ c.c.; [g/km] \qquad [4]$$

Donde:

$MW_{comb} =$ Peso molecular equivalente del combustible.

$MW_i =$ Peso molecular equivalente de las emisiones contaminantes.

$\rho_{comb} =$ Densidad del combustible expresado en $[g/m^3]$**.**

$c.c =$ Consumo de combustible por la distancia recorrida expresado en $[m^3/km]$**.**

Resultados y Discusión

Análisis de los resultados para los Factores de emisión

Para el análisis y comparación de los resultados de las emisiones contaminantes, se emplea el software *Statgraphics Centurion* XVI, aplicándose un análisis de varianza (ANOVA) para las combinaciones o tratamientos mostrados en el método.

Factor de emisión del CO (FCO)

En la tabla 11 se presenta los valores de P, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de FCO entre un nivel de Tipo de Combustible y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se selecciona la Pruebas de Múltiples Rangos cuyo resultado se muestra en la tabla 12 y figura 16, donde se destaca la gasolina Extra 85 octano con los mejores resultados (menores valores de FCO), debido a que este combustible dispone de menos aditivos que son para evitar anti detonaciones internas del motor, dispone menos generación de

partículas contaminantes y excesivas temperaturas generando menos dióxido de carbono a diferencia de combustibles más aditivados.

Resultado de emisiones similares a los del vehículo utilizado en este estudio según Recalde, (2015) “donde se hace la prueba dinámica aplicando la ruta IM240 utilizando un vehículo Toyota Corolla de 1800cc. En este caso los valores de CO son similares a los de este estudio”. En cambio, en el caso de Rocha, (2022) “se comparan gasolina Súper y Extra y no se obtiene una diferencia significativa entre las emisiones HC y NOx para cada tipo de gasolina mientras que en el caso del CO las emisiones son representativas entre Super y Extra. Esto difiere de los datos obtenidos donde la menor cantidad de gases emitidos se logra con una gasolina de mejor calidad y octanaje. Esto puede deberse al modelo, cilindraje y año del vehículo utilizado”

Tabla 11

Tabla ANOVA para FCO por Tipo de Combustible

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Entre grupos	2,12437	3	0,708124	20,50	0,0004
Intra grupos	0,276321	8	0,0345402		
Total (Corr.)	2,40069	11			

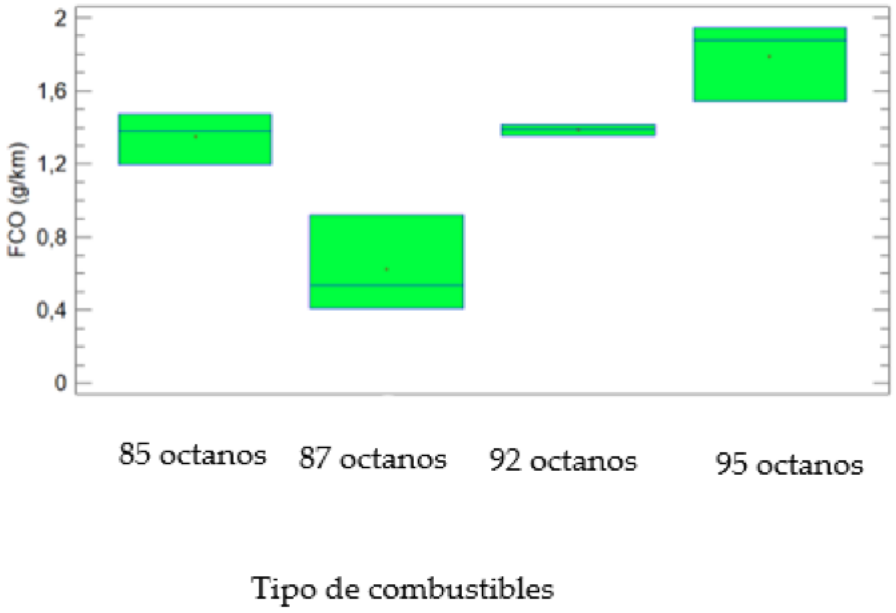
Tabla 12

Pruebas de Múltiple Rangos para FCO por Tipo de Combustible

Nivel	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
2	3	0,621333	X
1	3	1,35033	X
3	3	1,387	X
4	3	1,788	X

Figura 16

Rangos FCO y tipo de Combustibles



Factor de emisión del HC (FHC)

En la tabla 13 se presenta los valores de P, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de FHC entre un nivel de Tipo de Combustible y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se selecciona la Pruebas de Múltiples Rangos cuyo resultado se muestra en la tabla 14 y figura 17, donde se destaca la gasolina Súper de 92 octanos y la de Extra de 85 octanos con los mejores resultados (menores valores de FHC), independientemente de que entre ellas no existe diferencia significativa, en la figura 17 se puede apreciar que la gasolina Súper de 92 octano posee menores valores. Este combustible tiene mejores componentes

estabilizadores cabe recalcar que la diferencia es mínima ya que emisiones en hidrocarburos se da por tema de mantenimiento en el sistema de alimentación de combustible y sistema de admisión en este caso el vehículo esta con un mantenimiento previo adecuado como son equipos filtrantes, aceites especificados para el buen uso del motor, bujías de encendido originales y buen estado.

Tabla 13

Tabla ANOVA para FHC por Tipo de Combustible

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Entre grupos	0,00847092	3	0,00282364	6,96	0,0128
Intra grupos	0,00324733	8	0,000405917		
Total (Corr.)	0,0117182	11			

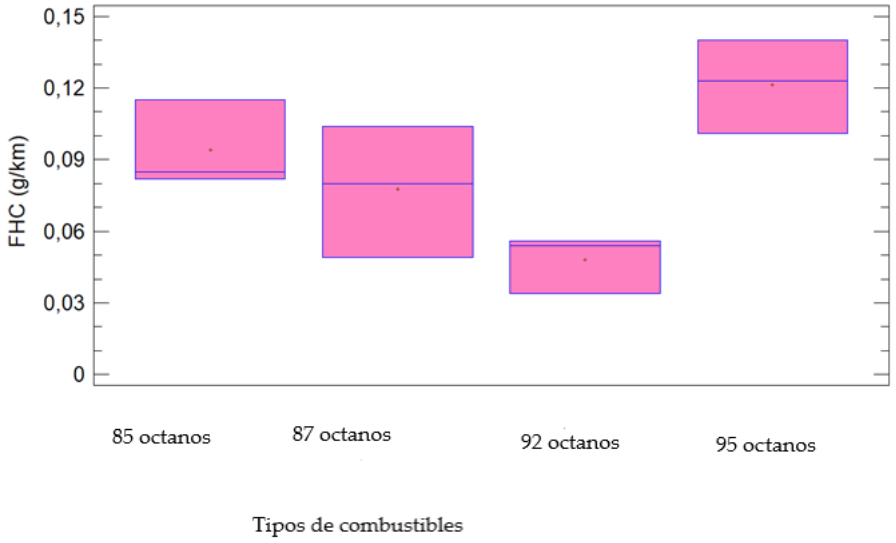
Tabla 14

Pruebas de Múltiple Rangos para FHC por Tipo de Combustible

Nivel	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
3	3	0,048	X
2	3	0,0776667	XX
1	3	0,094	XX
4	3	0,121333	X

Figura 17

Diagrama caja y bigotes para el FHC



Factor de emisión del NOx (FNOx)

En la tabla 15 se presenta los valores de P, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de FNOx entre un nivel de Tipo de Combustible y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se selecciona la Pruebas de Múltiples Rangos cuyo resultado se muestra en la tabla 16 y figura 18, donde se destacan las gasolinas Súper (92 y 95 octano) con los mejores resultados (menores valores de FNOx). Esto se debe gracias a que estos combustibles tienen mayor carga de aditivos y generan una combustión más óptima en la relación estequiometria ideal o factor lambda que quiere decir sin tener mezclas ricas ni pobres sino estables gracias a la mejor homologación de la alta presión de los sistemas GDI, llegando a temperaturas optimas de funcionamiento generando un buen trabajo del sistema de catalizador que permite retener la mayor cantidad de combustibles mal combustionados quemándolos en el proceso de catalización

o quema de residuos de esta manera se relaciona que los combustibles súper mejoran la calidad de vida ya que este tipo de gases son nocivos directamente a los seres vivos.

Tabla 15

Tabla ANOVA para FNOx por Tipo de Combustible

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Entre grupos	0,0604649	3	0,020155	6,33	0,0166
Intra grupos	0,025466	8	0,00318325		
Total (Corr.)	0,0859309	11			

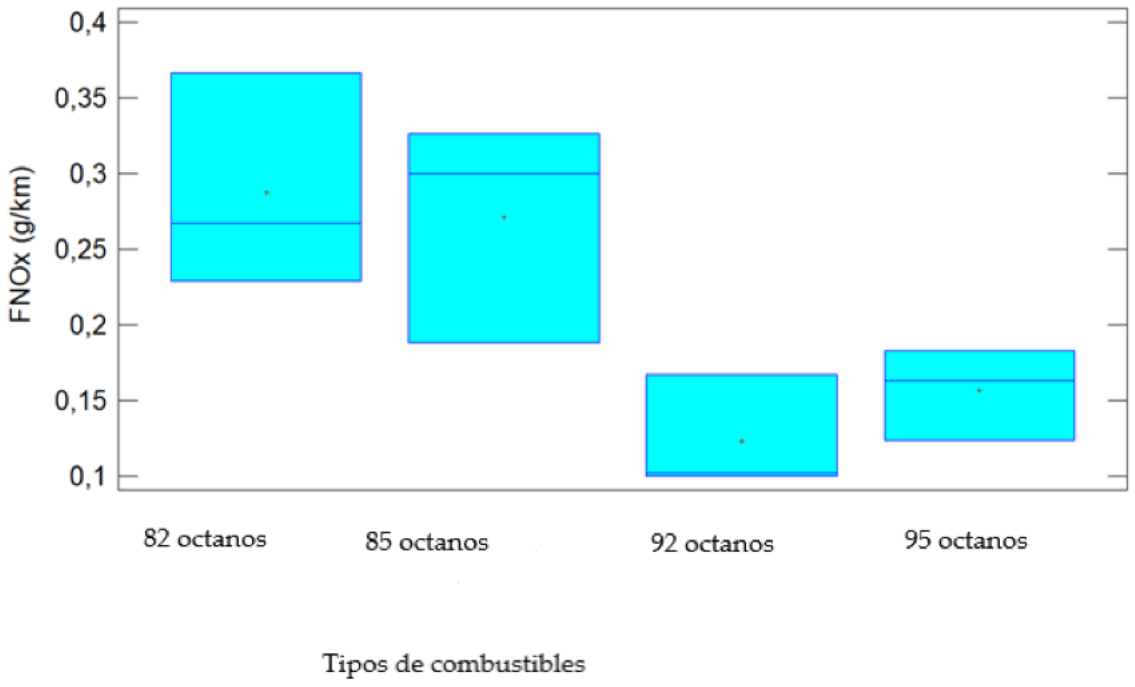
Tabla 16

Pruebas de Múltiple Rangos para FNOx por Tipo de Combustible

Nivel	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
3	3	0,123	X
4	3	0,156667	X
2	3	0,271333	X
1	3	0,287333	X

Figura 18

Diagrama caja y bigotes para el FNOx



Comparativa de los Factores de emisiones referente a la norma ecuatoriana

En las figuras 4, 5, y 6 se representan por separado la comparación de los factores de emisión del CO, HC, y NOx con la norma NTE INEN 2204, conociendo que su límite máximo de emisión para fuentes móviles con motor de gasolina para CO es 2,3g/km, HC es 0,2g/km y los NOx es 0,15g/km, Se concluye que para el FCO y FHC en ninguno de los casos se supera la norma NTE INEN 2204. En el caso del FNOx, solo cumple la norma la gasolina Súper de 92 octano.

Figura 19

Comparativa del FCO para las gasolinas experimentadas con la norma NTE INEN 2204

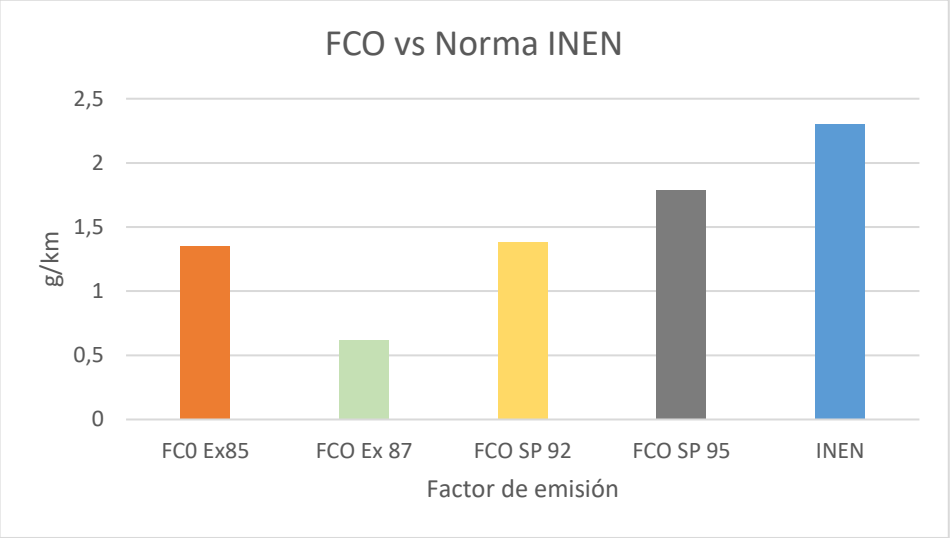


Figura 20

Comparativa del FHC para las gasolinas experimentadas con la norma NTE INEN 2204

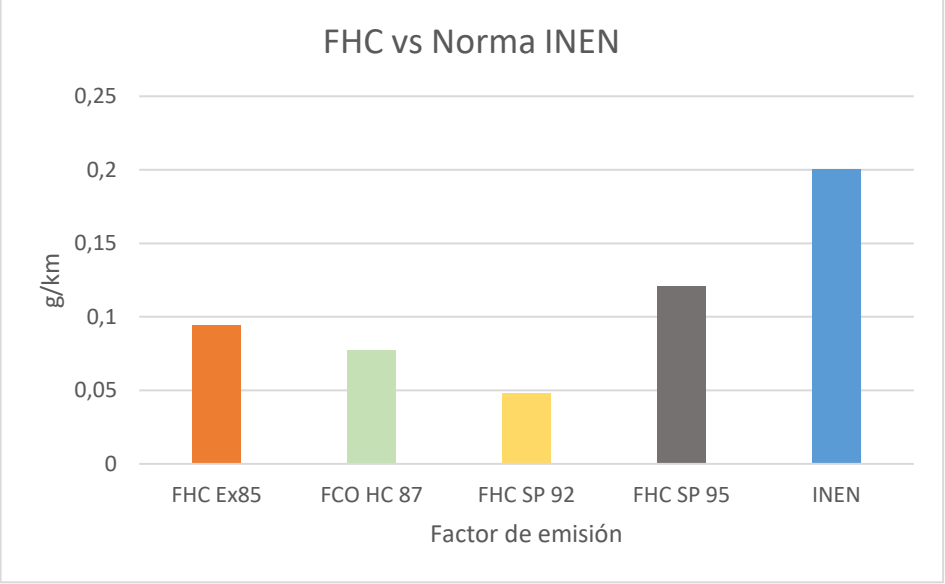
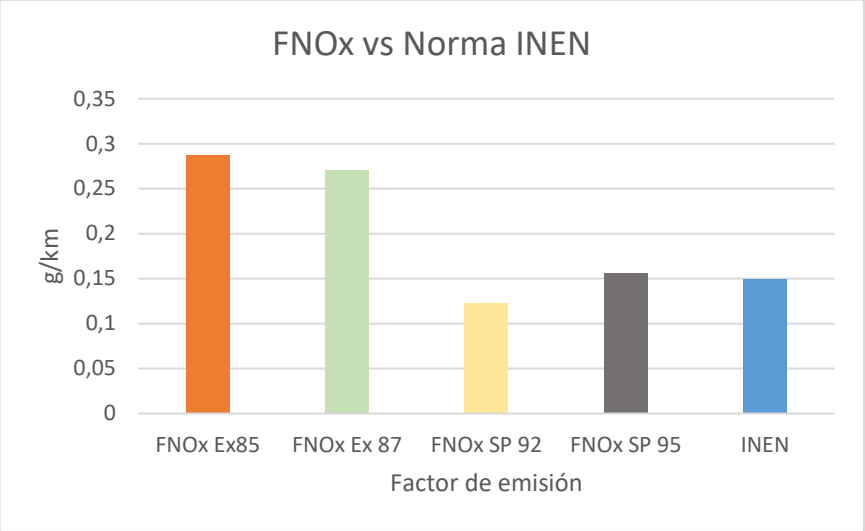


Figura 21

Comparativa del FNOx para las gasolinas experimentadas con la norma NTE INEN 2204



Conclusiones

Los combustibles utilizados para el estudio fueron extra 85 octanos y súper 92 octanos, teniendo diferentes componentes químicos en su composición como son aditivos para elevar su eficiencia antidetonante, llegando a las comparativas y diferencias en emisiones CO para gasolina de 85 octanos es 1,35g/km, para gasolina de 92 octanos es 1,387g/km, mientras que los HC para gasolina de 85 octanos es 0,094g/km mientras para gasolina de 92 octanos es 0,048g/km no es gran diferencian, donde hay una mejora es en los NOx para gasolina de 85 octanos 0,287g/km, y para gasolina de 92 octanos es 0,123g/km, reduce hasta un 62% sus contaminantes, estos gases afectan de manera directa a los seres humanos con afectaciones pulmonares.

Para vehículos de inyección directa es notable que usar combustible súper eleva las emisiones por las altas temperaturas en la cámara de combustión, aumentando en CO y HC, pero existe una mejor quema del combustible por los aditivos que tiene, eliminando gases no combustionados que son los principales emisores de los conocidos NOx verificando los valores limites según las normativas INEN para circulación, esto permite que los combustibles usados faciliten un buen desenvolvimiento energético y esto puede llegar a generar ahorro al disminuir el desgaste de las partes del motor, manteniendo bajos niveles de contaminación.

Los análisis estadísticos realizados permitieron identificar que los combustibles de bajo octanaje como es la gasolina extra de 85 octanos comprende menos emisiones en CO 1,35g/km , HC 0,094g/km , pero se elevan los NOx 0,287g/km y en combustibles súper de 95 octanos hay una variante mayor en CO 1,788g/km y HC 0,121g/km; además una mejora en el control de los NOx 0,156g/km, estas pruebas son en funcionamiento del motor a esfuerzo con pruebas dinámicas y las medidas obtenidas son en g/km, utilizando tablas comparativas mediante la aplicación de software estadístico para la determinación de diferencias

Bibliografía

Automotive, H.(2023). Obtenido de https://www.horiba.com/esp/automotive/products/detail/action/show/Product/mexa-one-41/

Beltrán, J. (20 de 06 de 2023). *Unachay Revista científica*. Obtenido de file:///C:/Users/usuario/Documents/BY-TECHMOTORS/Compras%20AMAZON/ART-OGR-02-V2-N1-15-28.pdf

Caiza Jácome, P. &. (2011). Determinación de la influencia de la Altura en Emisiones Contaminantes de un vehículo con motor de ciclo Otto, Inyección Electronica de Gasolina.

Dávila, A. (04 de 2013). *Espoch.edu.ec.* Obtenido de http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3049

E-Auto.com.mx . (4 de 4 de 2023). *E-Auto.com.mx*. Obtenido de https://www.e-auto.com.mx/enew/index.php/85-boletines-tecnicos/7139-inyeccion-directa-de-gasolina-gdi

EPA United State Environmental Protection Agency. (16 de Marzo de 2023). *United State Environmental Protection Agency*. Obtenido de https://www.epa.gov/newsreleases/las-emisiones-de-sustancias-quimicas-toxicas-en-2021-se-mantuvieron-por-debajo-de-los

HORIBA Process y Environmental. (01 de 01 de 2023). Analizador de gases de componentes múltiples Serie VA-5000 / VA-5000WM. Tokio, Japon.

Ing. Fredy Leonardo Morquecho Andrade, M. (2018). Análisis de rendimiento y costo de los combustibles ecopaís y super. *Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador*, 15.

Instituto Ecuatoriano de Normaliza ción, I. -2. (2004). GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS. Quito , Pichincha, Ecuador.

Leguísamo Milla, J. C. (2019). *Estratificación de un motor de inyección directa a gasolina al variar la altitud altitude. Revista Ciencia UNEMI, 12(May), 46–56* .

Moposita, E. (01 de 05 de 2013). *ESTUDIO Y PROPUESTA PARA LA CREACIÓN DE UN CENTRO DE REVISIÓN Y CONTROL VEHICULAR EN LA CIUDAD DE AMBATO*. Obtenido de https://docplayer.es/22452649-Universidad-politecnica-salesiana-sede-cuenca-carrera-de-ingenieria-mecanica-automotriz.html.

Moreno, J. R. (2021). Tecnología de los Combustibles. Santander, Cantambria, España.

Petroecuador 2023. (s.f.). *https://www.eppetroecuador.ec/*. Obtenido de https://www.eppetroecuador.ec/?p=12434

Recalde, M. (Abril de 2015). *Repositorio Escuela Politécnica* . Obtenido de https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11925/1/CD-6584.pdf

Rocha, J. C. (1 de Agosto de 2022). *www.alfapublicaciones.com.* Obtenido de https://alfapublicaciones.com/index.php/alfapublicaciones/article/view/264/705

Semblantes, Y. (2023). *http://repositorio.utn.edu.ec/*. Obtenido de http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/13591/2/PG%201318%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf

Servicio Ecuatoriano de Normalización, I. (2016). GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES QUE EMPLEAN GASOLINA. Quito, Pichincha, Ecuador.

Torres, D. (2019). Evaluacion del rendimiento de las gasolinas súper y ecopais mediante un ciclo típico de conducción para taxis de Azuay. Cuenca, Ecuador .

Velasco, J. G. (2009). *Energías renovables. México DF., México: Reverté.*

VW Programa autodidáctico 230. (2018). Emisiones de gases de escape de Vehiculos . *Informacion de Revista*, 28.

y, C. l.-2.-C. (s.f.). *Normativa Europea Sobre Emisiones.* Obtenido de data.consilium.europa.eu: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996L0044&from=EN

Anexos

Datos extraídos de pruebas dinámicas según parámetros de medición

Ensayo de determinación de factores de emisiones reales bajo ciclo estandarizado en condiciones controladas en vehículos de más de tres ruedas, en este caso el vehículo especificado con los datos mencionados en la siguiente tabla 9.

Tabla 17

Datos generales vehículo utilitario Changan CS

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO			
Marca	CHANGAN	VIN Chasis / Placa:	LS5A3ABE5KD002863 / PDK3976
Modelo:	CS15 COMFORT AC 1.5 5P 4X2 TM	Versión	N/D
Fabricante	N/D	Kilometraje:	65000
MOTOR (Datos del fabricante)**			
Fabricante	N/D	Modelo/Tipo	N/D
Posición de motor	DELANTERO TRANSVERSAL	No. Motor	JL473QFK3CK507552
No. de cilindros y disposición	4 CILINDROS EN LÍNEA	Cilindrada [cm3]	1480
Maxima Potencia (kw/rpm)	78,3 KW @ 5600 RPM	Máximo Torque (Nm/rpm)	145 Nm @ 4000 RPM
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO
Combustible/Fuente de energía	GASOLINA EXTRA DE 85 OCTANOS	Tipo (NTE INEN 2656)	VEHÍCULO DEPORTIVO UTILITARIO
Subcategoría (NTE INEN 2656)	M_1	Año modelo vehículo	2019
Tonelaje (t)	0,75	País de origen	CHINA POPULAR
TRANSMISIÓN /CAMBIO DE VELOCIDADES			
Tipo	MANUAL	Nro. De marchas	5 + 1 REVERSA
Relación marcha directa	N/D	Neumáticos (dimensiones)	205/50 R17

Los combustibles para relacionar fueron los antes mencionados según su número ROM de menor a mayor según las pruebas dinámicas se toma en cuenta horas de acondicionamiento del motor en la prueba, altura a nivel de mar con (720hpa), realizando tres ciclos de pruebas, a temperatura nominal sierra de 20 a 22 grados centígrados y humedad relativa como se muestra en la siguiente tabla 9.

Tabla 18

Condiciones de vehículo para pruebas dinámicas

Fecha ingreso a laboratorio	19/6/2023	Hora ingreso a laboratorio	16 h 30 min	Ciclo de prueba	ECE + EUDC	Tiempo de acondicionamiento	16 horas/ 6 horas 30 min/ 16 horas 36 min	
Fecha de prueba		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Hora inicial de prueba	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
		20/6/2023	20/6/2023	21/6/2023		08 h 38 min	15 h 29 min	08 h 56 min
Temperatura ambiente °C		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Hora final de prueba	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
		20,6	21,8	21,8		09 h 00	15 h 50 min	09 h 18 min
Humedad Relativa (%)		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Presión Atmosférica (hPa)		732	
		29,2	26,1	32,3				

En la tabla 9 se muestra las condiciones de la prueba de ensayo se realizan en dos días realizando tres pruebas a diferentes horas acondicionando 38 horas en las tres pruebas dinámicas a temperatura, humedad relativa y presión especificada.

Datos de ensayo de Gasolina Súper de 92 octanos

Tabla 19

Valores y fechas de pruebas dinámicas con combustible 92 Octanos

Fecha ingreso a laboratorio	19/6/2023	Hora ingreso a laboratorio	16 h 30 min	Ciclo de prueba	ECE + EUDC	Tiempo de acondicionamiento	6 horas/ 16 horas 21 min/ 6 horas 34 min	
Fecha de prueba		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Hora inicial de prueba	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
		21/6/2023	22/6/2023	22/6/2023		15 h 26 min	08 h 21 min	15 h 34 min
Temperatura ambiente °C		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Hora final de prueba	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
		21,9	23,1	23,8		15 h 47 min	08 h 45 min	15 h 56 min
Humedad Relativa (%)		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Presión Atmosférica (hPa)		732	
		28,6	29,5	25,6				

Nota: Se especifica en la tabla el tipo de prueba a realizar con sus acondicionamientos para dar lectura a las emisiones en ciclos de trabajo del vehículo

Tabla 20

Resultados Prueba dinámica secuencia ensayo combustible Súper 92 Octanos.

RESULTADOS DE EMISIONES - PRUEBA DINÁMICA					
PRUEBAS DINÁMICAS RTE INEN 017 - NTE INEN 2204 (2R) SECUENCIA ENSAYO TIPO 1					
	Parámetros	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	MEDICIÓN 3	PROMEDIO
92 OCTANOS SUPER	CO [g/km]	1,417	1,353	1,391	1,3870
	HC [g/km]	0,056	0,054	0,034	0,0480
	NOx [g/km]	0,167	0,102	0,06	0,1097
	Economía combustible [L/100km]	5,855	5,937	5,572	5,7880

En las pruebas observadas en la tabla 11 se realiza una media aritmética evaluando un solo valor para las emisiones contaminantes con 92 Octanos

Datos de ensayo Gasolina Súper de 95 octanos

Tabla 21

Valores y fechas de pruebas dinámicas con combustible 95 Octanos

Fecha ingreso a laboratorio	16/5/2023	Hora ingreso a laboratorio	15 h 00	Ciclo de prueba	ECE + EUDC	Tiempo de acondicionamiento	15 horas 40 min / 6 horas 30 min / 16 horas	
Fecha de prueba		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Hora inicial de prueba	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
		19/5/2023	19/5/2023	22/5/2023		07 h 40 min	14 h 29 min	08 h 03 min
Temperatura ambiente °C		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Hora final de prueba	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
		22,7	23	24,4		08 h 02 min	14 h 51 min	08 h 25 min
Humedad Relativa (%)		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Presión Atmosférica (hPa)		732	
		32,6	37,6	37,1				

Nota: Se especifica en la tabla el tipo de prueba a realizar con sus acondicionamientos para dar lectura a las emisiones en ciclos de trabajo del vehículo

Tabla 22

Resultados Prueba dinámica secuencia ensayo combustible Súper 95 Octanos.

RESULTADOS DE EMISIONES - PRUEBA DINÁMICA					
PRUEBAS DINÁMICAS RTE INEN 017 - NTE INEN 2204 (2R)					
	SECUENCIA ENSAYO TIPO 1				
	Parámetros	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	MEDICIÓN 3	PROMEDIO
95 OCTAOS SUPER	CO [g/km]	1,879	1,944	1,541	1,7880
	HC [g/km]	0,14	0,101	0,123	0,1213
	NOx [g/km]	0,163	0,124	0,183	0,1567
	Economía combustible [L/100km]	6,095	6,02	6,161	6,0920

En las pruebas observadas en la tabla 13 se realiza una media aritmética evaluando un solo valor para las emisiones contaminantes con 95 Octanos

Comparativa de combustible Súper 92 – 95 Octanos

Se realiza un análisis comparativo sobre diferencias de los datos obtenidos en la prueba dinámica con los dos diferentes octanajes existiendo varias diferencias en las emisiones.

Tabla 23

Comparativa combustibles 92 y 95 octanos

COMPARATIVA DE PRUEBAS DINAMICAS			PORCENTAJES DE DIFERENCIA	EMISIONES
	PROMEDIO DE TRES PRUEBAS			
COMBUSTIBLE	92 OCTANOS SUPER	95 OCTANOS SUPER		
CO [g/km]	1,387	1,788	22,42%	EMISIONES +
HC [g/km]	0,05	0,12	60,43%	EMISIONES +
NOx [g/km]	0,110	0,157	30%	EMISOINES +
Economía combustible [L/100km]	5,788	6,092	4,99%	COMBUSTIBLE +

En el análisis realizado de los combustibles súper el de mayor octanaje de 95 tiene porcentajes mayores en emisiones con un 22% de relación al de 92 octanos, generando más CO en prueba dinámica, de igual manera en HC tenemos hasta 60.43% de emisión diferenciada, con los NOX se mantiene con una diferencia de 30% pero se mantiene en rango con las normas especificadas INEN como se muestra en la tabla 6 en consumo de combustible su diferencia es mínima con un 5% de aumento

Datos de ensayo Gasolina Extra de 85 octanos

Tabla 24

Valores y fechas de pruebas dinámicas con combustible 85 Octanos

Fecha ingreso a laboratorio	19/6/2023	**Hora ingreso a laboratorio**	16 h 30 min	**Ciclo de prueba**	ECE + EUDC	**Tiempo de acondicionamiento**	16 horas/ 6 horas 30 min/ 16 horas 36 min	
Fecha de prueba		**Prueba 1**	**Prueba 2**	**Prueba 3**	**Hora inicial de prueba**	**Prueba 1**	**Prueba 2**	**Prueba 3**
		20/6/2023	20/6/2023	21/6/2023		08 h 38 min	15 h 29 min	08 h 56 min
Temperatura ambiente °C		**Prueba 1**	**Prueba 2**	**Prueba 3**	**Hora final de prueba**	**Prueba 1**	**Prueba 2**	**Prueba 3**
		20,6	21,8	21,8		09 h 00	15 h 50 min	09 h 18 min
Humedad Relativa (%)		**Prueba 1**	**Prueba 2**	**Prueba 3**	**Presión Atmosférica (hPa)**		732	
		29,2	26,1	32,3				

RESULTADOS DE EMISIONES - PRUEBA DINÁMICA						
Parámetros	PRUEBAS DINÁMICAS RTE INEN 017 - NTE INEN 2204 (2R)					
	SECUENCIA ENSAYO TIPO 1			REGLA DE DECISIÓN		
	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	MEDICIÓN 3	CONCESIÓN 1	CONCESIÓN 2	CONCESIÓN 3
CO [g/km]	1,473	1,380	1,198	N/A	N/A	N/A
HC [g/km]	0,115	0,085	0,082	N/A	N/A	N/A
NOx [g/km]	0,366	0,267	0,229	N/A	N/A	N/A
Economía combustible [L/100km]	5,942	5,850	5,873	N/A	N/A	N/A

Tabla 25

Resultados Prueba dinámica secuencia ensayo combustible Extra-85 Octanos

RESULTADOS DE EMISIONES - PRUEBA DINÁMICA					
PRUEBAS DINÁMICAS RTE INEN 017 - NTE INEN 2204 (2R)					
	Parámetros	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	MEDICIÓN 3	PROMEDIO
85 OCTANOS EXTRA	CO [g/km]	1,473	1,38	1,198	1,3503
	HC [g/km]	0,115	0,085	0,082	0,0940
	NOx [g/km]	0,366	0,267	0,229	0,2873
	Economía combustible [L/100km]	5,942	5,85	5,873	5,8883

Datos de ensayo Gasolina Extra de 87 octanos

Tabla 26

Valores y fechas de pruebas dinámicas con combustible 87 Octanos

Fecha Ingreso a laboratorio	16/5/2023	Hora ingreso a laboratorio	15 h 00	Ciclo de prueba	ECE + EUDC	Tiempo de acondicionamiento	20 horas/ 11 horas 40 minutos / 6 horas 20 min
Fecha de prueba		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Hora inicial de prueba	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
		17/5/2023	17/5/2023	18/5/2023		11 h 15 min	17 h 27 min	07 h 56 min
Temperatura ambiente °C		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Hora final de prueba	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
		22,7	26,8	22,9		11 h 37 min	18 h 08 min	08 h 18 min
Humedad Relativa (%)		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Presión Atmosférica (hPa)		732	
		37,5	34,3	31,4				

RESULTADOS DE EMISIONES - PRUEBA DINÁMICA						
Parámetros	PRUEBAS DINÁMICAS RTE INEN 017 - NTE INEN 2204 (2R)					
	SECUENCIA ENSAYO TIPO 1			REGLA DE DECISIÓN		
	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	MEDICIÓN 3	CONCESIÓN 1	CONCESIÓN 2	CONCESIÓN 3
CO [g/km]	0,534	0,920	0,410	N/A	N/A	N/A
HC [g/km]	0,049	0,104	0,080	N/A	N/A	N/A
NOx [g/km]	0,326	0,188	1,482	N/A	N/A	N/A
Economía combustible [L/100km]	5,909	5,989	6,028	N/A	N/A	N/A

Tabla 27

Resultados Prueba dinámica secuencia ensayo combustible Extra-87 Octanos

RESULTADOS DE EMISIONES - PRUEBA DINÁMICA					
PRUEBAS DINÁMICAS RTE INEN 017 - NTE INEN 2204 (2R) SECUENCIA ENSAYO TIPO 1					
	Parámetros	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	MEDICIÓN 3	PROMEDIO
87 OCTAOS EXTRA	CO [g/km]	0,534	0,92	0,41	0,6213
	HC [g/km]	0,049	0,104	0,08	0,0777
	NOx [g/km]	0,326	0,188	1,482	0,6653
	Economía combustible [L/100km]	5,909	5,989	6,028	5,9753

Comparativa de combustible Extra

Tabla 28

Comparativa entre combustibles extra de octanaje 85 y 87

COMPARATIVA DE PRUEBAS DINAMICAS			PORCENTAJES DE DIFERENCIA	EMISIONES
	PROMEDIO DE TRES PRUEBAS			
COMBUSTIBLE	85 EXTRA	87 EXTRA		
CO [g/km]	1,350	0,6213	53,98%	EMISIONES -
HC [g/km]	0,04	0,08	48,51%	EMISIONES +
NOx [g/km]	0,287	0,665	57%	EMISIONES +
Economía combustible [L/100km]	5,888	5,9753	1,40%	COMBUSTIBLE +

En el análisis realizado de los combustibles extra existe una gran diferencia del 59.98% en reducción del CO mejorando el consumo de combustible y la quema de gases, mientras en HC se eleva un 48.51%, y en NOx supera los parámetros de la normativa INEN (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016) según la tabla 6 los limites en las pruebas dinámicas de NOx sobrepasa lo máximo requerido, y en consumo de combustible no existe gran diferencia entre estos dos octanajes ya que es una diferencia de 1.40%.

Comparativa de Combustible Súper 95- 92 y Extra-85 – 87

Esta comparativa se realiza a especificaciones nominales al mismo vehículo de sistema de inyección GDI determinado un aumento de CO en combustible SUPER y una disminución en combustible Extra; En hidrocarburos HC los dos combustibles con los diferentes octanajes se comportan igual aumentando las emisiones según los parámetros máximos que son en CO 2.3 g/km, HC 0.2 g/km y NOX 0.15 g/km.

Tabla 29

Comparativa de los 4 diferentes octanajes de combustible

COMPARATIVA DE PRUEBAS DINAMICAS			PORCENTAJES DE DIFERENCIA	EMISIONES
	PROMEDIO DE TRES PRUEBAS			
COMBUSTIBE	92 OCTANOS SUPER	95 OCTANOS SUPER		
CO [g/km]	1,387	1,788	22,42%	EMISIONES +
HC [g/km]	0,05	0,12	60,43%	EMISIONES +
NOx [g/km]	0,110	0,157	30%	EMISOINES +
Economía combustible [L/100km]	5,788	6,092	4,99%	COMBUSTIBLE +

COMPARATIVA DE PRUEBAS DINAMICAS			PORCENTAJES DE DIFERENCIA	EMISIONES
	PROMEDIO DE TRES PRUEBAS			
COMBUSTIBLE	85 EXTRA	87 EXTRA		
CO [g/km]	1,350	0,6213	53,98%	EMISIONES -
HC [g/km]	0,04	0,08	48,51%	EMISIONES +
NOx [g/km]	0,287	0,665	57%	EMISIONES +
Economía combustible [L/100km]	5,888	5,9753	1,40%	COMBUSTIBLE +

En la tabla 20 se muestra la comparativa de los 4 diferentes tipos de octanajes a un mismo vehículo y los parámetros y rangos especificados en las pruebas dinámicas para su correcto análisis

Tabla 30

Comparativa de los 85 a 92 Octanos

COMPARATIVA DE PRUEBAS DINAMICAS			PORCENTAJES DE DIFERENCIA	EMISIONES
	PROMEDIO DE TRES PRUEBAS			
COMBUSTIBLE	85 EXTRA	92 OCTANOS SUPER		
CO [g/km]	1,350	1,387	2,64%	EMISIONES +
HC [g/km]	0,04	0,05	16,66%	EMISIONES +
NOx [g/km]	0,287	0,110	62%	EMISIONES -
Economía combustible [L/100km]	5,888	5,788	1,73%	COMBUSTIBLE -

En la tabla 21 la diferencia en emisiones es mínima en CO dando un porcentaje de 2.64% en diferencia y HC con 16.66%

Tabla 31

Comparativa de los 87 a 95 Octanos

COMPARATIVA DE PRUEBAS DINAMICAS			PORCENTAJES DE DIFERENCIA	EMISIONES
	PROMEDIO DE TRES PRUEBAS			
COMBUSTIBLE	87 EXTRA	95 OCTANOS SUPER		
CO [g/km]	0,6213	1,788	65,25%	EMISIONES +
HC [g/km]	0,08	0,12	35,96%	EMISIONES +
NOx [g/km]	0,665	0,157	76%	EMISIONES -
Economía combustible [L/100km]	5,9753	6,092	1,91%	COMBUSTIBLE +

En la tabla 22 la diferencia en emisiones es mayor la variación en CO con 65.25% y HC con 35.96 la comparación, pero hay una diferencia en utilizar combustible de mayor octanaje en los NOx disminuye en ambos casos.