



## **ING. AUTOMOTRIZ**

**Trabajo integración Curricular previa a la  
obtención del título de Ingeniería en Mecánica  
Automotriz**

**AUTORES:**

Nicolas Adrián Herrera Intriago  
George Jesús García Rada

**TUTOR:**

Ing. Juan Carlos Rubio Terán,  
MBA

**ANÁLISIS DE LA HUELLA DE CARBONO EMITIDA POR  
EL VEHICULO EN BASE A LAS MEDIDAS FISICAS DEL  
NEUMATICO.**



## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

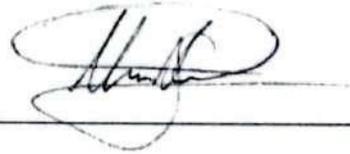
Nosotros, **George Jesús García Rada** y **Nicolás Adrian Herrera Intriago**, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



---

**George Jesús García Rada**



---

**Nicolás Adrian Herrera Intriago**

### APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Juan Carlos Rubio Terán, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



---

Firma profesor

## **DEDICATORIA**

Querida mamita Rosita Inés Franco Garcés,

Aunque no esté aquí para compartir conmigo el momento más emocionante de mi vida, mi graduación, quiero que sepa cuánto me hubiera gustado que estuviera a mi lado. Su amor y apoyo han sido una constante en mi vida.

En este momento, cuando estoy tan cerca de alcanzar uno de mis objetivos más importantes, me siento orgulloso de ser su nieto y de haber tenido una abuelita como usted. Su legado de amor, dedicación y perseverancia me han inspirado a trabajar duro y a no rendirme ante los obstáculos.

Aunque no pueda estar aquí para celebrar conmigo, sé que estás conmigo en espíritu. Su amor y apoyo están siempre presentes en mi corazón, y eso me da la fuerza para seguir adelante.

Gracias por todo, mamita. La amo y siempre te recordaré en este momento tan especial. Con todo mi amor,

**Nicolás Adrián Herrera Intriago**

## **DEDICATORIA**

Con profunda emoción y sincero agradecimiento, dedico esta tesis a mis pilares fundamentales. A mis padres, George García y Teresa Rada por su amor incondicional, su infinita paciencia y su apoyo inquebrantable a lo largo de mi camino. Gracias por inculcarme valores de perseverancia, responsabilidad y la búsqueda constante del conocimiento. Su guía y aliento han sido la luz que me ha iluminado en los momentos más desafiantes. A mis hermanos por su compañerismo, su comprensión y su alegría contagiosa. Gracias por compartir conmigo momentos inolvidables y por ser fuente de inspiración constante.

A mis amigos por su amistad sincera, por su apoyo incondicional y por sus palabras de aliento en los momentos difíciles. Gracias por ser parte de mi vida y por hacer de este camino una experiencia llena de risas y aprendizaje.

De manera especial, a mi tía Monserrate García por ser mi ángel guardián durante mi estancia fuera de casa. Gracias por su apoyo incondicional, su infinita paciencia y por su amor maternal.

A todos ustedes gracias por ser parte de mi historia y por contribuir a mi crecimiento personal y profesional. Esta tesis es un reflejo del esfuerzo y la dedicación de todos aquellos que han creído en mí.

**George Jesús García Rada**

## **AGRADECIMIENTO**

Desde el fondo de mi corazón quiero agradecer a mi familia, quienes me han acompañado en este camino que está llegando a su final. Primero quiero agradecer a mi madre Rory Intriago, usted me dio todo para poder llegar hasta donde estoy y se lo voy a agradecer toda mi vida, tenga por seguro que todo lo que haga va a ser para que usted se sienta orgullosa de mí. Quiero agradecer a mi padre German Herrera, gracias a ti descubrí esta hermosa pasión por los carros, gracias por haber hecho que desde niño mi sueño sea con un carro. Agradezco a mis hermanos Baltazar Intriago- Manuel Intriago y Emilio Herrera, todos ustedes me han formado como persona, gracias por ser buenos hermanos mayores. Por último, quiero agradecer a Brenda Hidalgo, gracias por apoyarme en todo momento y no dejarme solo, gracias por recordarme por que me he esforzado y cuál es mi objetivo. Gracias a todos ustedes por estar conmigo de manera incondicional, los amo con todo mi corazón.

**Nicolás Adrián Herrera Intriago**

## **AGRADECIMIENTO**

El culminar esta carrera representa un hito significativo en mi vida, un sueño hecho realidad que no hubiera sido posible sin el apoyo y la colaboración de personas excepcionales a quienes quiero expresar mi más profundo agradecimiento. A mis padres, George García y Teresa Rada, gracias por ser los pilares fundamentales de mi existencia. Agradezco profundamente el haberme brindado la oportunidad de estudiar, permitiéndome alcanzar mis sueños y expandir mis horizontes.

A mi tía Monserrate García, le agradezco de manera especial, pues durante mi estancia fuera de casa se convirtió en mi ángel guardián.

Finalmente, agradezco al Ing. Juan Carlos Rubio, mi tutor de tesis, por su invaluable guía y mentoría durante todo el proceso de investigación. Su conocimiento, experiencia y paciencia me permitieron navegar con éxito el complejo mundo de la investigación científica. Sus consejos y correcciones oportunas fueron fundamentales para refinar mi trabajo y hacerlo merecedor de esta distinción.

**George Jesús García Rada**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
INDICE DE CONTENIDO .....	vi
RESUMEN .....	8
ABSTRACT .....	9
INTRODUCCIÓN .....	10
MARCO TEÓRICO .....	12
MATERIALES Y MÉTODOS .....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	22
CONCLUSIONES .....	32
REFERENCIAS .....	33
ANEXOS .....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Tendencias de la temperatura mundial</i> .....	12
<b>Figura 2.</b> <i>Marcas más vendidas en el Ecuador</i> .....	17
<b>Figura 3.</b> <i>Categorías más vendidas en el Ecuador</i> .....	18
<b>Figura 4.</b> <i>Combustibles más usados en el país</i> .....	20
<b>Figura 5.</b> <i>Variación de emisiones respecto al diámetro</i> .....	29
<b>Figura 6.</b> <i>Variación de emisiones de la primera prueba respecto a la carga</i> .....	30
<b>Figura 7.</b> <i>Variación de emisiones de la segunda prueba respecto a la carga</i> .....	30
<b>Figura 8.</b> <i>Variación de emisiones de la tercera respecto a la carga</i> .....	31

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Emisiones de CO<sub>2</sub> por sector en Ecuador</i> .....	14
<b>Tabla 2.</b> <i>Diferencias entre el ciclo de conducción NEDC y WLTP</i> .....	16
<b>Tabla 3.</b> <i>Ficha técnica del Suzuki Grand Vitara 5p 2005</i> .....	18
<b>Tabla 4.</b> <i>Variación en porcentaje del diámetro respecto a los neumático</i> .....	20
<b>Tabla 5.</b> <i>Ficha técnica gasolina extra-85 octanos</i> .....	21
<b>Tabla 6.</b> <i>Ficha técnica del analizador de gases “OPABOX Autopower”</i> .....	22
<b>Tabla 7.</b> <i>Resultado del análisis de las pruebas de gases</i> .....	25
<b>Tabla 8.</b> <i>Resultados de las tres pruebas variando el diámetro del neumático</i> .....	25
<b>Tabla 9.</b> <i>Resultados de la primera prueba de ruta y sus tres escenarios</i> .....	26
<b>Tabla 10.</b> <i>Resultados de la segunda prueba de ruta</i> .....	27
<b>Tabla 11.</b> <i>Resultados de la tercera prueba de ruta</i> .....	28

## ÍNDICE DE FÓRMULAS

<b>Formula 1.</b> <i>Factor de emisión</i> .....	24
--	----

## **ANÁLISIS DE LA HUELLA DE CARBONO EMITIDA POR EL VEHICULO EN BASE A LAS MEDIDAS FISICAS DEL NEUMATICO.**

*Ing. Juan Carlos Rubio Terán. MBA, George Jesús García Rada, Nicolás Adrián Herrera Intriago  
Pregrado Ingeniería Automotriz - Universidad, Titulo Obtenido, jrubio@uide.edu.ec, Quito – Ecuador  
Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, gegarciara@uide.edu.ec, Quito –  
Ecuador  
Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, niherrera@uide.edu.ec, Quito–  
Ecuador*

### **RESUMEN**

**Introducción:** En un contexto de crisis climática, la medición de la huella de carbono del sector transporte en Ecuador es crucial, especialmente considerando el crecimiento del parque automotor y las emisiones asociadas. Los neumáticos, como elemento clave, influyen en la huella de carbono debido a su diseño, fabricación, uso y disposición final. Esta investigación analiza la relación del INCREMENTO del consumo de combustible entre las medidas físicas de los neumáticos y la huella de carbono emitida por un vehículo. Se busca comprender el impacto ambiental de las decisiones relacionadas con la selección y uso de neumáticos, tomando en cuenta las especificaciones y estándares establecidos por el fabricante. **Metodología:** El método de estudio es comparativo cuantitativo, teniendo como objetivo medir la diferencia que existe en la emisión de Co<sub>2</sub> de un vehículo en relación con el diámetro del neumático. **Resultados:** El diámetro del neumático incide en la huella de carbono, así como también lo hace la carga que se pone al vehículo. La huella de carbono fue de 12.643 g/km, 28.44 g/km y 36.64 g/km para el neumático 225/60R16, 235/65R16 y 255/70R16, respectivamente, con una carga de dos pasajeros. **Conclusión:** El tamaño de los neumáticos tiene una relación directa con la huella de carbono, al igual que el incremento de la carga. Es importante considerar el diámetro del neumático, la presión y el tipo al seleccionar neumáticos para reducir el impacto ambiental.

**Palabras clave:** Huella de carbono, Neumáticos, Diámetro, Carga del vehículo, Emisión de CO<sub>2</sub>.

## ABSTRACT

**Introduction:** In the context of the climate crisis, measuring the carbon footprint of the transportation sector in Ecuador is crucial, especially considering the growth of the vehicle fleet and the associated emissions. Tires, as a key element, influence the carbon footprint due to their design, manufacturing, use, and final disposal. This research analyzes the relationship between the increase in fuel consumption and the physical dimensions of tires and the carbon footprint emitted by a vehicle. It aims to understand the environmental impact of decisions related to tire selection and use, taking into account the specifications and standards established by the manufacturer.

**Methodology:** The study method is a comparative quantitative approach, aiming to measure the difference in CO<sub>2</sub> emissions of a vehicle in relation to the tire diameter.

**Results:** The diameter of the tire affects the carbon footprint, as does the load placed on the vehicle. The carbon footprint was 12.643 g/km, 28.44 g/km, and 36.64 g/km for tires 225/60R16, 235/65R16, and 255/70R16, respectively, with a load of two passengers.

**Conclusion:** The size of the tires has a direct relationship with the carbon footprint, as does the increase in load. It is important to consider tire diameter, pressure, and type when selecting tires to reduce environmental impact.

**Keywords:** Carbon footprint, Tires, Diameter, Vehicle load, CO<sub>2</sub> emissions.

## INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, marcado por la crisis climática, la medición de la huella de carbono se ha convertido en una herramienta fundamental para evaluar el impacto ambiental de las actividades humanas. En Ecuador, país altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes del sector transporte resulta de especial relevancia. El parque automotor ecuatoriano ha experimentado un crecimiento del 100 % en la última década (AEADE, 2024), lo que ha conllevado un aumento significativo de las emisiones de GEI asociadas a la combustión de combustibles fósiles. En este escenario, los neumáticos se toman como un elemento clave a considerar, dado que su diseño, fabricación, uso y disposición final influyen directamente en la huella de carbono de un vehículo, pues al cambiar variables como el diámetro de la llanta, se aumenta la energía necesaria para mover una mayor masa (Li et al., 2016). Esto se puede ver con la fórmula  $W=F*D$ , donde el trabajo es el resultado entre la fuerza (F) y la distancia (D), dando como resultado que al aumentar la distancia “diámetro” aumentaremos el trabajo que se da por el par entregado por el motor.

El consumo de combustible es un factor clave en la eficiencia de los vehículos de transporte. Los fabricantes de automóviles buscan mejorar esta eficiencia mediante el análisis del consumo de combustible en función de las medidas físicas de los neumáticos. El diseño y características de los neumáticos, como el tamaño, la presión, el ancho y el diámetro, afectan directamente la resistencia al rodaje, la tracción y la estabilidad del vehículo, influyendo en su rendimiento energético. Para mejorar la eficiencia energética, es esencial medir y analizar estas características físicas utilizando herramientas y técnicas adecuadas. Para mejorar la eficiencia energética, es esencial medir y analizar estas características físicas utilizando herramientas y técnicas adecuadas (Messineo et al., 2017). En un estudio realizado por Muñoz et al. (2014) evaluaron la huella de carbono de neumáticos para vehículos ligeros, considerando diferentes tipos de neumáticos y escenarios de conducción. }

El uso adecuado de neumáticos permite un buen desempeño del vehículo de acuerdo con las características constructivas y las necesidades que va a suplir, para que el automotor supere sus límites de funcionalidad los propietarios cambias sus condiciones constructivas para logra un mejor desempeño y es por ello que en los autos

de fábrica 4x4 se cambia suspensión y diámetro de rodadura para caminos fuera de ciudad y con ello sin pensar cambian las condiciones de consumo y emisiones.

La investigación determina en su primera fase cómo afecta el radio de rodadura y la superficie de contacto de los neumáticos en la eficiencia de combustible del vehículo mediante pruebas de rendimiento, para ello utiliza diferentes juegos de llantas. Se buscamos establecer los parámetros que ocurren al modificar la medida de neumáticos basados en los valores de autos similares que ya los utilizan y que no son los montados por el fabricante del vehículo; analizar las variaciones en la huella de carbono producto de la modificación en los neumáticos, considerando la variable del consumo de combustible factor preponderante en la generación de la huella de carbono, además, permitiendo determinar las medidas óptimas de acuerdo al estudio que deben tener las ruedas para lograr la mejor relación posible entre consumo y emisiones.

De las alternativas descritas por el estudio se determina la relación entre las medidas físicas de los neumáticos y la huella de carbono emitida por un vehículo por la variación del consumo. Siendo así que esta investigación pretende abordar una relación diámetro y ancho de neumático con el consumo de combustible, proporcionando evidencia para comprender el impacto ambiental de las decisiones relacionadas con la selección y uso de neumáticos. El neumático es un elemento clave en la eficiencia energética de un vehículo. Su diseño, fabricación, uso y disposición final influyen directamente en la huella de carbono de este (Firestone, 1989). Las especificaciones de los neumáticos proporcionadas por el fabricante no son solo recomendaciones, sino que responden a criterios técnicos y de seguridad cuidadosamente establecidos por las distintas pruebas en ruta. La aplicación incorrecta de los neumáticos con respecto a los estándares que propone el fabricante ya sea por tamaño, índice de velocidad o carga, puede generar un aumento significativo en el consumo de combustible y, por consiguiente, en la huella de carbono del vehículo.

Para ello, en este estudio se realizó una investigación cuantitativa comparativa entre el diámetro de neumático que utiliza un vehículo y la huella de carbono por kilómetro recorrido que este genera. La comparación de diferentes medidas de neumáticos permite determinar la opción óptima en términos de eficiencia energética y

reducción de emisiones (García y Vergara, 2022). De esa manera determinando una medida de neumático óptima, comparando las variaciones en la contaminación.

## MARCO TEÓRICO

### ¿Qué es el cambio climático?

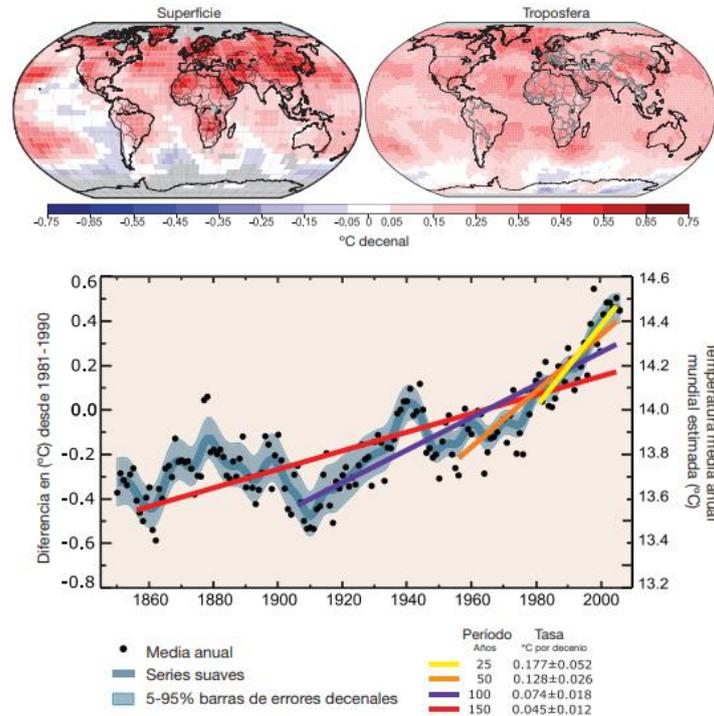
El cambio climático es una alteración a largo plazo en la temperatura y los patrones climáticos típicos de un lugar.

- **Padrón (2023) señala:** "La preocupación sobre el cambio climático es global y ha existido durante décadas; sin embargo, solo en los últimos años, empresas privadas, públicas e instituciones de educación superior han comenzado a tomar acciones" (p.2).

Este cambio se observa en todo el planeta, desde las regiones polares hasta los trópicos, manifestándose de diversas maneras. La temperatura promedio de la Tierra ha aumentado aproximadamente 1°C desde la era preindustrial. En las últimas dos décadas, la Tierra ha vivido uno de los períodos más cálidos de su historia, con temperaturas medias sin precedentes en los últimos 130.000 años (IPCC, 2021).

**Figura 1**

*Tendencias de la temperatura mundial.*



*Nota: La figura presenta un análisis detallado del aumento de la temperatura global durante el período de 1979 a 2005. Los gráficos superiores muestran las tendencias lineales de la temperatura en la superficie (izquierda) y en la troposfera (derecha), evidenciando un calentamiento constante en ambas capas. Las zonas grises en el gráfico de la superficie indican áreas con datos incompletos. El gráfico inferior complementa el análisis con la temperatura media anual global (puntos negros) y sus tendencias lineales para diferentes períodos: 25 años (amarillo), 50 años (naranja), 100 años (morado) y 150 años (rojo). La curva azul suave representa las variaciones por decenio (ver Apéndice 3.A), con un margen de error del 90% por decenio mostrado como una banda azul clara. El texto al final resume el aumento total de la temperatura desde la era preindustrial hasta el período de 2001 a 2005, con un valor de  $0,76^{\circ}\text{C} \pm 0,19^{\circ}\text{C}$ . En conjunto, la figura proporciona una evidencia clara del calentamiento global y sus tendencias a lo largo del tiempo. Fuente, (IPCC, 2022)*

### **Gases de efecto invernadero (GEI) y huella de carbono**

La principal causa del cambio climático es la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

- **Checa (2020) explica:** "Los combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón, son quemados para diversos fines, desde la generación de energía y el transporte

hasta la fabricación industrial. Esta combustión libera gases de efecto invernadero que contaminan el aire y contribuyen al cambio climático" (p.3).

Estos gases actúan como una manta que atrapa el calor del sol, provocando el calentamiento global. El CO<sub>2</sub>, el GEI más abundante, proviene de la combustión de estos recursos energéticos utilizados en sectores como generación de electricidad, transporte, industria y calefacción (IPCC, 2022).

Otros GEI importantes son metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). El metano se genera por la agricultura, ganadería y descomposición de residuos orgánicos, mientras que el óxido nitroso proviene de fertilizantes nitrogenados y algunos procesos industriales (IPCC, 2022).

### **Contribución del sector automotriz al calentamiento global**

Los vehículos con motores de combustión interna también contribuyen significativamente al calentamiento global. Aunque el CO<sub>2</sub> es el principal GEI emitido por estos vehículos, también liberan contaminantes nocivos como material particulado y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), que afectan la salud humana y el medio ambiente (EEA, 2021).

Las comunidades cerca de zonas con alta concentración de tráfico vehicular, como áreas urbanas densamente pobladas, son más propensas a sufrir enfermedades respiratorias, cardiovasculares y otros problemas de salud (OMS, 2018).

La huella de carbono de los vehículos representa un porcentaje considerable de la producción de GEI, especialmente en países con altos niveles de motorización. En Ecuador, por ejemplo, las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte aumentaron un 78,70% entre 1990 y 2006 (Zabala et al., 2023).

#### **Tabla 1**

*Emisiones de CO<sub>2</sub> por sector en Ecuador*

<b>Sector</b>	<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> (Mtoneladas)</b>	<b>% del total</b>
Energía	12,5	44,20%
Transporte	8,9	31,50%
Industria	3,5	12,40%
Agricultura	2,2	7,80%
Otros	1,9	6,60%

*Nota: Tabla que describe el porcentaje de CO2 emitido por sector en Ecuador, donde notamos que los sistemas de transporte ocupan el segundo lugar como mayores productores de CO2. Fuente, (Zabala et al., 2023).*

Los neumáticos, una relación estrecha con la producción de huella de carbono

El diámetro del neumático influye en el consumo de combustible y las emisiones de CO2. Aunque el coeficiente de rodadura es un factor importante, el mayor tamaño del neumático aumenta su masa y la energía requerida para su aceleración y desaceleración, incrementando el consumo de combustible (Gómez et al., 2012).

La tendencia de modificar el diámetro de los neumáticos por motivos estéticos puede aumentar la contaminación y la huella de carbono. La recomendación del fabricante sobre el tamaño de los neumáticos busca garantizar el rendimiento óptimo, la seguridad y la eficiencia del vehículo (Navarro et al., 2017).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Ruta de pruebas:**

La ruta seleccionada para el análisis de la huella de carbono en el Distrito Metropolitano de Quito comienza en la gasolinera Terpel del puente 9 valle de los chillos y recorre la Av. General Rumiñahui y la Av. Simón Bolívar antes de regresar por la Ruta Viva. El recorrido total es de 46 km y tiene una duración aproximada de 60 minutos. La ruta permite cuantificar la diferencia de consumos a causa de la diferencia diámetro y ancho de neumáticos que serán tabulados para el cálculo de la huella de carbono.

### Detalles de la ruta

Inicio: Gasolinera Terpel del puente 9 valle de los chillos

Vía: Av. General Rumiñahui

Vía: Av. Simón Bolívar

Retorno: Ruta Viva

Final: Gasolinera Terpel del puente 9 valle de los chillos

### Consideraciones para el análisis

La ruta seleccionada está pensada para que el análisis de la huella de carbono se ajuste las siguientes condiciones:

Recorrido urbano: La ruta atraviesa zonas urbanas con tráfico moderado, lo que permite evaluar el consumo de combustible en condiciones de conducción típicas de la ciudad.

Variedad de vías: La ruta incluye diferentes tipos de vías, como avenidas y autopistas, lo que permite evaluar el consumo de combustible en diferentes escenarios de conducción.

Distancia predeterminada: La distancia del recorrido es suficiente para obtener datos representativos para el análisis acogiéndose a las normas del ciclo de manejo WLTP.

### **Procedimiento Mundial Armonizado para Ensayos de Vehículos Ligeros (WLTP)**

Para realizar el estudio, es necesario contar con bases teóricas ya establecidas para que la investigación se ajuste a la realidad lo mejor posible. El ciclo WLTP está diseñado para reflejar de manera más realista las condiciones de conducción actuales en Europa. Este ciclo incluye una mayor variedad de velocidades, paradas y arranques, lo que permite obtener una estimación más precisa del consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con ciclos de manejo anteriores como el NEDC (New European Driving Cycle). Por ello, el presente artículo se desarrolla según el ciclo de conducción WLTP. Investigadores exploran el consumo de combustible desde una perspectiva energética, obteniendo resultados prometedores. Un ejemplo notable es el estudio de Mårchese y Golato (2011), donde se estima el consumo de combustible de automóviles y camiones bajo diversas condiciones de carga (Zambrano et al., 2017).

El WLTP representa un nuevo estándar global para medir el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> en vehículos ligeros. Entró en vigor en la Unión Europea en septiembre de 2018, reemplazando al antiguo ciclo NEDC (Nuevo Ciclo Europeo de Conducción) (Donate et al., 2020). Este estándar busca ofrecer cifras más cercanas a la conducción real, con pruebas más exigentes que se traducen en valores de consumo y emisiones generalmente más altos que los obtenidos bajo el ciclo NEDC. Entre sus principales características se incluyen (Riera et al., 2019).

- **Datos técnicos relevantes del ciclo WLTP:**

**Fases del ciclo:** El ciclo WLTP se divide en cuatro fases con diferentes velocidades medias: baja (hasta 56,5 km/h), media (hasta 76,6 km/h), alta (hasta 97,4 km/h) y muy alta (hasta 131,3 km/h).

**Temperaturas de prueba:** Las pruebas se realizan a dos temperaturas ambiente: 23 °C y 14 °C.

**Emisiones medidas:** Además de CO<sub>2</sub>, se miden las emisiones de otros contaminantes como NO<sub>x</sub>, partículas (PM) y monóxido de carbono (CO).

**Tabla 2***Diferencias entre el ciclo de conducción NEDC y WLTP.*

	<b>NEDC</b>	<b>WLTP</b>
<b>Tiempo del ciclo</b>	20 minutos	30 minutos
<b>Distancia del ciclo</b>	11 kilómetros	23,25 kilómetros
<b>Conducción</b>	2 fases: 66% conducción urbana / 34% conducción extraurbana.	4 fases: 52% conducción urbana / 48% conducción extraurbana.
<b>Velocidad media</b>	34 km/h	46,5 km/h
<b>Velocidad máxima</b>	120 km/h	131 km/h
<b>Influencia del equipamiento opcional</b>	No tiene en cuenta las opciones y su impacto en las emisiones reguladas (CO, HC, NOx, Partículas) y el consumo expresado en CO2	Tiene en cuenta las opciones y su impacto en las emisiones reguladas (CO, HC, NOx, Partículas) y el consumo expresado en CO2.
<b>Cambio (caja manual)</b>	Cambios de marchas determinados y fijos	Cambios de marcha determinados en función de las características del vehículo
<b>Temperatura durante el test</b>	Mediciones realizadas a temperaturas entre 20 y 30°C	Mediciones realizadas a 23°C, después a 14° para emisiones de CO2

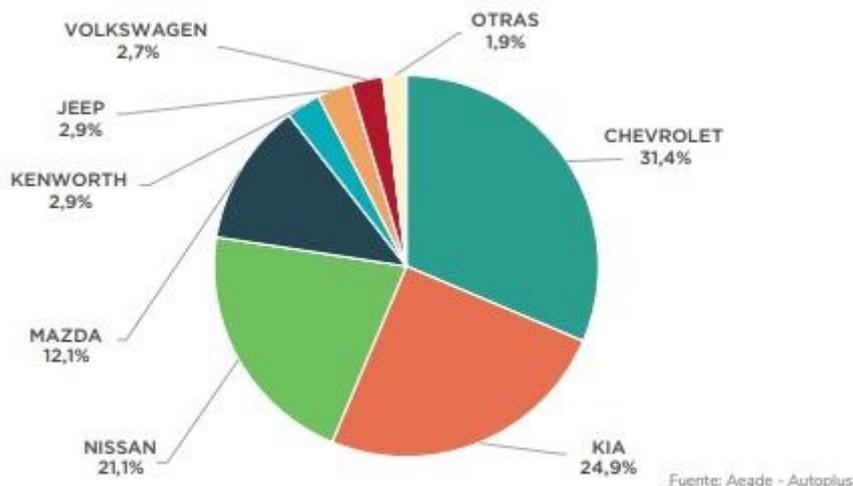
*Nota: Esta tabla es la comparación entre el ciclo NEDC, considerado obsoleto, y el nuevo ciclo WLTP. Fuente, <https://movilidadelectrica.com/diferencias-entre-wltp-y-nedc/>*

### **Vehículo Suzuki Grand Vitara 5p 2.0 JLX-A**

El vehículo seleccionado para este estudio es el Suzuki Grand Vitara cinco puertas, dado que, dentro del mercado ecuatoriano la marca Chevrolet tiene la mayor participación dentro del mercado, así mismo el segmento de vehículos con mayor venta es el tipo Suv. Esto se lo puede ver representado en las siguientes graficas proporcionadas por la AEADE.

### **Figura 2**

### Marcas más vendidas en el Ecuador



Nota: Gráfico que demuestra el porcentaje de marcas más vendidas en el país. Fuente, (AEADE, 2022)

### Figura 3

Categorías más vendidas en el Ecuador.

Venta de vehículos por segmento							
Segmento	May 24	May 23	Ene-May 24	Ene-May 23	Var May/Abr 24	Var May 24/23	Var Ene-May 24/23
SUV	3.822	5.348	23.331	26.765	-0,9 %	-28,5 %	-12,8 %
AUTOMOVIL	2.040	2.659	10.092	14.328	25,5 %	-23,3 %	-29,6 %
CAMIONETA	1.546	1.815	8.965	10.328	12,2 %	-14,8 %	-13,2 %
CAMION	751	847	3.797	4.068	-6,8 %	-11,3 %	-6,7 %
VAN	333	515	2.007	2.165	-20,5 %	-35,3 %	-7,3 %
BUS	52	74	306	427	-32,5 %	-29,7 %	-28,3 %
<b>Total</b>	<b>8.544</b>	<b>11.258</b>	<b>48.498</b>	<b>58.081</b>	<b>4,7 %</b>	<b>-24,1 %</b>	<b>-16,5 %</b>

Nota: Gráfico que demuestra los segmentos más vendidos en el parque automotor ecuatoriano, en donde podemos observar que la categoría SUV es la más vendida en el país. Fuente, (AEADE, 2022).

Este todoterreno es modelo 2005 y cuenta con un motor de 1995 cm<sup>3</sup>, con una potencia máxima de 140 CV a 6000 rpm según su ficha técnica presentada a continuación:

### FICHA TÉCNICA

Tabla 3

---

<b>Motor de combustión</b>	
<b>Propósito</b>	Impulsar el vehículo
<b>Combustible</b>	Gasolina
<b>Potencia máxima</b>	140 CV / 103 KW
<b>Revoluciones potencia máxima</b>	6.000 rpm
<b>Par máximo</b>	183 Nm
<b>Revoluciones par máximo</b>	4.000 rpm
<b>Situación</b>	Delantero longitudinal
<b>Número de cilindros</b>	4
<b>Disposición de los cilindros</b>	En línea
<b>Material del bloque</b>	Aluminio
<b>Material de la culata</b>	Aluminio
<b>Diámetro</b>	84 mm
<b>Carrera</b>	90 mm
<b>Cilindrada</b>	1.995 cm <sup>3</sup>
<hr/>	
<b>Relación de compresión</b>	10,5 a 1
<b>Distribución – Válvulas por cilindro</b>	4
<b>Tipo de distribución</b>	Un árbol de levas en la culata
<b>Alimentación</b>	Inyección directa
<b>Automatismo de parada y arranque del motor (“stop/start”)</b>	No
<b>Velocidad máxima</b>	175 km/h
<b>Aceleración 0-100 km/h</b>	12.5 s
<b>Consumo NEDC extraurbano</b>	7,6 l/100 km
<b>Consumo NEDC urbano</b>	11,6 l/100 km
<b>Consumo NEDC medio</b>	9,1 l/100 km
<b>Emisiones de CO2 NEDC</b>	220 gr/km

---

*Nota: Tabla que describe la ficha técnica del vehículo de prueba. Fuente,*

<https://www.km77.com/coches/suzuki/grand-vitara/2006/5-puertas/jlx-a/grand-vitara-5p-20-jlx-a/datos>

#### 1. Neumáticos

Los neumáticos son fundamentales en el estudio presentado, ya que modifican el diámetro del eje de propulsión, lo que impacta directamente en el rendimiento del

motor. Al cambiar el diámetro de la rueda, se altera el radio de giro, lo que, de acuerdo con la fórmula  $M_o = F \times D$  (momento de torsión igual a fuerza por distancia), genera una disminución o aumento del momento torsionante si se aumenta o disminuye el radio de giro. Este fenómeno se analiza en profundidad en este estudio, explorando la influencia del diámetro de los neumáticos en la entrega de energía a las ruedas motrices y por consiguiente su afectación en el consumo de combustible. Para ello, se tabularon las medidas recomendadas por el fabricante para poder realizar una modificación en la medida de neumáticos. En base a ello se escogió la medida 235/65R16 debido a que presenta la mayor aportación en tema de conducción, comodidad seguridad y economía. Por otra parte. Se tabularon las medidas común mente utilizadas para la realización de actividades off road. Teniendo como resultado que la medida mas optima es 255/70R16.

**Tabla 4**

*Variación en porcentaje del diámetro respecto a los neumáticos*

<b>Neumático</b>	<b>Variación en diámetro (%)</b>	<b>Observaciones</b>
215/70 R16	+2.3%	Mayor altura libre, puede afectar negativamente la estabilidad y el consumo de combustible.
235/65 R16	-1.8%	Mayor ancho, puede mejorar el agarre en curvas, pero también puede aumentar el consumo de combustible.
225/55 R17	-4.5%	Perfil más bajo, mejora el manejo deportivo, pero puede reducir la comodidad y aumentar la susceptibilidad a daños en las llantas.

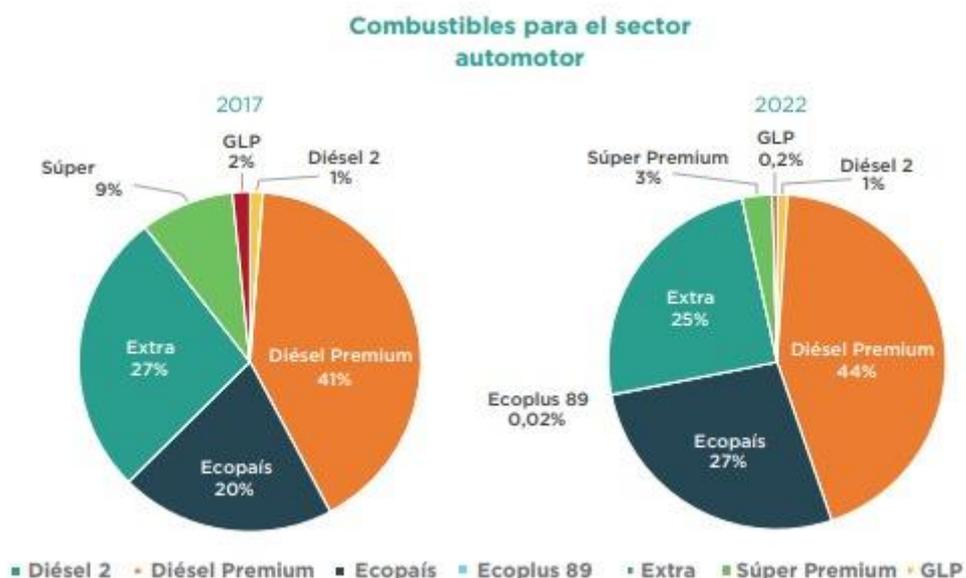
Fuente, <https://www.oponeo.es/herramientas/equivalencias-neumaticos>

### **Combustible.**

En esta investigación se utiliza el combustible extra, que en territorio ecuatoriano esto significa que contamos con 80 – 85 octanos según la norma INEN 1106. El estudio se realiza únicamente con esta especificación de combustible puesto que, en el país, debido a temas económicos este tipo de gasolina tiene un mayor consumo respecto a su disponibilidad en las gasolineras dentro del DMQ.

**Figura 4**

*Combustibles más usados en el país*



*Nota: Gráficos que demuestran la preferencia de los ecuatorianos en cuanto al combustible. Fuente, (AEADE, 2022).*

**Tabla 5**

*Ficha técnica gasolina extra-85 octanos*

<b>Ficha técnica de productos químicos</b>	
Producto específico	Gasolina extra-85 octanos
Nombre comercial	Gasolina extra
Código CPC V.2	33310.01.04
Código CIU 4.0	C1920.01
Código Arancel 2007	2710.11.13.10
Código Arancel 2012	2710.12.13.10

**PROPIEDADES GENERALES**

Descripción	Contienen hidrocarburos de todos los grupos, con temperaturas de ebullición entre los 30 y 205°C, las fracciones componentes de la gasolina se evaporan fácilmente.
Usos:	Esta gasolina ha sido diseñada para utilizarse en motores de combustión interna de encendido por chispa y de alta relación

de compresión (mayor de 9:1) y para la mayoría de los motores en cualquier altitud.

Magnitud	Volúmen
Unidad de medida	Galones
Presentación comercial	Tanques

---

**PROPIEDADES ESPECÍFICAS**

---

Orígen del compuesto	Orgánico
Nombre Químico	N/A
Sinónimo de nombre químico	Gasolina 85 octanos
Estado	Líquido
Densidad	720 g/m <sup>3</sup>

*Nota: Tabla que describe la ficha técnica de la gasolina extra en Ecuador. Fuente, [https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co\\_quimico.php?id=33310.01.04](https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co_quimico.php?id=33310.01.04)*

**Tabla 6**

*Ficha técnica del analizador de gases “OPABOX Autopower”*

---

**PROPIEDADES GENERALES**

---

<b>Dimensiones</b>	460 x 200 x 250 mm
<b>Peso</b>	6,5 Kg (con Trolley e Power Pack 15 kg)
<b>Alimentación</b>	2 baterías Pb de 12 V 7,5 A/h; Absorción Max: 80 W
<b>Salida serial</b>	RS232 estándar
<b>Salida wireless</b>	Bluetooth
<b>Software</b>	ETS o IDC5
<b>Puesta a cero y calibración</b>	electrónica y automática
<b>Tecnología</b>	Diodo Led Verde
<b>Medida cámara</b>	200 mm
<b>Temperatura</b>	82°C

---

*Nota: Tabla que describe la ficha técnica del analizador de gases OPABOX Autopower.*

*Fuente,*

*<https://drive.google.com/file/d/1y0r6MvgMCVutwUcnLLDqagmDGK62Pdt/view>*

### **Metodología:**

El método de estudio es comparativo cuantitativo, teniendo como objetivo medir la diferencia que existe en la emisión de CO<sub>2</sub> de un vehículo con respecto a la utilización de distintos tipos de diámetro del neumático. Los datos recopilados como su tabulación en las pruebas de laboratorio y las pruebas de ruta brindan información que permite que permite hacer la comparación de datos y determinar el incremento de la huella de carbono, la prueba de laboratorio permite obtener los datos para el cálculo del factor de emisión del vehículo a 2850 metros sobre el nivel del mar. Por otra parte, la prueba de ruta permite la recopilación de los diferentes factores de actividad resultantes del cambio de diámetro de neumático, con ello dando paso al cálculo y análisis de la variación que existe en la emisión de CO<sub>2</sub> por parte del vehículo.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se estableció el ciclo de manejo WLTP, obteniendo de la ruta propuesta los datos del consumo de combustible en litros por kilómetro recorrido para obtener el cálculo de CO<sub>2</sub> emitido por el vehículo. La ruta tiene 46 km de distancia recorridos en un tiempo aproximado de 60 minutos cada uno. La ruta consta un tramo urbano y un de carretera, para seguir los lineamientos puestos por la norma. El recorrido urbano consta de una distancia de 22.5 km, cubierto en 45 minutos manteniendo una velocidad promedio de 45 km/h. El recorrido de carretera tuvo una distancia de 23.5 km y una velocidad promedio de 85 km/h, cubierto en 15 minutos. Sumando estos dos recorridos, se obtuvo una distancia total de 46 km.

Se realizaron tres pruebas con diferentes diámetros de neumático, pues para determinar el consumo energético de un vehículo en movimiento, se consideran las fuerzas que resisten su desplazamiento (Zambrano et al., 2017). Cada prueba tuvo tres escenarios en los que se varió la carga del vehículo. Para el primer escenario, se utilizó 150 kg de lastre, aumentando el lastre 80 kg para el segundo escenario y 170 kg para el tercer escenario. Esto se realizó para observar la variación del consumo de combustible con una medida de neumático en relación con la carga. El uso de diferentes lastres en el

análisis de la huella de carbono de un vehículo se realiza por la necesidad de simular diferentes escenarios de carga útil y obtener datos más precisos sobre el impacto de la carga en el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los lastres seleccionados representan el peso promedio de diferentes números de ocupantes y carga, proporcionando una estimación realista del comportamiento del vehículo en condiciones de uso cotidianas.

Se tomó como día de prueba los fines de semana, de esta manera se puede tener una afluencia de tráfico moderada. El horario de esta prueba fue de 9:00 am a 12:15 pm los días sábado y domingo para tener la temperatura lo más cercana a la indicada por la norma. Previo a la realización del experimento, se llevó el vehículo a su temperatura de funcionamiento de motor y también de su catalizador de gases. Se llenó el depósito de combustible con gasolina EXTRA-85 OCTANOS que es una de las dos opciones que se encuentran en Quito. Para obtener los litros consumidos en el recorrido, se repostó el vehículo al máximo y se calculó el combustible consumido.

Para la medición de gases de escape producidos por el vehículo, se realizó una prueba en laboratorio, con la ayuda de un analizador de gases modelo “Opa box”. Para el uso de este equipo de medición de gases, se estableció el método de ensayo dado por la norma NTE INEN 2203:2000 para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa, en condiciones de marcha mínima o "ralentí" (NTE INEN 2203:2000). El resultado del análisis se procesó con las fórmulas:

**Formula 1**

$$Fe_i = 1 + \frac{RCO_2}{Rco + 3RHC + 1} * \frac{mw_i}{MW_{comb}} * \rho_{comb} * c.c$$

Fuente, (Leguísamo, et al. 2020)

Donde:

- FE\_CO<sub>2</sub>: Factor de emisión de CO<sub>2</sub> (g/km) [Representa la cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberado al ambiente por cada megavatio-hora (MWh) de electricidad producida mediante la quema de combustibles fósiles.( UNFCCC, 2020)]

- R\_CO2: Proporción en porcentaje de CO2 respecto a la suma de CO2, CO, HC (monóxido de carbono, hidrocarburos no combustionados)
- R\_CO: Proporción en porcentaje de CO respecto a la suma de CO2, CO, HC
- R\_HC: Proporción en porcentaje de HC respecto a la suma de CO2, CO, HC
- MW\_CO2: Peso molecular equivalente del CO2 (44 g/mol)
- MW\_comb: Peso molecular equivalente del combustible (varía según el tipo de combustible)
- P\_comb: Densidad del combustible en g/m<sup>3</sup> (varía según el tipo de combustible)
- C.C: Consumo de combustible por distancia recorrida en m<sup>3</sup>/km

Se establecieron los factores de emisión (FE<sub>i</sub>) para los contaminantes CO, CO<sub>2</sub>, HC y NO<sub>x</sub>. Estos factores representan la cantidad de cada contaminante emitido por unidad de combustible consumido. Para el cálculo de la huella de carbono, se empleó la fórmula proporcionada por la norma UNE-ISO 14064:

$$HC = \text{FACTOR DE ACTIVIDAD (FA)} * \text{FACTOR DE EMISION (FE)}.$$

#### **Cálculo del factor de emisión:**

Se realizó la medición de gases de acuerdo con la norma INEN 2203. Para obtener resultados precisos en la prueba de emisiones, es necesario preparar el vehículo previamente. Esto incluye acondicionar el motor y calibrar los equipos de medición (Zurita, 2022). Se obtuvieron los siguientes datos de acuerdo con los gases HC, CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

**Tabla 7**

*Resultado del análisis de las pruebas de gases.*

<b>Numero prueba</b>	<b>%CO<sub>2</sub></b>	<b>%CO</b>	<b>%HC</b>
1	6	13.40	7.63
2	6.1	12.9	7.83
3	6	13.61	7.27
<b>Promedio:</b>	6.03	13.30	7.57

*Nota: Resultados del análisis de gases representado en porcentajes de CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> y HC que emana el vehículo de prueba. Fuente, Autores.*

Con los datos necesarios para el reemplazo en la fórmula 1, se pudo calcular el factor de emisión del vehículo a 2800 m utilizando gasolina EXTRA-85 OCTANOS, como se muestra a continuación:

Datos:

$$R_{CO_2} = 6.03\%$$

$$R_{CO} = 13.30\%$$

$$R_{HC} = 7.57\%$$

$$MW_{comb} = 80 \text{ g/mol (para gasolina)}$$

$$P_{comb} = 720 \text{ kg/m}^3 \text{ (para gasolina)}$$

$$C.C = 0.06 \text{ m}^3/\text{km (para un automóvil promedio)}$$

Sustituyendo en la fórmula:

$$FE_{CO_2} = 158,04 \text{ g/km}$$

#### **Cálculo del factor de actividad:**

Tras realizar las tres pruebas en las que se varió el diámetro del neumático estándar por medidas 235/65R16, 255/70R16 teniendo una carga mínima de 150 kg se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 8**

*Resultados de las tres pruebas variando el diámetro del neumático*

<b>Nro. Prueba</b>	<b>Consumo/galones</b>	<b>Consumo de combustible por kilómetro (l/km)</b>	<b>Huella de carbono (g/km)</b>
1	0.5	0.040	6.50
2	1.1	0.089	14.20
3	1.419	0.11	18.32

*Nota: En la tabla 8 se muestra el consumo de combustible en cada prueba, expresado en tres unidades: galones (unidad utilizada para la toma de datos), litros por kilómetro (medición necesaria para el cálculo de la huella de carbono) y gramos de CO2 por kilómetro recorrido (huella de carbono). Fuente, Autores.*

Tras las pruebas de ruta en las que se varió el diámetro del neumático, se obtuvo que usando la medida original se emiten 6.5 g/km. Sin embargo, al aumentar el diámetro cambiando el neumático original por uno de medida 235/65R16, la variación fue de un 54.22% con respecto a la medida original. Por otra parte, la variación que se registró con la medida 255/70R16 fue de un 64.52% con respecto a la original. De esta

manera, se observa la clara relación entre el diámetro del neumático y la huella de carbono emitida por el vehículo. Neumáticos más grandes y pesados incrementan la masa rotacional del vehículo. La masa rotacional se refiere a la masa de los componentes que giran, como las ruedas y los neumáticos. Una mayor masa rotacional requiere más energía para acelerar y mantener la velocidad del vehículo, lo que también contribuye a un mayor consumo de combustible y genera una mayor emisión de CO<sub>2</sub>.

Para la primera prueba, se utilizó la medida de neumático estándar (225/60R16) como base para la comparación de la variación en el consumo de combustible. Se siguió la metodología antes explicada, obteniendo los resultados mostrados a continuación:

**Tabla 9**

*Resultados de la primera prueba de ruta y sus tres escenarios*

<b>Nro. Prueba</b>	<b>Consumo/galones</b>	<b>Consumo de combustible por kilómetro (l/km)</b>	<b>Huella de carbono (g/km)</b>
1	0.5	0.040	6.50
2	0.6	0.049	7.80
3	0.850	0.069	11.05

*Nota: En la tabla 9 se muestra el consumo de combustible en cada escenario, expresado en tres unidades: galones (unidad utilizada para la toma de datos), litros por kilómetro (medición necesaria para el cálculo de la huella de carbono) y gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro recorrido (huella de carbono). Fuente, Autores.*

Utilizando la medida de neumático 225/60R16 como referencia, se calculó la huella de carbono para cada escenario de carga. Con una carga de 150 kg, la huella de carbono fue de 6.50 g/km. Al aumentar la carga 80 kg, la emisión de CO<sub>2</sub> se incrementó un 16.66%, llegando a 7.80 g/km. Finalmente, con un aumento de la carga de 170 kg, la emisión aumentó un 41.17% con respecto a la carga de 150 kg, alcanzando 11.05 g/km. La potencia requerida para mover el vehículo depende de la fuerza necesaria para vencer la resistencia aerodinámica y la fuerza de rozamiento, las cuales aumentan con la carga. Para suministrar esta potencia adicional, el motor debe trabajar a un régimen más

alto, lo que implica un mayor consumo de combustible y, por consiguiente, mayores emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para la segunda prueba se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente; sin embargo, se cambió la medida del neumático por uno de medida 235/65R16, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 10**

*Resultados de la segunda prueba de ruta.*

<b>Nro. Prueba</b>	<b>Consumo/galones</b>	<b>Consumo de combustible por kilómetro (l/km)</b>	<b>Huella de carbono (g/km)</b>
1	1,1	0.089	14.20
2	1,3	0.11	16.78
3	1.5	0.12	19.37

*Nota: En la tabla 10 se muestra el consumo de combustible en cada escenario, expresado en tres unidades: galones (unidad utilizada para la toma de datos), litros por kilómetro (medición necesaria para el cálculo de la huella de carbono) y gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro recorrido (huella de carbono). Fuente, Autores.*

Utilizando la medida de neumático 235/65R16, se calculó la huella de carbono para cada escenario de carga. Con una carga de 150 kg, la huella de carbono fue de 14.20 g/km. Al aumentar la carga a 230 kg, la emisión de CO<sub>2</sub> se incrementó un 15.37%, llegando a 16.78 g/km. Finalmente, con una carga de 400 kg, la emisión aumentó un 26.70% con respecto a la carga de 150 kg, alcanzando 19.37 g/km (Tabla 8). Estos resultados demuestran que el aumento del diámetro del neumático reduce la variación en la huella de carbono al variar la carga del vehículo, con incrementos de hasta el 25% al pasar de una carga de 150 kg a 400 kg utilizando la medida de neumático 235/65R16.

La relación entre la carga del vehículo y el consumo de combustible es directa. A medida que la carga aumenta, el vehículo requiere más energía para desplazarse, lo que incrementa el consumo de combustible y, en consecuencia, las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los resultados sugieren la necesidad de diseñar vehículos que mantengan la eficiencia de combustible bajo diferentes cargas. Esto puede incluir mejoras en la aerodinámica, la resistencia al rodamiento y la eficiencia del motor.

Para la tercera prueba se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente, variando la medida del neumático original por 255/70R16, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 11**

*Resultados de la tercera prueba de ruta.*

<b>No-Prueba</b>	<b>Consumo/galones</b>	<b>Consumo de combustible por kilómetro (l/km)</b>	<b>Huella de carbono (g/km)</b>
1	1.419	0.11	18.32
2	1,650	0.13	21.30
3	1.800	0.14	23.24

*Nota: En la tabla 11 se muestra el consumo de combustible en cada escenario, expresado en tres unidades: galones (unidad utilizada para la toma de datos), litros por kilómetro (medición necesaria para el cálculo de la huella de carbono) y gramos de CO2 por kilómetro recorrido (huella de carbono). Fuente, Autores.*

Utilizando la medida de neumático 255/70R16, se calculó la huella de carbono para cada escenario de carga. Con una carga de dos pasajeros, la huella de carbono fue de 18.32 g/km. Al aumentar la carga a tres pasajeros, la emisión de CO2 se incrementó un 14%, llegando a 21.30 g/km. Finalmente, con una carga de cuatro pasajeros, la emisión aumentó un 21.17% con respecto a la carga de dos pasajeros, alcanzando 23.24 g/km (Tabla 9).

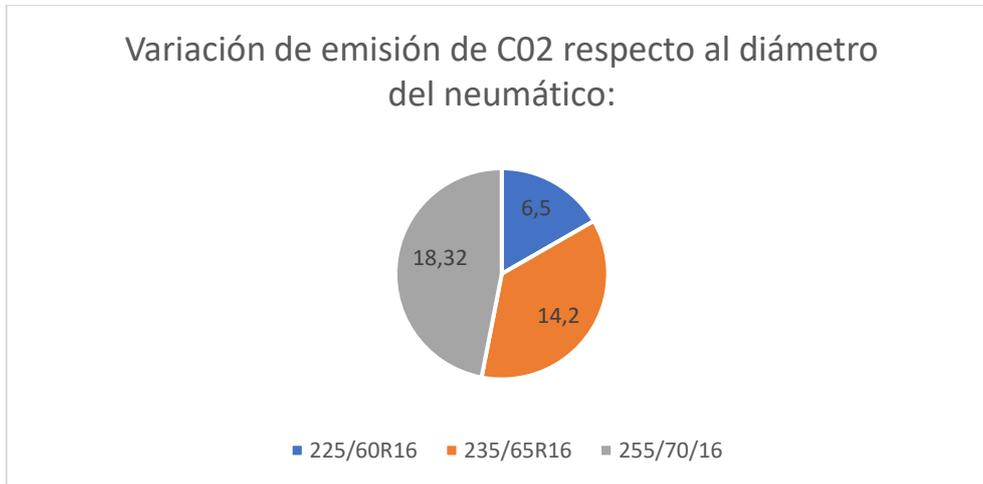
Los vehículos con neumáticos de gran tamaño y cargas pesadas son menos eficientes y generan más emisiones. Esto tiene implicaciones significativas para la sostenibilidad ambiental, particularmente en sectores como el transporte de mercancías. Los resultados pueden influir en las regulaciones gubernamentales y normativas de la industria. Por ejemplo, se pueden establecer límites en el tamaño de los neumáticos y las cargas permitidas para reducir las emisiones de CO2. La industria automotriz puede explorar nuevas tecnologías para mitigar estos efectos. Esto incluye el desarrollo de neumáticos de baja resistencia al rodamiento, vehículos más ligeros y motores más

eficientes que compensen el aumento en la masa rotacional y la resistencia al rodamiento.

Variación respecto al diámetro de neumático:

### Figura 5

*Variación de emisiones respecto al diámetro.*



*Nota: Estos resultados demuestran el grado de variación que obtenemos en la huella de carbono al momento de cambiar los diámetros de los neumáticos de prueba.*

*Fuente, Autores.*

Se puede evidenciar el notorio aumento en la huella de carbono que se obtiene al variar el diámetro del neumático, siendo que este llega a ser 54.22 % mayor en con la medida de mayor diámetro recomendada por el fabricante. Esto demostrando la clara influencia del incremento del diámetro del neumático con la emisión de CO<sub>2</sub> por parte del vehículo. Por otra parte, en casos en los que se utilizan medidas consideradas para off road, se genera un crecimiento de 64.52 % recto a la medida original dada por el fabricante, tenido así una variación de 22.48% respecto a la medida de mayor diámetro recomendada por el fabricante.

## CONCLUSIONES

- La medida adecuada de neumáticos está determinada por el fabricante, siendo que se garanticen las mejores prestaciones y la menor emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Por ello el incremento del diámetro de neumático afecta de manera directa en la emisión de CO<sub>2</sub> por parte del vehículo, evidenciado por el 54.22 % que incremento la emisión de CO<sub>2</sub> con la medida 235/65R16 teniendo como resultado una emisión de 14.22 gCO<sub>2</sub>/Km siendo esta una medida dada

por el fabricante en caso de modificación de neumáticos. En caso de utilizar una medida considera off road aumentando aun mas el diámetro, se incrementa un 54.52 % a la medida original dad por el fabricante.

- Se confirmó que la modificación de los neumáticos estándar del vehículo puede tener un impacto significativo en el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Al utilizar el diámetro original de los neumáticos (225/60R16), se obtuvo un consumo de 0.040/litro/km y 6.5 gCO<sub>2</sub>/km, siendo que al aumentar el diámetro del neumático (235/65R16) se incrementó a 0.089 L/km y 14.20 gCO<sub>2</sub>/km, siendo este un 54.22 % mayor al registro de CO<sub>2</sub> respecto a la medida original. Por otra parte, al colocar la medida 255/70R16 se registró un aumento a 0.11 L/km y 18.32 gCO<sub>2</sub>/km, obteniendo una variación del 64.52% respecto a la medida original en parámetros de emisión de CO<sub>2</sub>.
- Según los resultados del estudio, la medida de neumático original proporcionada por el fabricante (225/60R16) ofrece la mejor relación entre seguridad, consumo y economía. Esta medida produjo las emisiones más bajas de CO<sub>2</sub> (6.5 g/km en condiciones de carga mínima) en comparación con las otras medidas probadas. La variación respecto a la carga que mostro este neumático fue mayor que las otras dos medidas, sin embargo, el CO<sub>2</sub> emitido con una carga máxima fue menor que el CO<sub>2</sub> emitido por los otros dos neumáticos con una carga mínima. Por lo tanto, mantener las especificaciones originales del fabricante demuestra ser la opción más equilibrada para optimizar la seguridad, el consumo de combustible y la economía operativa del vehículo

## REFERENCIAS

- Padrón, C. (2023). Actualización de la huella de carbono de la Universidad Católica Andrés Bello Sede Montalbán para el año 2022. Universidad Simón Bolívar, Sede Litoral, Departamento de Tecnología de Servicio, Camurí Grande, Naiguatá, Venezuela.  
<https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/3017/3541>
- Zabala, R., Guanga, D., Verdezoto, F. & Carrasco, K. (2023). La huella de carbono del parque automotor en el 2019 de la Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador. Pol. Con. (Edición núm. 83) Vol. 8, No 6.  
<file:///C:/Users/death/Downloads/5680-29510-1-PB.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (s.f). CAMBIO CLIMÁTICO, CALIDAD DEL AIRE Y TRANSPORTE Guía para cuantificar las emisiones de GEI y Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC) en el sector. ©Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Dirección General de Asuntos Ambientales– Jirón Zorritos 1203, Cercado de Lima. [www.mtc.gob.pe](http://www.mtc.gob.pe)

- Ballesteros, H. B., & Aristizabal, G. L. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología (Bogotá, Colombia). 96p.
- Zhang, J., & Chen, Z. (2016). Influence of tire geometric parameters on fuel consumption of passenger vehicles. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*.
- Transportation Research Board. 2006. Tires and Passenger Vehicle Fuel Economy: Informing Consumers, Improving Performance -- Special Report 286. Washington, DC: The National Academies Press.
- Leguísamo Milla, Julio César, et al. "Impacto Del Ecodriving Sobre Las Emisiones Y Consumo de Combustible En Una Ruta de Quito." *Enfoque UTE*, vol. 11, no. 1, 31 Jan. 2020, pp. 68–83, <https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n1.500>. Accessed 10 Sept. 2022.
- AEADE. (2023). Available at: <https://www.aeade.net/anuario/>(Accessed: 07 June 2024).
- Caballero, Ana. (2023) Huella de Carbono de Empresas: Registro, cálculo y reducción, Climate Consulting. Available at: <https://climate.selectra.com/es/empresas/huella-carbono> (Accessed: 20 April 2024).
- Ant (ed.) (no date) Norma Técnica Ecuatoriana NTE Inen 2 477\_2009 – Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador – ant, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203 - 2000. Available at: [https://www.ant.gob.ec/wpfd\\_file/norma-tecnica-ecuatoriana-nte-inen-2-477\\_2009/](https://www.ant.gob.ec/wpfd_file/norma-tecnica-ecuatoriana-nte-inen-2-477_2009/) (Accessed: 25 April 2024).
- Tapia Zambrano, C.P. and Tigre Saltos, J.V. (2017) *Determinación del Consumo de combustible de Vehículos en base a Los Ciclos de conducción EPA ftp75 y Epa HWFET, en dinamómetro de chasis. Casos de Estudio: Vehículos Hyundai Santa Fe 2.7L, V6, 2009 y Chery QAC 1.0L, 2017*, Dspace de la Universidad del Azuay: Página de inicio. Available at: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7373> (Accessed: 07 June 2024).
- UNFCCC (2020) *United Nations Climate Change Annual Report 2019*. Available at: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/unfccc\\_annual\\_report\\_2019.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/unfccc_annual_report_2019.pdf) (Accessed: 08 June 2024).
- Checa Ramírez, A.E. (2020) *Evaluación de las emisiones de gases contaminantes de un motor de Combustión Interna experimental con diferentes tipos de gasolinas mediante pruebas estáticas, Repositorio de la Universidad Internacional SEK Ecuador: Home*. Available at: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4060?locale=es> (Accessed: 08 June 2024).
- Zurita Aguiar, B.J. (2022) *Comparativa de los factores de emisión entre el ciclo europeo y el ftp75 para un vehículo de Ciclo Otto Categoría M1, Repositorio de la Universidad Internacional SEK Ecuador: Home*. Available at: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4830> (Accessed: 08 June 2024).

Repsol. (2024). *¿Qué es la huella de carbono y por qué es importante*. Available at: <https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/ejes-sostenibilidad/cambio-climatico/reduccion-huella-carbono/index.cshtml>

Muñoz, I., Antolín, M., García, J., Infante, L., & Vera, M. (2014). Life cycle assessment of tires for light-duty vehicles: A case study in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 73, 144-153.

Messineo, F., Manca, M., Russo, C., Piemontese, A., & De Luca, G. (2017). Influence of tread design and inflation pressure on rolling resistance and CO2 emissions of truck tires. *Transportation Research Part D: Transport Environment*, 52, 23-32.

Li, F.-X., Zhang, D., Wang, L., Chen, H., Peng, S., & Jiang, B. (2016). Life cycle analysis of tires for light-duty vehicles: A review based on life cycle assessment approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(10), 1878-1889.

## ANEXOS























<sup>C</sup>  
**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN  
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES  
TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES  
CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA  
EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS  
MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS”**

Realizado por:

**ANA ELIZABETH CHECA RAMÍREZ**

Director del proyecto:

**Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, Ph.D.**

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGÍSTER EN ECOEFICIENCIA  
INDUSTRIAL MENCIÓN EFICIENCIA  
ENERGÉTICA**

Quito, 03 de septiembre de 2020

ii

C  
**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

***Resumen.***

La contaminación ambiental se produce cuando los componentes nocivos para la salud del ser humano alcanzan niveles mayores al estándar de la calidad de aire y les ocasionan daños. Desde hace varios años se encuentra en constante revisión e investigación las emisiones contaminantes de un vehículo con el fin de obtener motores más eficientes y con niveles bajos de emisiones contaminantes. Razón por la cual el objeto de estudio de esta investigación es la evaluación de las emisiones de gases contaminantes de un motor CT150 experimental a gasolina de 4 tiempos con tres combustibles utilizados principalmente por vehículos livianos en el Ecuador como son: gasolina Súper con 93 octanos, gasolina Extra con 87 octanos y gasolina Ecopaís 85 octanos. Con ayuda del modelo simplificado de combustión se calculó los factores de emisión (*FE<sub>i</sub>*) en gramos de contaminante por segundo debido a que es un motor experimental estático. Los resultados obtenidos son: para el CO de la gasolina extra y ecopaís se encuentra entre 0,144 g/s y 0,155 g/s, siendo el menor para la gasolina súper. El factor de emisión de hidrocarburos no combustionados (HC) el combustible que más alta emisiones presenta es la gasolina ecopaís siendo sus valores entre 0,141 g/s a 0,147 g/s. Para el caso del factor de emisión Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) el valor más bajo se obtiene para la gasolina súper que se encuentra entre 0,005 g/s y 0,007 g/s. Siendo el combustible menos contaminante la gasolina Súper.

***Palabras clave:*** polución, gasolina, emisiones, euro III, motor de encendido provocado.

C  
**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

***Summary.***

Environmental pollution occurs when components that are harmful to human health reach levels higher than the air quality standard and cause damage. For several years the polluting emissions of a vehicle have been constantly reviewed and investigated in order to obtain more efficient engines with low levels of polluting emissions. Reason for which the object of study of this research is the evaluation of polluting gas emissions from an experimental CT150 4-stroke gasoline engine using three fuels used mainly by light vehicles in Ecuador such as: Super gasoline with 93 octane, Extra gasoline with 87 octane and 85 octane Ecopaís gasoline. With the help of the simplified combustion model, the emission factors (*FEI*) were calculated in grams of pollutant per second because it is a static experimental engine. The results obtained are: for the CO of extra gasoline and eco-country it is between 0.144 g / s and 0.155 g / s, being the lowest for super gasoline. The emission factor for unburned hydrocarbons (HC), the fuel with the highest emissions, is ecopaís gasoline, its values ranging from 0.141 g / s to 0.147 g / s. For the case of the Nitrogen Oxides (NO) emission factor, the lowest value is obtained for super gasoline, which is between 0.005 g / s and 0.007 g / s. Being the least polluting fuel Super gasoline.

***Key words:*** pollution, gasoline, emissions, EURO 3, ignition motor induced.

---

## **EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

### **Introducción.**

La contaminación ambiental se produce cuando los componentes nocivos para el ser humano alcanza niveles mayores al estándar de calidad de aire y causa daños en su salud (Ubilla, C., et al; 2017); sin embargo, en la sociedad humana la causa principal de la contaminación ambiental son las actividades antropogénicas que realiza el ser humano (Belis et al., 2013). Combustibles fósiles como los derivados del petróleo y carbón, son combustionados para producir energía y conducir automóviles y camiones, volar aviones, generar electricidad y operar fábricas.

En el proceso de combustión de fósiles se producen contaminantes como: material particulado (PM), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) que se liberarán al ambiente incrementan el efecto invernadero y provocan graves efectos sobre el ecosistema (Wang, 2018). En todas las sociedades e independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico de una ciudad, país o continente, las emisiones contaminantes de vehículos son una fuente importante de contaminación del aire y el consumo de combustible (Antamba G., et al, 2016). Por lo cual en Ecuador el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) relaciona que existe mayor contaminación del aire cuando se producen con arranques en frío del motor del vehículo, puesto que las mayores concentraciones de contaminantes se las encuentran en las horas y meses con temperaturas bajas del año (WHO, 2016).

En el año 2008, el Directorio del INEN aprobó el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 017:2008, en donde se establecen los procedimientos para el control de las emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres, con el fin de proteger la vida y la salud humana, animal y vegetal, y al ambiente, sin perjuicio de la eficiencia de los vehículos automotores (RTE INEN 017, 2008). Con el fin de cumplir con los límites de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina no sólo en el Ecuador sino en todo el mundo, se encuentran en constante análisis y revisión los automotores para mejor la tecnología

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

haciéndoles más eficientes y con niveles bajos de emisiones contaminantes (Rojas R., et al, 2019).

De estudios realizados en el año 2012 y 2013 por la Organización Mundial de la Salud (OMS) expresa que existen algunas ciudades de Ecuador que sobrepasan los niveles internacionales de contaminación ambiental (El comercio, 2016; Rocha-Hoyos, Tipanluisa, Reina, y Ayabaca, 2017).

En la matriz energética de Ecuador el 49 % del consumo energético corresponde al sector del transporte, el mismo que produce el 25 % de las emisiones de gases efecto invernadero por efectos de la combustión de diésel y gasolina (BEN, 2017).

En la Universidad Internacional SEK, no existe la evaluación de las emisiones de gases contaminantes del motor de combustión interna CT 150 de cuatro tiempos y los consumo de combustible; por tal razón, se realiza el presente estudio para tener una línea base sobre el funcionamiento del mismo.

Los gases de escape de los vehículos como el dióxido de carbono (CO) y los hidrocarburos no combustionados (HC) son excelentes indicadores de cómo está funcionando el motor y constituyen la base para el sistema de prueba y diagnóstico de emisiones ; (Lambert y Tesfa, 2016).

Según NTE INEN 2341:2016, el octanaje o número de octano es la medida de la calidad y capacidad antidetonantes de las gasolinas para evitar las detonaciones y explosiones en las máquinas de combustión interna con el fin de producir la máxima cantidad de energía útil, expresada en volumen de iso-octano en una mezcla de iso-octano y n-heptano que tengan las mismas características antidetonantes de la gasolina ensayado en un motor monocilindrico (NTE INEN 2341, 2016).

El análisis de los factores de emisión vehicular de CO, NOx y HC, se establecieron en experimentos dinamométricos siguiendo ciclos de conducción estándar; los mismos que permiten examinar factores de emisión en varias situaciones experimentales como son pruebas

---

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**  
estáticas o en ruta (Rocha-Hoyos y Erazo, 2018).

Las normas son herramientas primarias que establecen los límites de emisiones de vehículos para mitigar las emisiones vehiculares (Tipanluisa, et al, 2017) y se basan en la normativa emitida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) que cuya misión es la normalización, la certificación y la metrología, mediante el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 136 (1R) “motocicletas” se establece los límites máximos de emisiones permitidas para motocicletas y tricimotos mediante prueba estática en ralentí, dicha norma tiene sus fundamentos en regulaciones europeas y americanas adaptadas a la Política Nacional Ecuatoriana.

Según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, en 1950 un 6% de la población mundial vivía en grandes ciudades, en 2016 este porcentaje ya superaba el 54%, y la previsión es que en 2050 alcance el 66%, este incremento de la población urbana ha ido acompañado además de un aumento del consumo energético per cápita a escala global (un 60% entre 1965 y 2010), causando a su vez que las emisiones de CO<sub>2</sub> se incrementen de un 65% en entre 1960 y 2014; este consumo energético es debido, en gran parte, al incremento del número de vehículos a motor. Todo ello, ha dado lugar a la concentración espacial de emisiones atmosféricas en las grandes ciudades de Europa y de todo el mundo, lo que ha provocado problemas importantes de contaminación y deterioro de la calidad del aire (Banco Mundial, 2018).

Una estrategia del Grupo Banco Mundial es trabajar con los países en desarrollo y los asociados para el desarrollo con el fin de reducir la contaminación, implementar una gestión adecuada de los desechos, mejorar la calidad del aire y del agua, y promover el desarrollo limpio para una vida más sana y mejores oportunidades económicas (Banco Mundial, 2018).

En el Distrito Metropolitano de Quito, se han tomado diversas medidas, para mitigar la contaminación ambiental, tales como, la Revisión Técnica Vehicular, Licenciamientos ambientales a las industrias de alto impacto y el progreso de los combustibles (Guasgua et al.,

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

2016) lo que permite la introducción de mejoras en la tecnología vehicular como EURO III próximamente (DMQ, 2015). Por tanto, el objetivo de estudio es evaluar las emisiones producidas en el banco de pruebas experimentales CT150 motor de gasolina de 4 tiempos mediante la experimentación de las gasolinas extra, ecopaís y súper para la selección de la mejor variante a 2800 msnm. Los objetivos específicos son: (1) Cuantificar los diferentes gases contaminantes para cada tipo de gasolina por medio del analizador de gases, (2) Determinar el factor de emisiones de gases contaminantes mediante modelos matemáticos para su interrelación con el trabajo realizado y (3) evaluar el comportamiento de los diferentes tipos de combustibles en el banco de pruebas experimentales mediante el análisis estadístico en el software STATGRAPHICS para la selección de la mejor propuesta.

## **EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

### ***Materiales y Métodos.***

En el presente trabajo, se utilizó el enfoque de la investigación cuantitativa, por cuanto se realizó mediciones de los gases contaminantes con tres tipos de combustibles para evaluar las emisiones de gases en el banco de pruebas experimentales CT150 motor de gasolina de 4 tiempos y se utilizó la estadística para determinar la relación entre los factores de emisión con cada tipo de combustible. La investigación también fue exploratoria por cuanto se realizó una revisión sistemática de la investigación y se ejecutó un resumen de los resultados obtenidos en el banco de pruebas experimentales de un motor de combustión interna de propiedad de la Universidad Internacional SEK.

Se evaluó los factores de emisión de tres combustibles utilizados como son gasolina Súper con 92 octanos; gasolina Extra con 87 octanos; y gasolina Ecopaís en el motor de combustión interna experimental CT150 a gasolina de 4 tiempos, mediante la aplicación de modelos matemáticos, se analizó los resultados obtenidos en las pruebas estáticas y con ayuda del análisis estadístico, se logró evaluar las emisiones de gases contaminantes con el objetivo de seleccionar la mejor variante.

Las pruebas estáticas se realizaron con ayuda del analizador de gases marca KANE y de acuerdo con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 136 (1R) con tres repeticiones para cada tipo de combustible para garantizar la repetitividad de la experimentación.

### **Descripción del banco experimental**

El motor de gasolina de 4 tiempos CT 150 permitió realizar análisis y ensayos en máquinas motrices y de trabajo (ver figura 1).

El motor CT 150 se trata de un motor de gasolina de 1 cilindro y 4 tiempos de refrigerado por aire con conformación externa de la mezcla. Para la refrigeración del motor se emplea la masa volante equipada con aspas de ventilador. El arranque del motor se efectúa por medio de un cable Bowden. El motor de gasolina de potencia aproximada de 2 kW está equipado con: un

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

sensor de temperatura para la medición de la temperatura de los gases de escape, un freno dinamométrico necesario para los ensayos se encuentra en la unidad de frenado y accionamiento universal HM 365 y se lleva a cabo por medio de una correa trapezoidal, también tiene una conexión para la tensión de encendido y la tubería de alimentación de combustible, éste se conecta al módulo básico de motores de combustión CT 150.



Figura 1. Esquema del motor de gasolina de 4 tiempos CT 150

**Descripción de la estructura del equipo**

El motor se encuentra montado sobre una placa base (1) que se emplea sobre el alojamiento del módulo básico de motores de combustión CT 150. Los amortiguadores (2) atenúan las vibraciones originadas por el funcionamiento del motor. En el cárter del cigüeñal (3) se encuentra el orificio de llenado de aceite (4). La camisa (6) del cilindro está provista de aletas de enfriamiento (según la figura 2).

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

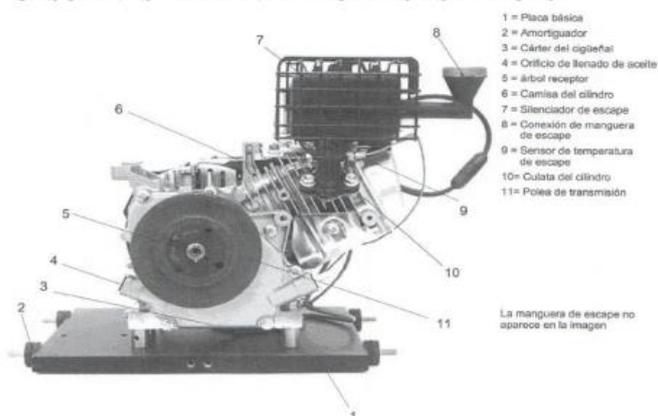


Figura 2. Esquema del motor CT 150 vista frontal

En la culata del cilindro (10) del motor se encuentra la cavidad para la bujía de encendido (20). Para la medición de la temperatura de gases de escape, el motor está equipado con un sensor de temperatura (9), montado en el área del silenciador de escape (7). En el silenciador se encuentra también la conexión (8) de la manguera de escape. El motor se pone en marcha activado por una cuerda de arranque (16). Durante esta acción, el estrangulador (17) debe encontrarse activado. En la rueda volante (13) se han integrado aletas para el enfriamiento del motor. Está provista de una cubierta (14). En el árbol receptor del motor (5) se ha montado una polea de transmisión (11) por medio de la cual el motor se acopla al freno dinamométrico del HM 365.

A través del conector (15), la bujía de encendido del motor recibe la alimentación necesaria para el encendido. La tubería de combustible (19) está dotada de un filtro. La tubería desemboca en el carburador (18), en el que se encuentra la conexión de la manguera de aire (21), como muestra la figura 3.

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

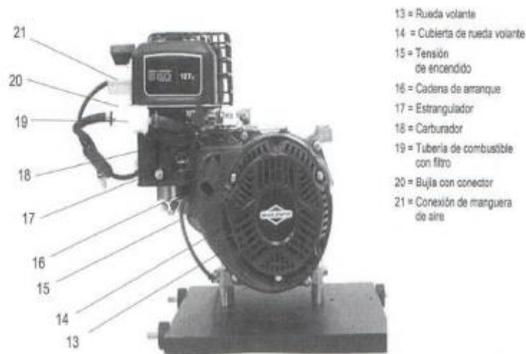


Figura 3. Esquema del motor CT 150 vista posterior

**Diseño experimental:**

En el programa *STATGRAPHICS Centurion XVI*, se creó el diseño unifactorial de la evaluación de las emisiones de gases contaminantes de un motor de combustión interna experimental con tres variantes como son la gasolina súper, gasolina extra y gasolina ecopais mediante pruebas estáticas; como se muestra:

Tabla 1.

*Diseño de la experimentación con las tres gasolinas a considerar*

<i>NIVELES</i>	<i>BAJO</i>	<i>ALTO</i>	<i>RÉPLICAS</i>
Gasolina Súper	-1,0	1,0	3
Gasolina Extra	-1,0	1,0	3
Gasolina Ecopais	-1,0	1,0	3

Las variables de respuesta a obtener son:

## EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Tabla 2.

*Variables de respuesta del diseño experimental*

<i>RESPUESTAS</i>	<i>UNIDADES</i>
CO <sub>2</sub>	%
CO	%
O <sub>2</sub>	%
HC	%
NO <sub>x</sub>	%

En el diseño unifactorial se tiene como factor la gasolina la cual posee 3 niveles y un número de respuestas de 5 (emisiones), dando un total de 45 ensayos, el cual se ejecutó en un solo bloque con un orden de experimentos completamente aleatorizado.

### **Arranque del motor**

Antes del arranque del motor se debe revisar que se encuentren llenas las tuberías de combustible y el tubo de medición del módulo básico CT 150.



Figura 4. Verificación de combustible en los depósitos antes del arranque del motor CT 150

13

## **EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

Se verificó que la válvula encargada del suministro de combustible del CT 150 debe estar en la posición de medición (*Messen*). También se verificó que el encendido del motor debe estar activo por medio de interruptor de arranque del motor (Motor *start*) del módulo básico del motor de gasolina de 4 tiempos. Seguidamente se revisó que la manguera de aire y la de gases de escape deben encontrarse conectadas y ésta última debe salir al exterior del recinto. Se aseguró que el cubre correas se encuentre aislado.

### **Pruebas Estáticas**

La evaluación de las emisiones de gases contaminantes del motor de combustión interna experimental con diferentes tipos de gasolinas mediante pruebas estáticas se realizó de conforme el procedimiento la norma INEN 2203:2000 “Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación de la Concentración de Emisiones de Escape de Condiciones de Marcha mínima o ‘Ralentí’. Prueba Estática” en el apartado 5.4 Procedimiento de medición y en los métodos de ensayo para verificar el cumplimiento de las emisiones de gases en motocicletas son los establecidos en la Directiva 2002/51/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 19 de julio del 2002, anexo II, literal 2.2.1.2. Ensayo tipo II para ralentí alto (>2000 revoluciones) (INEN, 2203, 2000; Rocha et al., 2018, Directiva 2002/51/CE, 2002).

### **Protocolo de Pruebas Estáticas**

Se encendió el motor de gasolina 4 tiempos con dinamómetro incorporado, hasta las 2500 revoluciones del motor a una temperatura normal de operación y una temperatura del aceite del motor constante de 94 °C, según lo referido por Directiva 2002/51/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 19 de julio del 2002, anexo II, literal 2.2.1.2. Ensayo tipo II para ralentí alto.

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**



Figura 5. Encendido del motor de gasolina de 4 tiempos

Seguidamente, se colocó la sonda de prueba dentro de la manguera de escape del motor CT 150 y se realizaron las mediciones de los gases contaminantes asegurándose que la sonda permanezca fija adentro del sistema de escape mientras dure el ensayo (Miranda, 2016). Se registró el valor de los datos proporcionados por el equipo de medición para su posterior análisis estadístico.

Las pruebas de medición de emisiones de gases fueron realizadas con un analizador portátil marca Kane, las características técnicas se describen a continuación:

Tabla 3.

*Características técnicas del Analizador de Gases marca Kane*

VARIABLE	RANGO DE MEDICIÓN	SISTEMA
Monóxido de carbono (CO)	0 - 10%	sistema infrarrojo
Dióxido de carbono	0 - 16%	sistema infrarrojo
Hidrocarburos (HC)	0 - 5000 ppm	sistema infrarrojo
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	0 - 21%	celda electro-química

---

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

---

Óxido de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	0 - 5000 ppm	con sensor
Lambda ( $\lambda$ )	0,8 - 1,2	
Temperatura	5°C - 45°C	
Humedad relativa	10% - 90%	

---

Fuente: (Globaltech, 2018, pág. 3)

Con ayuda del analizador de gases portátil, se determinó monóxido de carbón (CO), Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Oxígeno (O<sub>2</sub>), hidrocarburos no combustionados (HC) y los óxidos de nitrógenos NO<sub>x</sub>.



Figura 6. *Analizador de gases contaminantes marca KANE*

Se permaneció la duración de respuesta del equipo de medición dado por el fabricante; se tomó muestras en aceleraciones de 2500 rpm y se repitió el proceso durante tres veces. Se registró el valor de los datos por el equipo de medición para su posterior análisis.

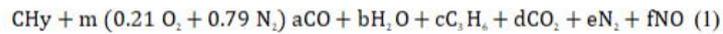
**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**



Figura 7. Mediciones de gases contaminantes en la manguera de escape

**Análisis de factores de emisión de gases contaminantes**

El ecuación 1, se presenta un modelo resumido de la combustión en donde se representa la transformación de la mezcla aire/combustible en sus principales productos de la combustión como son: CO<sub>2</sub>, CO, y HC y que contienen carbono dentro de su fórmula química; y en donde las variables a, b, c, d, e, f y m son factores estequiométricos desconocidos. Entonces es posible realizar un balance de masa general respecto al total de carbono presente en el combustible siendo el CO<sub>2</sub>, CO y HC son los compuestos químicos fundamentales para el análisis de las emisiones y las características medias de los combustibles, cuyo resultado se presenta en la ecuación 1 y 2 (Cedeño et al., 2018; Frey, et al, 2003).



$$1 = a + 3c + d \quad (2)$$

Los gases contaminantes son medidos en el sistema de escape y se analizan según la ecuación 3, en donde R<sub>CO</sub> es la proporción en porcentaje de CO respecto a CO<sub>2</sub> y R<sub>HC</sub> es la proporción en porcentaje de HC respecto a CO<sub>2</sub>. El equipo de comprobación de gases compara el volumen de todos los resultados de la combustión, y aplicando las relaciones anteriores se obtiene la porción de CO<sub>2</sub> (Cedeño et al., 2018).

$$d = \frac{1}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \quad (3)$$

### EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Con ayuda de la ecuación 4, se determinan los factores de emisión ( $FE_i$ ) donde el subíndice  $i$  se relaciona con los contaminantes CO, HC y NOx; y  $MW_{comb}$  es el peso molecular equivalente del combustible,  $MW_i$  es el peso molecular equivalente de los contaminantes,  $\rho_{comb}$  es la densidad del combustible en  $g/m^3$  y c.c. es el consumo de combustible por distancia recorrida en  $m^3/km$  (Calero, 2018; Cedeño et al., 2018).

$$FE_i = \frac{R_i}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_i}{MW_{comb}} * \rho_{comb} * c.c. \left[ \frac{g}{km} \right] \quad (4)$$

Debido a que los ensayos experimentales se realizaron en un motor de combustión interna experimental mediante pruebas estáticas no es posible determinar el consumo de combustible en función de los kilómetros recorridos por lo cual en la ecuación 4, el consumo de combustible se midió volumen consumido en función del tiempo de funcionamiento del motor experimental ( $m^3/s$ ), por lo que las unidades del Factor de Emisión ( $FE_i$ ) serán en  $g/s$ .

$$FE_i = \frac{R_i}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_i}{MW_{comb}} * \rho_{comb} * c.c. \left[ \frac{g}{s} \right] \quad (5)$$

Para determinar el nivel de consumo del motor, se encendió el medidor de nivel del equipo y se midió el volumen consumido de acuerdo con la figura 4.



**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

**Resultados y Discusión.**

Se presenta en la tabla 4, la recopilación de resultados obtenidos de las mediciones de gases contaminantes en el tubo de escape de un motor de combustión interna experimental que se realizó con diferentes tipos de gasolinas mediante pruebas estáticas, a 2 500 rpm:

Tabla 4.

*Resultados obtenidos de las mediciones de gases contaminantes*

<b>TIPO DE COMBUSTIBLE</b>	<b>No. MEDICIÓN</b>	<b>% CO<sub>2</sub></b>	<b>% CO</b>	<b>% O<sub>2</sub></b>	<b>% HC</b>	<b>% NO<sub>x</sub></b>
Gasolina súper	1	5,1	12,78	0,32	6,23	0,42
	2	4,9	12,8	0,32	6,57	0,69
	3	5	12,79	0,32	6,40	0,56
Gasolina extra	1	5	12,63	0,4	6,83	0,35
	2	5,1	12,61	0,35	6,63	0,48
	3	5	12,53	0,43	7,27	0,39
Gasolina ecopaís	1	4,9	12,19	0,52	7,72	0,25
	2	5	12,36	0,39	7,49	0,34
	3	4,7	12,35	0,59	8,08	0,30

Los resultados de los factores de emisión de la evaluación de los tres tipos de combustibles en el motor monocilíndrico de combustión interna se presentan a continuación:

Tabla 5.

*Factores de Emisión para CO, HC y NO en g/s*

<b>FACTOR EMISIÓN</b>	<b>No. MEDICIÓN</b>	<b>SÚPER</b>	<b>EXTRA</b>	<b>ECOPAÍS</b>
EFCO	1	0,147	0,153	0,152

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

	2	0,144	0,155	0,155
	3	0,146	0,147	0,150
EFHC	1	0,108	0,124	0,144
	2	0,111	0,122	0,141
	3	0,110	0,128	0,147
EFNOx	1	0,005	0,124	0,144
	2	0,008	0,122	0,141
	3	0,007	0,128	0,147

De la figura 9, se observa que el Factor de Emisión del CO para la gasolina extra y ecopais se encuentra entre 0,144 g/s y 0,155 g/s, siendo el menor para la gasolina súper, esto debido a que el octanaje es de 92 y favorece la combustión del combustible en el motor disminuyendo las emisiones de CO. El factor de emisión de hidrocarburos no combustionados (HC) el combustible que más alta emisiones presenta es la gasolina ecopais siendo sus valores entre 0,141 g/s a 0,147 g/s. Para el caso del factor de emisión Óxidos de Nitrógeno (NOx) el valor más bajo se obtiene para la gasolina súper que se encuentra entre 0,005 g/s y 0,007 g/s.

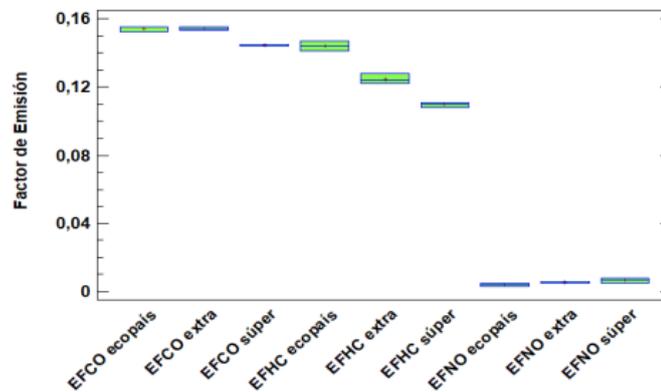


Figura 9. Factores de Emisión de CO para los tres tipos de combustible

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

En la tabla 6, se muestra el resultado al aplicar la prueba LSD con el 95 %, se evidencia que para el caso de las emisiones de NO<sub>x</sub> de la gasolina Súper, Extra y Ecopaís no poseen diferencia significativa lo que no concuerda con Toala, et. al (2019); Quezada et. al (2017) y cuyo valor medio más bajo es de la gasolina Ecopaís (0,0040 g/s). En el caso de las emisiones de HC existen diferencias significativas entre las 3 gasolinas experimentadas presentando mejores resultados en la gasolina súper (0,1097 g/s) contrario a lo que sucede en Toala, et. al (2019); Quezada, et. al (2017). Finalmente, en el caso de CO no existe diferencias significativas entre la gasolina extra y ecopaís, pero si existe diferencia significativa para la gasolina súper; teniéndose los mejores resultados de factores de emisión para la gasolina Súper con 0,1457 g/s contrario a lo que menciona Toala, et. al (2019); Quezada et. al (2017).

Tabla 6.

*Prueba de Múltiple Rangos*

<b>Factores de Emisión</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
EFNO <sub>x</sub> ecopaís	3	0,0040	X
EFNO <sub>x</sub> extra	3	0,0053	X
EFNO <sub>x</sub> súper	3	0,0067	X
EFHC súper	3	0,1097	X
EFHC extra	3	0,1247	X
EFHC ecopaís	3	0,1440	X
EFCO súper	3	0,1457	X
EFCO extra	3	0,1517	X
EFCO ecopaís	3	0,1523	X

Los resultados obtenidos en la presente experimentación muestran una marcada diferencia con otros estudios como de Toala, et. al (2019); Quezada et. al (2017); Gómez, et. al (2019), esto

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

Dando como resultado que el motor de combustión interna CT 150, presenta un defecto de estado tipo 3, que se lo puede determinar con la Revisión Técnico Vehicular en el % CO por cuanto los valores obtenidos son mayores al 11 % esto se debe a que el motor no posee catalizador (MEP-DRTV-0002-2018; 2018).

## **EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

### ***Conclusiones***

Los factores de emisión permiten determinar que en el caso de CO no existe diferencias significativas entre las medias de los factores de emisión entre la gasolina extra (0,1517 g/s) y ecopaís (0,1523 g/s), pero si existe diferencia significativa para la gasolina súper (0,1457 g/s) siendo esta la de mejor comportamiento.

Los factores de emisión de HC poseen diferencias significativas entre las tres gasolinas experimentadas, siendo la media de la gasolina extra (0,1247 g/s), ecopaís (0,1440 g/s) y para la gasolina súper (0,1097 g/s); siendo esta la de mejor comportamiento.

Los factores de emisión de NOx de los tres tipos de gasolinas no experimentan diferencias significativas, siendo la media de la gasolina extra (0,0053 g/s), ecopaís (0,0040 g/s) y para la gasolina súper (0,0067 g/s).

De la evaluación de gases contaminantes en el motor de combustión interna experimental de los tres tipos de gasolina súper, extra y ecopaís el combustible que menos variación contaminante presentó fue la gasolina súper.

El banco de pruebas experimentales no cumple con el porcentaje de CO que establece MOVILDELNOR para motores de motocicletas a altas revoluciones, por cuanto los valores promedio para los 3 tipos de combustibles superan el 11 %.

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

***Recomendaciones.***

Continuar con ensayos en el banco de pruebas experimentales CT150 motor de gasolina de 4 tiempos con el fin de involucrar a más estudiantes en esta investigación con otras variantes de combustibles.

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

***Bibliografía.***

- (PDF) Estimación de la potencia de un motor de combustión interna empleando múltiples combustibles (etanol-gasolina-hidrógeno). (n.d.). Retrieved November 21, 2019, from [https://www.researchgate.net/publication/276276261\\_Estimacion\\_de\\_la\\_potencia\\_de\\_un\\_motor\\_de\\_combustion\\_interna\\_empleando\\_multiples\\_combustibles\\_etanol-gasolina-hidrogeno](https://www.researchgate.net/publication/276276261_Estimacion_de_la_potencia_de_un_motor_de_combustion_interna_empleando_multiples_combustibles_etanol-gasolina-hidrogeno)
- Albán, E., & López, J. (2010). *Desarrollo Y Validación De Un Método Para La Determinación De Factores De Emisión Vehicular Mediante Pruebas a Bordo En La Ciudad De Quito*. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2514/1/CD-3209.pdf>
- Caiza Jácome, P. G., & Portilla Aguilar, Á. A. (2011). *Determinación de la Influencia de la Altura en Emisiones Contaminantes de un Vehículo con Motor de Ciclo Otto, de Inyección Electrónica de Gasolina*.
- El Comercio, EC. (2016). OMS Fichas de las ciudades más contaminadas del Ecuador: Disponible en: <http://www.elcomercio.com/tendencias/ciudades-ecuador-polucionenfermedades-contaminacion.html>.
- Fernando, J., & Revelo, L. (n.d.). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN VEHICULAR MEDIANTE PRUEBAS A BORDO EN LA CIUDAD DE QUITO PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO EDWIN ESTUARDO ALBÁN MARTÍNEZ*.
- Massa Sánchez, P., Ochoa-Ordóñez, O. F., & Ochoa-Moreno, W. S. (2018). Emisiones de CO<sub>2</sub>, crecimiento económico y escolaridad: análisis subnacional para Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 11(2), 69–76. <https://doi.org/10.18779/cyt.v11i2.186>
- Recalde, M., & Revelo, R. (2015). *Análisis De Emisiones En Vehículos a Gasolina Utilizando Pruebas Estacionaria Y Dinámica Mediante Ciclo Im-240*. 1–10.

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

- Rocha-Hoyos, J., & Erazo, G. (2018). *Análisis de Gases del Motor de un Vehículo a través de Pruebas Estáticas y Dinámicas*. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol11iss28.2018pp97-108p>
- Ubilla, D. C., & Karla Yohannessen, D. (2016). *OUTDOOR AIR POLLUTION RESPIRATORY HEALTH EFFECTS IN CHILDREN*.
- Van Mierlo, J., Maggetto, G., Van De Burgwal, E., & Gense, R. (2004). Driving style and traffic measures - Influence on vehicle emissions and fuel consumption. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 218(1), 43–50. <https://doi.org/10.1243/095440704322829155>
- Wang, Z. (2018). Energy and Air Pollution. In *Comprehensive Energy Systems* (Vol. 1–5, pp. 909–949). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00127-9>
- Calero E. (2018). Evaluación de los Sistemas de Catalización de Vehículos a Gasolina en Condiciones de Arranque en Frío (Tesis de maestría) Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.
- Cast Armijo J. (2001). Modelos de estado no estacionario y pseudoestacionario en el cálculo de tiempo de escurrimiento, 4, 38–43. ellazzi, L., Tonoli, A., Amati, N., y Galliera, E. (2017). A study on the role of powertrain system dynamics on vehicle driveability. *Vehicle system dynamics*, 55(7), 1012-1028. doi: 10.1080/00423114.2017.1294699
- Cedeño, E. A. L., Rocha-Hoyos, J. C., Zurita, D. B. P., y Milla, J. C. L. (2018). Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 149-158.
- Transport and Environment. (2018) Mind the Gap! Why official car fuel economy figures don't match up to reality. Recuperado de <https://www.transportenvironment.org/publications/mind-gap-why-official-car-fuel-economy-figures-don%E2%80%99t-match-reality>

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

- Secretaría de Ambiente (2016) Actualización del Plan de Manejo de la Calidad del Aire 2005 – 2010. Recuperado de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/bibliotecadigital/category/61-politicas-y-planeacion-ambiental?download=529:calidad-del-aire-final>.
- BEN, (2017). Balance Energético Nacional 2017. Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. Ecuador.
- Belis, C. A., Karagulian, F., Larsen, B. R., & Hopke, P. K. (2013). Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe. *Atmospheric Environment*.
- INEN, (2002). NTE INEN 2204:2002. Límites permitidos de emisiones producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina. Quito: INEN.
- WHO, (2016). AMBIENT AIR POLLUTION. Disponible en: [http://www.who.int/gho/publications/world\\_health\\_statistics/2016/whs2016\\_AnnexA\\_AmbientAirPollution.pdf?ua=1&ua=1](http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2016/whs2016_AnnexA_AmbientAirPollution.pdf?ua=1&ua=1).
- Tipanluisa, L. E., Reina, S. W., & Ayabaca, C. R. (2017). Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular. *Información tecnológica*.
- Guasua, J. F. A., Campaña, G. G. R., & Paredes, M. E. G. (2016). Estudio comparativo de gases contaminantes en un vehículo M1, utilizando gasolina de la Comunidad Andina. *Enfoque UTE*, (3).
- Lambert, M. M., & Tesfa, B. (2016). Robust Application of CBE and OBE for Engine Testing System Diagnosis. SAE Technical Paper. No. 2016-01-0987.
- Miranda, D. (2016). Metodología de pruebas y su aplicación para el diagnóstico de convertidores catalíticos mediante ciclo ASM en vehículos con motores de encendido provocado (tesis de maestría). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- INEN, (2000) NTE INEN 2203:2000. Gestión Ambiental. Aire. Quito: INEN.

## Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis. Casos de estudio: vehículos Hyundai Santa Fe 2.7L V6, 2009 y Chery QAC 1.0L, 2017

### Determination of vehicle fuel consumption based on EPA FTP75 and EPA HWFET conduction cycles in chassis dynamometer. Case studies: Hyundai Santa Fe 2.7L V6, 2009 and Chery QAC 1.0L, 2017 vehicles

Paul Tapia<sup>a</sup>, Vinicio Tigre<sup>b</sup>, Francisco Torres<sup>c</sup>.

<sup>a,b,c</sup> Ergon, Facultad de Ciencia y Tecnología /Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad del Azuay.  
Correspondencia Autores: paul24\_89@hotmail.com, tigrevinicio@hotmail.com, flores@uazuay.edu.ec

Recibido: octubre 2017, Publicado: diciembre 2017

**Resumen**— El artículo propone generar una base de datos de consumo de combustible de vehículos de mayor circulación en el Ecuador, como son Hyundai Santa Fe, 2.7L V6, y Chery QAC, 1.0L, realizando un análisis del consumo de combustible a través de pruebas en el dinamómetro de chasis, analizando estado del arte referente a los métodos de estimación de combustible de vehículos y determinación de los coeficientes de arrastre y rodadura, así como los valores de coeficientes de ajuste de carga A, B, y C y aplicar en los ciclos de conducción FTP75 y HWFET. Para la determinación de los coeficientes, se utilizó las pruebas SAE J1263, y la adquisición de datos OBD II del vehículo, obteniendo valores de consumo de combustible para el ciclo urbano de 8.77 [L/100km] y 5.34 [L/100km] en el ciclo de carretera para el vehículo Hyundai Santa Fe y 5.69 [L/100km] y 3.44 [L/100km] para el vehículo Chery QAC respectivamente.

**Palabras Claves**— Ciclos de conducción, *Coast down*, Consumo energético, Coeficientes de arrastre, Coeficientes rodadura.

**Abstract**— The article aimed at generating a fuel consumption database of vehicles of greater circulation in Ecuador, such as Hyundai Santa Fe, 2.7L V6, and Chery QAC, 1.0L. An analysis of fuel consumption was performed through tests in the chassis dynamometer, analyzing the state of the art of vehicles fuel estimation methods, and determining drag and rolling coefficients, as well as the values of A, B and C load adjustment coefficients, and the application in the FTP75 and HWFET driving cycles. For the determination of the coefficients, SAE J1263 tests and vehicle OBD II data acquisition were used; obtaining 8.77 [L/100km] fuel consumption values for the urban cycle, and 5.34 [L/100km] in the road cycle for the Hyundai Santa Fe vehicle, and 5.69 [L/100km] and 3.44 [L/100km] for the Chery QAC vehicle respectively.

**Keywords**— driving cycles, coast down, energy consumption, drag coefficients, rolling coefficients.

#### I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ponen en práctica iniciativas y estrategias para controlar y reducir el consumo de combustible y las emisiones contaminantes en el sector del transporte, ya que muchos de los vehículos que circulan en las ciudades del mundo utilizan energía no renovable proveniente del petróleo (Alarcón, 2009). Desde la perspectiva ambiental y como consecuencia de

los requerimientos de reducción de emisiones contaminantes que estipula el protocolo de Kioto; las autoridades de algunos países, disponen de estrategias para aminorar el consumo de combustible y el impacto ambiental, en pos de la utilización de energía renovable, la cual busca la reducción de consumo de combustibles fósiles, forzando a la industria automovilística a producir vehículos más eficientes y reduciendo el uso de combustibles.

En el Ecuador, el 42% de la demanda energética es consumida por el sector del transporte, siendo los combustibles más consumidos: el diésel en un 45% y gasolina en un 41% (Balance Energético Nacional, 2015). Por otro lado, en el inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca del año 2014, se indica que se consume aproximadamente 52'871.619 galones de gasolina y 36'769.707 galones de diésel, debido a la existencia de un parque automotor que asciende a 147.484 vehículos correspondiendo el 89.2% a los vehículos a gasolina y el 10.8% a los vehículos diésel. Del total del parque automotor en Cuenca 131.488 representan vehículos a gasolina, de los cuales el 67.3% corresponde a automóviles, 20.3% a camionetas y furgonetas, 7.9% a motocicletas, 3.7% a taxis, 0.9% a pesados (buses, camiones, volquetas y tanqueros) y 0.7% a vehículos híbridos.

Considerando el parque automotor de Cuenca, se ve la necesidad de estimar el consumo de combustible de los vehículos, mediante pruebas en un dinamómetro de chasis utilizando ciclos de conducción, para poder establecer una diferencia o similitud del consumo obtenido con respecto de los valores que presenta el fabricante y de esta manera poder crear una base de datos como lo hace la EPA, la cual ha creado un sistema de etiquetado de ahorro de combustible que se exhibe en las ventanas de los vehículos nuevos desde los años 1970 con el objetivo de informar a los consumidores sobre la eficiencia del combustible del vehículo. Además, consta con una página web ([www.fueleconomy.gov](http://www.fueleconomy.gov)) en la cual se puede hallar el consumo de combustible de vehículos.

El consumo se determinó mediante pruebas con ciclos de conducción bajo condiciones controladas en el laboratorio, realizadas sobre un dinamómetro de chasis

que simula el ambiente de conducción en ciudad (FTP75) y en carretera (HWFET).

Para determinar el consumo de combustible de los vehículos la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), ha elaborado manuales de prácticas recomendadas como: la SAE J1321 que describe un procedimiento de prueba de consumo de combustible, la SAE J1263 que determina la medición de carga y simulación de dinamómetros mediante técnicas de *coast down* y la SAE J2264 que trata la simulación del dinamómetro del chasis y la carga de la carretera usando técnicas de *coast down*.

Actualmente se realizan estudios para determinar el consumo de combustible desde el punto de vista energético, de los cuales se han obtenido resultados favorables, tal es el caso del estudio realizado por Marchese, Golato, en el año 2011, quienes estimaron el consumo de combustible de automóviles y camiones en diferentes condiciones de carga, considerando la influencia de la rodadura y la aerodinámica de los mismos. En el caso del automóvil con motor más eficiente y con mejor aerodinámica, disminuye el consumo de combustible entre un 27 y 38%, mientras que para el camión se obtuvo una reducción del 20%.

Al realizar un ciclo de conducción en un banco de pruebas los niveles de consumo de combustible y la cantidad de gases de escape no pueden superar los máximos permitidos por las normas establecidas en cada país. El problema viene a continuación cuando el vehículo que ha pasado la prueba y ha sido homologado por cumplir los límites establecidos, se dispone a circular por una vía real. Lo que ocurre es que los valores de consumo de combustible no corresponden con los recogidos en los ciclos de homologación, sino que son mayores, esto se debe a que las condiciones típicas en una conducción real distan mucho de las representadas en los ciclos de ensayos (Villava, Urroz, 2016).

Tomando en cuenta este análisis, Villava, E y Urroz, J, realizaron un estudio para comparar el consumo de combustible de un vehículo, mediante el ciclo de conducción europeo (NEDC) y en condiciones de conducción real. Obteniendo como resultados una variación de consumo de combustible, por lo que optaron en construir un ciclo de conducción que se asemeje al ciclo europeo (NEDC) utilizando trayectos de los recorridos reales, sin embargo, la diferencia es considerable ya que el ciclo NEDC, genera un consumo de combustible de 5,0 [L/100km], mientras que con el ciclo construido se obtiene un valor de 10,45 [L/100km] que representa el doble.

El objeto de estudio es determinar el consumo estimado de combustible de los vehículos Hyundai Santa Fe y Chery QAC; dichos valores alimentarán una base de datos de los vehículos más representativos que circulan en la ciudad de Cuenca. Además de validar el método de obtención de los coeficientes aerodinámico (Cd), coeficiente de rodadura ( $f_r$ ) y los coeficientes de ajuste de carga para el dinamómetro de chasis, los cuales son: rodadura (A), fricción (B) y aerodinámico (C).

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Materiales

Los vehículos que se utilizan en el estudio son: Hyundai Santa Fe 2.7 V6, 2009 y Chery QAC 1.0, 2017 los cuales presentan las siguientes características.

Una vez determinado los vehículos es necesario contar con un equipo que permita determinar los parámetros necesario para obtener los coeficientes aerodinámico (Cd) y de rodadura ( $f_r$ ), los coeficientes de ajuste de carga y el consumo de combustible de los vehículos, para lo cual se utiliza un dispositivo de adquisición de datos que tiene una frecuencia de 10 Hz, con una conexión directa al OBD II y mediante un programa de interfaz con el celular se puede registrar los datos para luego ser exportados a hojas de cálculo para su análisis.

La estimación del consumo de combustible de los vehículos se realiza mediante ciclos de conducción determinados por la EPA tales como el FTP75 para un recorrido en ciudad con una duración de 1874 segundos en un recorrido total de 11.04 millas (17.77 km) y el ciclo HWFET para un recorrido en autopista con una duración de 765 segundos en un recorrido total de 10.26 millas (16.45 km).

Los ciclos de conducción y los coeficientes de ajuste de carga se ingresan a un programa de simulación del dinamómetro de chasis, para la estimación de consumo de combustible. Las especificaciones técnicas del dinamómetro son una potencia máxima de 1200 hp, velocidad máxima de 362 km/h y una carga máxima de 3629 kg. Finalmente, mediante los datos adquiridos con el dispositivo se cuantificará el consumo estimado de combustible en cada ciclo para cada vehículo.

### B. Métodos

El análisis se llevó a cabo en la provincia del Azuay, en la ciudad de Cuenca, en la parroquia Cumbe en la carretera panamericana 35. Se considera esta localidad para realizar las pruebas por que la pendiente no supera el 5%.

La energía que demanda el vehículo para desplazarse de un lugar a otro se cuantifica en función de las fuerzas que se oponen a su desplazamiento; el análisis de la dinámica longitudinal entre las fuerzas que soporta el vehículo da lugar al concepto de fuerza de tracción ( $F_x$ ). (Figura 1).

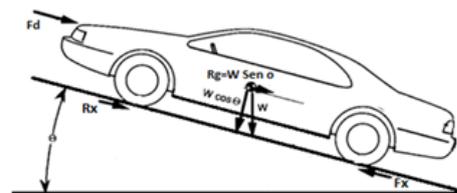


Fig. 1. Dinámica del vehículo. Fuente: Fundamentals of Vehicle Dynamics

**Fuerza de tracción ( $F_x$ ).** Es la fuerza propulsora del vehículo. Para que exista movimiento debe ser superior a la suma de las fuerzas resistivas, por ello se puede cuantificar con la expresión:

$$F_x = F_d + R_x + R_g + R_i \quad [N] \quad (1)$$

$F_d$ : Fuerza de resistencia aerodinámica. [N]  
 $R_g$ : Fuerza de resistencia por la pendiente. [N]  
 $R_x$ : Fuerza de resistencia a la rodadura. [N]  
 $R_i$ : Fuerza de resistencia por la inercia. [N]

**Fuerza de resistencia aerodinámica ( $F_d$ ).** La resistencia aerodinámica es la que crea el aire al oponerse a que el vehículo pase a través de él. Los factores que afectan en un vehículo son: el tamaño y la forma del vehículo, el área frontal del vehículo, la velocidad del viento, la densidad del aire y su dirección.

$$F_d = \frac{1}{2} * C_d * A * \delta_{aire} * V^2 \quad [N] \quad (2)$$

$C_d$ : Coeficiente aerodinámico [-]  
 $A$ : Área frontal del vehículo [ $m^2$ ]  
 $\delta_{aire}$ : Densidad del aire [ $Kg/m^3$ ]  
 $V$ : Velocidad del vehículo [ $m/s$ ]

**Fuerza de resistencia a la rodadura ( $R_x$ ).** Esta fuerza de resistencia se asocia a la interacción entre las ruedas y la calzada, del tipo, perfil y presión de inflado de los neumáticos; su magnitud depende de la masa del vehículo, del coeficiente de rodadura, la gravedad y el ángulo de inclinación de la calzada.

$$R_x = f_r * M * g * \cos \theta \quad [N] \quad (3)$$

$f_r$ : Coeficiente de rodadura [-]  
 $M$ : Masa del vehículo [ $Kg$ ]  
 $g$ : Gravedad [ $m/s^2$ ]  
 $\theta$ : Pendiente [grados]

**Fuerza de resistencia a la pendiente ( $R_g$ ).** La resistencia de una pendiente depende del perfil de la calzada y de la masa del vehículo. Cuando el vehículo se encuentra en un plano inclinado, una parte del peso gravita en contra del sentido de la marcha, originando una resistencia debida a la pendiente que se opone a la fuerza de propulsión o tracción, cuando el vehículo desciende por una pendiente, en cambio, esta fuerza favorece el desplazamiento del vehículo y se considera con signo negativo en la ecuación (1).

$$R_g = M * g * \sin \theta \quad [N] \quad (4)$$

**Fuerza de resistencia por inercia ( $R_i$ ).** Si se quiere cambiar la velocidad de un vehículo se debe vencer una fuerza que se opone a este cambio, esta fuerza se denomina fuerza de inercia y depende de la masa del vehículo.

$$R_i = M * a \quad [N] \quad (5)$$

$a$ : Aceleración del vehículo [ $m/s^2$ ]

En un vehículo el coeficiente aerodinámico, el área frontal, la densidad del aire y la masa son factores que influyen en el aumento o disminución de la fuerza de resistencia, lo que genera mayor o menor consumo de combustible, por lo que es necesario determinar estos valores en los vehículos de análisis. El área frontal se determina mediante programas CAD al dibujar el perfil del vehículo como se muestra en la figura 2, mientras que el peso se considera de la ficha técnica del fabricante incluyendo el peso del conductor para las pruebas de desaceleración.

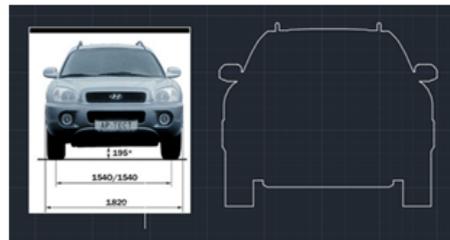


Fig. 2. Cálculo del área frontal mediante un programa CAD

La metodología utilizada para determinar los coeficientes aerodinámicos ( $C_d$ ), de rodadura ( $f_r$ ) y los coeficientes de ajuste de carga para el dinamómetro de chasis, se realizaron mediante pruebas de desaceleración libre en carretera *coast down*, tomando como referencia la práctica recomendada SAE J1263. Para la obtención de los datos como velocidad, tiempo, latitud, longitud y altitud, se utiliza un dispositivo de adquisición de datos, que además permite determinar el consumo estimado de combustible. Una vez obtenidos los valores, se realiza un análisis mediante tablas de cálculos para determinar los coeficientes.

Los coeficientes aerodinámicos y de rodadura, son necesarios para poder determinar los coeficientes de ajuste de carga para el dinamómetro de chasis, los cuales se obtienen mediante pruebas *coast down* y realizando la misma prueba en el dinamómetro de chasis. Dichos valores obtenidos de las pruebas serán determinados por la línea de tendencia de la curva velocidad-fuerza calculada.

Finalmente, el consumo de combustible de los vehículos se determina tomando como referencia la práctica recomendada SAE J1321, en un dinamómetro de chasis, utilizando los dos ciclos de conducción antes mencionados. El procedimiento para la estimación del consumo de combustibles es seguir las trayectorias de los ciclos de conducción que se cargan en el dinamómetro, considerando las condiciones de la localidad. El objetivo del proceso es obtener el consumo mediante el dispositivo de adquisición de datos durante los ciclos de conducción, para el valor real de consumo de combustible es necesario igualar las gráficas de los ciclos de conducción que se obtienen con el dispositivo y con el dinamómetro,

mediante la gráfica real de los ciclos como se muestra en la figura 3

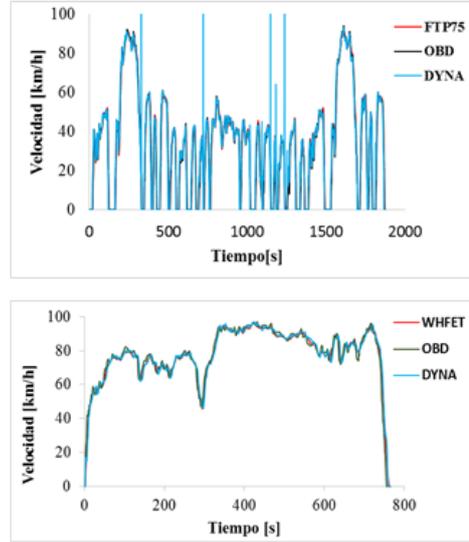


Fig. 3. Ciclo de conducción FTP75 y HWFET

TABLA I  
Parámetros de los vehículos

	Hyundai Santa Fe	Chery QAC
Masa (M)	1830 [kg]	1050 [kg]
Área frontal (A)	2.63 [m <sup>2</sup> ]	2.03 [m <sup>2</sup> ]
Radio dinámico de la rueda (Rd)	73.73 [cm]	57.76 [cm]
Coefficiente aerodinámico (Cd)	0.38 [-]	0.32 [-]
Coefficiente de rodadura (fr)	0.014 [-]	0.014 [-]
Consumo de combustible urbano	13.8 [L/100Km]	7.63 [L/100Km]
Consumo de combustible extraurbano	8.4 [L/100Km]	4.69 [L/100Km]
Densidad del aire (ρaire)	0.91 [kg/m <sup>3</sup> ]	0.91 [kg/m <sup>3</sup> ]
Gravedad (g)	9.81 [m/s <sup>2</sup> ]	9.81 [m/s <sup>2</sup> ]

### III. RESULTADOS

#### A. Coeficiente aerodinámico (Cd) y coeficiente de rodadura (fr).

Los coeficientes se determinan de acuerdo a la metodología antes descrita, instrumentando los vehículos de prueba con los dispositivos de adquisición de datos, los mismos que permiten obtener valores de tiempo, velocidad, altitud, latitud y longitud. Estos valores se utilizan para calcular la distancia, pendiente, aceleración y velocidad calculada, los cuales permiten determinar el error que existe entre la velocidad y aceleración medida con respecto a los valores calculados.

Las ecuaciones que se utilizan para determinar los valores antes mencionados son:

Distancia recorrida:

$$x = V * (t_i - t_{i-1}) \quad [m] \quad \underline{\underline{(6)}}$$

V: Velocidad [m/s]

t<sub>i</sub>: Tiempo final [s]

t<sub>i-1</sub>: Tiempo inicial [s]

Pendiente:

$$\theta = \text{Sen}^{-1} \left( \frac{Alt_i - Alt_{i-1}}{x_i} \right) \quad [m] \quad \underline{\underline{(7)}}$$

Alt<sub>i</sub>: Altitud final [m]

Alt<sub>i-1</sub>: Altitud inicial [m]

x<sub>i</sub>: Distancia final [m]

Aceleración calculada:

$$a_{cal} = \left( \frac{Fd + Rx + Rg}{M} \right) \quad [m/s^2] \quad \underline{\underline{(8)}}$$

Velocidad calculada:

$$V = (V_{i-1} - (t_i - t_{i-1})) * \left( \frac{Fd + Rx + Rg}{M} \right) \quad [m/s] \quad \underline{\underline{(9)}}$$

V<sub>i-1</sub>: Velocidad inicial [m/s]

Para obtener los coeficientes de los vehículos se debe ocupar valores de referencia de Cd y fr que se indican en la tabla 1, estos valores permiten obtener la similitud de las curvas de velocidades como se muestra en la figura 4. Considerando la diferencia de las curvas se puede determinar el error entre la velocidad medida por el dispositivo de adquisición de datos y la velocidad calculada con los parámetros del vehículo.

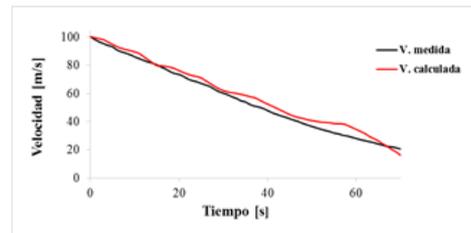


Fig. 4. Curvas de velocidad medida y calculada

Estas curvas se pueden ajustar (figura 5), mediante la herramienta de análisis (Solver) para reducir el error que existe entre las velocidades, la misma que permite obtener un valor mínimo o máximo para una celda denominada celda objetivo (celda del error), sujeta a restricciones en otras celdas llamadas celdas de variables (celdas de Cd y fr), que participan en el cómputo de la celda objetivo y de restricción (celdas de Cd y fr). Solver ajusta los valores en las celdas de variables de decisión para cumplir con los límites en las celdas de restricción y producir el resultado

deseado para la celda objetivo (www.solver.com) y de esta manera obtener los coeficientes  $C_d$  y  $f_r$  más cercanos a los que indica el fabricante.

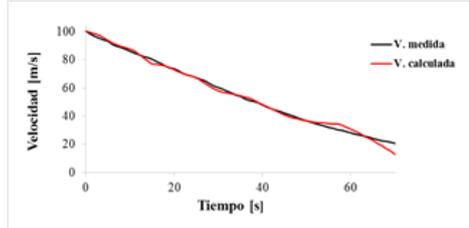


Fig. 5. Ajuste de curva de velocidad

A pesar de este cálculo no se puede concluir que el valor de coeficientes es el real, ya que para cada prueba de desaceleración en carretera se obtienen valores que varían.

Para poder determinar los coeficientes se utiliza el método estadístico *t-Student*, el cual se usa para distribuciones normales y para valores de muestra menores a 30. Para este estudio se obtuvieron los valores con un nivel de confianza del 95% ya que con este nivel se pueden obtener un rango no muy grande en el cual se encuentra el valor real y solo el 5% de la muestra podría ser errónea. Los valores obtenidos de los coeficientes considerando el 95% de nivel de confianza se muestran en la tabla 2.

TABLA II  
Coeficientes aerodinámicos y de rodadura con nivel de confianza del 95%

	Coefficiente aerodinámico ( $C_d$ )	Coefficiente de rodadura ( $f_r$ )
Hyundai Santa Fe	$0.49 \pm 0.045$	$0.013 \pm 0.002$
Chery QAC	$0.33 \pm 0.025$	$0.027 \pm 0.0038$

### B. Coeficiente de ajuste de carga A, B, C.

Al contar con los coeficientes calculados  $C_d$  y  $f_r$  de los vehículos es necesario determinar los coeficientes de ajuste de carga en carretera utilizando las pruebas de desaceleración. Los coeficientes  $C_d$  y  $f_r$  permiten determinar las fuerzas de resistencia aerodinámica ecuación (2) y la fuerza de resistencia a la rodadura ecuación (3) para poder obtener la fuerza de tracción calculada en carretera ecuación (1) y la fuerza de coeficientes con la siguiente ecuación.

Fuerza de coeficientes:

$$F_{coef} = F_0 + F_1 * (V) + F_2 * (V)^2 \quad [N] \quad (10)$$

$F_0$ : Coef. de ajuste de carga de rodadura [N]

$F_1$ : Coef. de ajuste de carga de fricción [N/(km/h)]

$F_2$ : Coef. de ajuste de carga aerodinámico [N/(km/h)<sup>2</sup>]

Los coeficientes de ajuste de carga  $F_0$ ,  $F_1$  y  $F_2$  se obtienen para cada prueba; en este caso se debe establecer el error entre la fuerza de tracción calculada en carretera respecto de la fuerza de coeficiente ecuación (10). Para

reducir el error que existe entre las fuerzas se debe graficar la fuerza de tracción calculada y la velocidad del vehículo como se muestra en la figura 6.

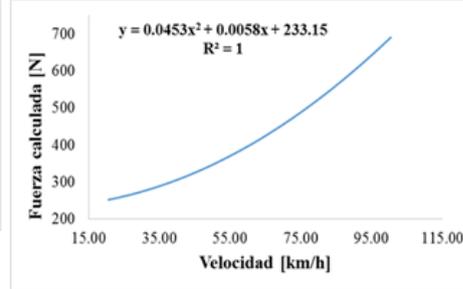


Fig. 6. Fuerza de tracción calculada con respecto a la velocidad del vehículo

La forma como se determina los valores de los coeficientes de ajuste de carga es mediante la línea de tendencia; como se muestra en la figura 6, la curva que describe es de segundo orden, por lo que se debe presentar la ecuación de la curva y el valor de  $R^2$  que describe la confiabilidad de la línea de tendencia. La línea de tendencia es más fiable cuando el valor de  $R^2$  es casi o igual a 1. Como se muestra en la figura la ecuación que describe la curva es igual a la ecuación de fuerza de coeficiente (10); es decir el valor que está libre representa el valor de  $F_0$  mientras que el valor que multiplica a "x" corresponde al valor de  $F_1$  y el valor que está con "x<sup>2</sup>" representa el valor de  $F_2$ . Estos valores son los que ayudan a reducir el error entre las fuerzas y determina con mayor exactitud los coeficientes de ajuste de carga en cada prueba de desaceleración.

En el dinamómetro de chasis se debe de realizar las pruebas de *coast down* para obtener los valores de fuerza de ajuste de carga en el banco, sin embargo, para el cálculo de estos valores no se considera la fuerza de tracción del vehículo, sino que se calcula con la ecuación (11).

Fuerza calculada en el dinamómetro:

$$F_{cal} = M * a \quad [N] \quad (11)$$

M: masa del rodillo [kg]

Para determinar el valor real de los coeficientes de ajuste de carga para el dinamómetro de chasis A, B y C se obtiene mediante la diferencia de los valores de las pruebas *coast down* de carretera y en el dinamómetro, obteniendo como valores los que se muestran en la tabla 3 y 4.

### C. Estimación de consumo de combustible

El consumo de combustible de los vehículos se determina mediante los ciclos de conducción el FTP75 que describe la circulación por la ciudad y el HWFET por autopista; estos dos ciclos de conducción son utilizados

por la EPA, los cuales han servido para establecer una base de datos de consumo de combustible, la cual se puede encontrar en la página web [www.fueleconomy.gov](http://www.fueleconomy.gov).

TABLA III  
Coeficientes de ajustes de carga del vehículo Hyundai Santa Fe

Hyundai Santa Fe					
Coef. de carga en carretera	Coef. de carga en el dinamómetro		Coef. de ajuste de carga para el dinamómetro		
F0	233.31	D0	133.56	A	99.74
F1	0.0006	D1	1.73	B	-1.73
F2	0.0824	D2	-0.0068	C	0.0891

TABLA IV  
Coeficientes de ajuste de carga del vehículo Chery QAC

Chery QAC					
Coef. de carga en carretera	Coef. de carga en el dinamómetro		Coef. de ajuste de carga para el dinamómetro		
F0	277.90	D0	105.26	A	172.64
F1	0.0030	D1	1.70	B	-1.69
F2	0.0235	D2	-0.0083	C	0.0318

El objetivo principal del estudio es estimar el consumo de combustible de los vehículos Hyundai Santa Fe y Chery QAC con los dos ciclos de conducción en el dinamómetro de chasis en las condiciones de la localidad, por lo cual se realizaron varias pruebas para cada ciclo obteniendo como resultado los valores que se muestran en la tabla 5.

TABLA V  
Estimación de consumo de combustible para el ciclo FTP75 y HWFET

	Hyundai Santa Fe	Chery QAC
	Consumo de combustible [L]	Consumo de combustible [L]
FTP-75	$1.56 \pm 0.041$	$1.012 \pm 0.029$
HWFET	$0.88 \pm 0.065$	$0.566 \pm 0.009$

Estas estimaciones de consumo de combustible están determinadas para los ciclos de conducción, es decir para el caso de vehículo Hyundai Santa Fe se consume  $1.56 \pm 0.041$  [L] para un recorrido de 17.77 [km] que es la distancia que tiene el ciclo FTP75 y consume  $0.88 \pm 0.065$  [L] para un recorrido de 16.45 [km] que es la distancia de ciclo HWFET, de la misma manera para el vehículo Chery QAC se consume  $1.012 \pm 0.029$  [L] en el ciclo FTP75 y en el ciclo HWFET  $0.566 \pm 0.009$  [L].

Para establecer la diferencia del consumo estimado de combustible en el caso del vehículo Hyundai Santa Fe se considera los valores que presenta la EPA y los valores de la ficha técnica del vehículo como se muestra en la figura 7.

En el estudio realizado en Cuenca para el vehículo Hyundai Santa Fe se puede observar que existe 36.67% menos consumo de combustible con respecto al valor que presenta la EPA, de la misma manera para el valor que presenta la ficha técnica del vehículo se obtiene 36.44% menos consumo de combustible para el ciclo FTP75, mientras que para el ciclo HWFET se obtiene 47.74% menos consumo con respecto al valor de la EPA y

36.42% menos consumo para el valor que presenta la ficha técnica.

Para el vehículo Chery QAC se consideró el valor de consumo que presenta el fabricante ya que en la página de la EPA no existe el análisis de esta marca de vehículo. El análisis se realizó de la misma manera que el vehículo anterior obteniendo los resultados que se muestran en la figura 8.

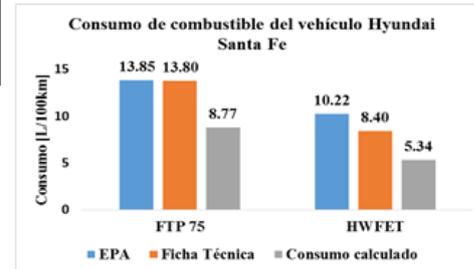


Fig. 7. Consumo de combustible del vehículo Hyundai Santa Fe.

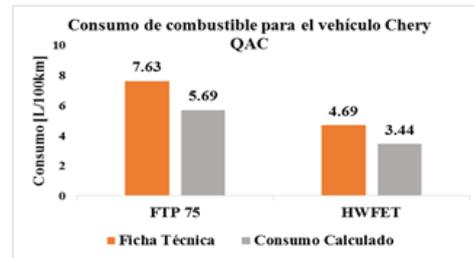


Fig. 8. Consumo de combustible del vehículo Chery QAC.

En la figura se puede observar que el vehículo Chery consume 25.42% menos combustible en comparación con el valor que presenta el fabricante en el ciclo FTP75, mientras tanto para el ciclo HWFET se obtiene 26.65% menos consumo de combustible.

Los valores de estimación de combustible de los vehículos Hyundai Santa Fe y Chery QAC se utilizarán para crear una base de datos como la que tiene la EPA en su página [www.fueleconomy.gov](http://www.fueleconomy.gov), pero con la diferencia de que estos valores fueron determinados en las condiciones de la localidad.

#### IV. CONCLUSIONES

La estimación del consumo de combustible en los estudios analizados se determina mediante pruebas en dinamómetro de chasis utilizando ciclos de conducción, que representa la forma típica de conducción en ciudad y carretera, siendo uno de los mejores referentes la EPA, que determina el consumo de combustible mediante los ciclos de conducción FTP75 y HWFET en condiciones de laboratorio. Por lo cual estos ciclos se consideran para estimar el consumo de combustible en los vehículos Hyundai Santa Fe y Chery QAC.

Al analizar la dinámica del vehículo se puede observar que existen muchos factores que intervienen en su

movimiento, tal es el caso de las fuerzas de resistencia aerodinámica, rodadura, pendiente e inercia que debe vencer el vehículo para moverse. Debido a esto es necesario determinar los coeficientes aerodinámicos y rodadura reales de los vehículos Hyundai Santa Fe y Chery QAC mediante pruebas de desaceleración en carretera (*coast down*) como lo determina el procedimiento recomendado SAE J1263. Para el vehículo Hyundai Santa Fe se obtuvo un coeficiente aerodinámico de  $0.49 \pm 0.045$  y un coeficiente de rodadura de  $0.013 \pm 0.002$ , mientras que para el vehículo Chery QAC se obtuvo un coeficiente aerodinámico de  $0.33 \pm 0.025$  y un coeficiente de rodadura de  $0.027 \pm 0.0038$  para un nivel de confianza del 95%.

De los documentos analizados no se logró conseguir un procedimiento o una metodología que explique cómo obtener los coeficientes de ajuste de carga para el banco dinamométrico (A, B y C), los mismos que representan las cargas de rodadura, fricción y aerodinámica, por lo cual se utilizaron las pruebas *coast down* para determinar los coeficientes de carga en carretera considerando las fuerzas de resistencia en el vehículo y es necesario contar con pruebas *coast down* en el dinamómetro considerando la masa del rodillo y la aceleración del vehículo. Las diferencias de los coeficientes obtenidos en carretera con respecto de los coeficientes obtenidos en el dinamómetro determinan los coeficientes de ajuste de carga reales. Luego de realizar el análisis estadístico para las pruebas se obtuvo coeficiente de ajuste de carga para el vehículo Hyundai Santa Fe de 99.74 para el valor de A, -1.73 para el valor de B y 0.0891 para el valor C, mientras que para el vehículo Chery QAC se obtuvieron valores de 172.64 para A, -1.69 para B y 0.0318 para C, sin embargo estos valores al momento que se ingresó en el dinamómetro hacían que se detenga el rodillo, por lo que se consideró valores de cero para el estudio.

La estimación del consumo de combustible para los vehículos Hyundai Santa Fe y Chery QAC considerando las condiciones de la localidad, varían de los valores que presenta la EPA y las fichas técnicas de los fabricantes. Tal es el caso del vehículo Hyundai Santa Fe, en el cual se obtienen un 36.67% menor consumo de combustible ya que la EPA presenta un consumo de 13.85 [L/100km] para ciudad y en el estudio se obtuvo 8.77 [L/100km], mientras que para el ciclo de carretera se obtuvo 47.74% menos consumo con respecto a la EPA, la cual presenta un consumo de 10.22 [L/100km] y en el estudio se obtuvo 4.88 [L/100km]. De la misma manera para los valores que presenta la ficha técnica del vehículo se obtiene un 36.44% menos consumo de combustible para el caso de ciudad y un 36.42% menos consumo de combustible para el caso de carretera.

Para el vehículo Chery QAC se pudo establecer la diferencia de consumo de combustible con el dato que presenta la ficha técnica del fabricante, en la cual determina que el vehículo consume 7.63 [L/100km] para el caso de ciudad y 4.69 [L/100km] para el caso de carretera, mientras que mediante el estudio realizado se obtuvo que el vehículo consume 5.69 [L/100km] para el caso de ciudad y 3.44 [L/100km] en carretera con lo que

podemos concluir que para el ciclo de ciudad se consume 25.42% menos combustible y para el ciclo en carretera 26.65%.

Finalmente, estos valores de estimación de consumo de combustible contribuirán en la creación de una base de datos que permitirán tener una referencia de consumo de combustible de los vehículos más representativos que circulan en la ciudad.

#### Trabajos a futuro

El propósito de este proyecto es aportar con la creación de una base de datos del consumo estimado de combustible de los vehículos de mayor circulación en nuestro país. Esta base de datos, sin lugar a dudas contribuirá a la cuantificación de los efectos que producen los vehículos automóviles y podría contribuir al establecimiento de políticas, reglamentos y normativa para: la introducción de vehículos eléctricos, la renovación del parque automotor, la estimación del impacto ambiental que ocasiona el vehículo en nuestro medio, el análisis del costo asociado a la utilización de vehículos, estudios de movilidad, entre otros.

La realización de este documento servirá como una referencia bibliográfica para futuros proyectos para los cuales se pretenda determinar el consumo de combustible de vehículos, sin embargo, se recomienda realizar una investigación sobre procedimiento, normas o metodologías que permitan determinar con mayor exactitud los coeficientes de ajuste de carga para el dinamómetro y el consumo de combustible.

Los ciclos de conducción son representaciones de los hábitos de conducción, por lo cual se debería de considerar la idea de establecer ciclos de conducción propios de la zona de estudio para establecer una relación con los valores que presentan los fabricantes.

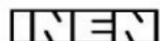
En los vehículos existen muchos factores, como los que ya se han mencionado en el desarrollo de este artículo, que afectan directamente en el consumo de combustible, por lo cual se debería determinar un lugar que cumplan con las características para poder realizar las pruebas de carretera, como sería el caso para la obtención del coeficiente  $C_d$  y  $f_r$ , en las cuales se recomienda realizar las pruebas en una carretera totalmente plana que no supere el 5% de la pendiente y que sea totalmente rectilínea como lo establece la SAE J1263, además se deben realizar las pruebas necesarias, para obtener valores más cercanos a los que indica el fabricante y con un intervalo de confianza mucho mayor.

De la misma manera es importante establecer el procedimiento para determinar los coeficientes de ajuste de carga para el dinamómetro de chasis ya que al realizar las pruebas de consumo de combustible mediante ciclos de conducción y en el dinamómetro de chasis debe cargar los valores de los coeficientes que simulan las cargas a las cuales el vehículo está expuesto al circular por una carretera normal. Así mismo para la estimación del consumo de combustible, es importante instrumentar el vehículo con dispositivos o equipos que sean certificados bajo alguna norma para que los resultados obtenidos sean

más representativos.

#### REFERENCIAS

- [1] Alarcón, M. (2009). Los motores y combustibles de los automóviles de hoy y del futuro, p.4.
- [2] Alarcón, P. (2013). Movilidad urbana, consumo de energía y calidad del aire. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (8), 15-17.
- [3] Aresti, M., Tanco, M., ~~Juburg~~, D., Moratorio, D., & Villalobos, J. (2016). Evaluación de tecnologías para la eficiencia energética en vehículos de carga por carretera. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, (14).
- [4] Asociación de empresas automotrices del Ecuador AEADE. (11 de mayo de 2017). Sector Automotriz en cifras, (No.8), p.13.
- [5] ¿Cómo puedo medir la resistencia de un coche? Recuperado de: <http://auto.howstuffworks.com/question497.htm>
- [6] Definir y resolver un problema con Solver. Recuperado de: [www.solver.com](http://www.solver.com)
- [7] Dynamometer, C. (n.d.). Chapter 4, 116(4), 919-934.
- [8] ~~Ecomodder~~. Recuperado de: <http://ecomodder.com/forum/emgarage.php?do=details&vehicloid=42> (20, julio 17)
- [9] EPA. (July 5, 2017). ~~Fuel Economy~~. Guide. p.54. Recuperado de <https://www.fueleconomy.gov/feg/pdfs/guides/FEG2017.pdf>.
- [10] Folleto AIHE Combustibles 2012. Recuperado de: [https://issuu.com/aihecuador/docs/folleto\\_aihe\\_combustibles\\_2012](https://issuu.com/aihecuador/docs/folleto_aihe_combustibles_2012) (28, julio 17)
- [11] ~~Fuel economy~~. Recuperado de: <https://www.fueleconomy.gov/> (30, julio 17)
- [12] Gillespie T. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineers, United States
- [13] ~~Marchese~~, R. A., & Golato, M. A. (2011). El consumo de Combustible y Energía en el transporte. *Revista CET/UNTucuman*, 33, 1-9
- [14] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (enero de 2006). *Guía para la Gestión del Combustible en las Flotas de Transporte por Carretera*. Madrid. p.80. Recuperado de [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10232\\_Guia\\_gestion\\_combustible\\_flotas\\_carretera\\_06\\_32bad0b7.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10232_Guia_gestion_combustible_flotas_carretera_06_32bad0b7.pdf)
- [15] Lima, B. Gálvez, E. (2016). Análisis de consumo de combustible de los vehículos de categoría MI que circulan en el centro histórico de la ciudad de Cuenca en horas de máxima demanda en función de ciclos de conducción (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- [16] Medición de carga y simulación de dinamómetros mediante técnicas de Coastdown. Recuperado de: <http://standards.globalspec.com/std/1232323/sae-j1263> (29, julio 17)
- [17] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2015). Balance Energético Nacional. p.54. Recuperado de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/BALANCE-ENERGETICO-2016-PARTE-1.pdf>
- [18] Parra, EMOV. (2014). INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFERICAS DEL CANTON CUENCA 2014, Cuenca-Ecuador.
- [19] Villava J. Urroz J. (2016). Estudio y comparación del consumo de combustible real y teórico de un Nissan Micra 1.2. Universidad Politécnica de Navarra. Recuperado de [http://academica.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/22078/Memoria\\_Esther\\_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://academica.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/22078/Memoria_Esther_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [20] Zhou, M., & Jin, H. (2017). Development of a transient fuel consumption model. *Transportation Research Part D*, 51, 82-93. <http://doi.org/10.1016/j.trd.2016.12.001>



# INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2 203:2000**

---

---

**GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS  
AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA  
CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN  
CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O “RALENTI”.  
PRUEBA ESTÁTICA.**

**Primera Edición**

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. AIR. MOTOR VEHICLES. DETERMINATION OF CONCENTRATION OF EXHAUST EMISSIONS IN MINIMUM SPEED CONDITIONS OR RALENTI STATIC TEST.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Emisión de gases, protección del medio ambiente, calidad del aire, método de ensayo.  
MC 08.06-302  
CDU: 662.75  
CIU: 3530  
ICS: 13.040.50

Norma Técnica  
Ecuatoriana  
Obligatoria

**GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES.  
DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE  
ESCAPE, EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O "RALENTI".  
PRUEBA ESTÁTICA.**

**NTE INEN  
2 203:2000  
2000-07**

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casilla 17-01-3999 - Baquerizo 454 y Ave. 6 de Diciembre - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción

### 1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa, en condiciones de marcha mínima o "ralenti".

### 2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica a los vehículos automotores cuyo combustible es gasolina.

### 3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2204, y las que a continuación se detallan:

3.1.1 *Aislamiento electromagnético.* Característica del equipo de medición que impide la alteración en sus lecturas por causa de radiaciones electromagnéticas externas.

3.1.2 *Calibración de un equipo de medición.* Operación destinada a llevar un instrumento de medida al estado de funcionamiento especificado por el fabricante para su utilización.

3.1.3 *Motor de encendido por chispa.* Es aquel en el cual la reacción de la mezcla aire/combustible se produce a partir de un punto caliente, generalmente una chispa eléctrica.

3.1.4 *Gas patrón.* Gas o mezcla de gases de concentración conocida, certificada por el fabricante del mismo, y que se emplea para la calibración de equipos de medición de emisiones de escape.

3.1.5 *Autocalibración.* Es la rutina en la cual el equipo verifica el funcionamiento óptimo de todos sus componentes instrumentales y realiza una comparación con los patrones internos incorporados por el fabricante del mismo.

3.1.6 *Exactitud.* Grado de concordancia (la mayor o menor cercanía) entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando.

3.1.7 *Repetibilidad.* Grado de concordancia de resultados de sucesivas mediciones de la misma variable, realizadas en iguales condiciones de medida.

3.1.8 *Tiempo de calentamiento del equipo de ensayo.* Es el período en segundos entre el momento en que el equipo es energizado o encendido y el momento en que cumple con los requerimientos de estabilidad, para realizar la lectura de la variable.

3.1.9 *Tiempo de respuesta del equipo de medición.* Es el período en segundos que el equipo requiere para medir y entregar los resultados de los ensayos realizados.

3.1.10 *Sonda de prueba.* Tubo o manguera que se introduce a la salida del sistema de escape del vehículo automotor para tomar una muestra de las emisiones.

DESCRIPTORES: Emisión de gases. Protección del medio ambiente. Calidad del aire. Método de ensayo.

#### 4. DISPOSICIONES GENERALES

**4.1** Los importadores y distribuidores de equipos de medición de emisiones deben obtener una certificación de cumplimiento, expedida por la casa fabricante o propietaria del diseño del equipo o de un laboratorio autorizado por ella y avalada por la autoridad competente del país de origen. El procedimiento de evaluación base para certificar los equipos de medición a ser utilizados debe cumplir con la International Recommendation OIML R 99.

**4.2** Los importadores y distribuidores están obligados a suministrar copia de la certificación establecida en el numeral 4.1, a quienes adquieran los equipos.

**4.3** La autoridad competente, podrá en cualquier momento verificar la legalidad de las certificaciones presentadas por los importadores y distribuidores, sobre el cumplimiento de los requisitos establecidos en esta norma, así como las características de funcionamiento de los equipos y procedimientos utilizados para determinar la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "ralenti", prueba estática.

#### 5. MÉTODO DE ENSAYO

##### 5.1 Fundamento.

**5.1.1** El principio de operación se basa en la absorción de luz infrarroja no dispersa de gases para la determinación de hidrocarburos, monóxido y dióxido de carbono.

**5.1.1.1** El oxígeno se mide utilizando una celda de combustible (fuel cell). Esto no excluye el uso de equipos con otro principio de operación, siempre y cuando sean homologados.

##### 5.2 Equipos

**5.2.1** Ver numeral 4, Disposiciones Generales.

**5.2.2** Capacidad de autocalibración. Los equipos de medición deben tener incorporada la función propia de autocalibración, la cual se debe realizar automáticamente cada vez que el equipo es encendido, o manualmente cada vez que el usuario lo requiera.

**5.2.3** Los equipos de medición deben contar con un dispositivo de impresión directa de los resultados y de la identificación del vehículo automotor medido.

**5.2.4** Los equipos deben contar con un tacómetro para la medición de las revoluciones del motor.

**5.2.5** El equipo debe disponer de características de seguridad que garanticen la protección del operador.

##### 5.3 Calibración

**5.3.1** La calibración del equipo se debe realizar siguiendo estrictamente las especificaciones de frecuencia del fabricante del equipo. En caso que éstas no estén disponibles, la calibración se debe realizar, como máximo, cada tres meses.

**5.3.2** El equipo se debe calibrar luego de cada mantenimiento correctivo.

**5.3.3** La calibración anterior es independiente de la autocalibración automática que realiza el equipo cada vez que es encendido.

**5.3.4** El gas de calibración debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma ISO 6145. Este gas debe contar con una certificación emitida por el fabricante, de acuerdo con lo establecido en la norma anteriormente indicada.

**5.4 Procedimiento de medición**

**5.4.1** Antes de la prueba, realizar las verificaciones siguientes:

**5.4.1.1** Someter al equipo a un período de calentamiento y estabilización, según las especificaciones del fabricante.

**5.4.1.2** Retirar todo material en forma de partículas y eliminar toda sustancia extraña o agua, que se hayan acumulado en la sonda de prueba y que puedan alterar las lecturas de la muestra.

**5.4.1.3** Revisar que la transmisión del vehículo esté en neutro (transmisión manual) o parqueo (transmisión automática).

**5.4.1.4** 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.

**5.4.1.5** 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 los mismos. Las salidas adicionales a las contempladas en el diseño original no deben ser aceptadas, aunque éstas se encuentren bloqueadas al momento de la prueba.

**5.4.1.6** Si el vehículo no cumple con las condiciones establecidas en el numeral 5.4.1.5, la prueba no se debe realizar hasta que se corrijan aquellas.

**5.4.1.7** 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.

**5.4.1.8** Encender el motor del vehículo y verificar que se encuentre a la temperatura normal de operación.

**5.4.2 Medición**

**5.4.2.1** Conectar el tacómetro del equipo de medición al sistema de encendido del motor y verificar las condiciones de marcha mínima o "ralenti".

**5.4.2.2** Con el motor a temperatura normal de operación y en condición de marcha mínima o "ralenti", 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.

**5.4.2.3** Esperar el tiempo de respuesta del equipo de medición dado por cada fabricante.

**5.4.2.4** Imprimir las lecturas estabilizadas de las emisiones medidas.

**5.4.2.5** 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.

**5.5 Informe de resultados**

**5.5.1** El resultado final será la mayor lectura registrada de los valores de las lecturas obtenidas en el numeral 5.4.2.4.

**5.5.2** La institución que realiza la prueba debe emitir un informe técnico con los resultados de la misma, adjuntado el documento de impresión directa del equipo de medición.

**APÉNDICE Z****Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR**

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2204:1998	<i>Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.</i>
Norma ISO 6145-1:86	<i>Gas Analysis Preparation of Calibration Gas Mixtures. Dynamic Volumetric Methods - Part 1 - Methods of Calibration.</i>
International Recommendation OIML R 99.	<i>Instruments for measuring vehicle exhaust emissions. International Organization of Legal Metrology.</i>

**Z.2 BASES DE ESTUDIO**

Norma técnica colombiana ICONTEC 4230. *Gestión ambiental. Aire. Determinación de la concentración de emisiones de escape, en condiciones de marcha mínima o "ralenti"*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá, 1997.



## Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales

### Study of polluting emissions using local fuels

EdD. Pérez Darquea Diego Gustavo  
*Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador*

Autor para correspondencia: [dperez@uide.edu.ec](mailto:dperez@uide.edu.ec)  
Fecha de recepción: 22 de Diciembre de 2017 - Fecha de aceptación: 01 de Marzo de 2018

**Resumen:** La tecnología en el control de emisiones de gases contaminantes se ha desarrollado notablemente en los últimos años ya que los efectos de estos residuos químicos son muy notables en el daño al ecosistema en general, ya que esto se ve reflejado en el calentamiento global y en el efecto invernadero, esto ha permitido que la industria automotriz se concentre en producir vehículos con bajo índice de emisiones para colaborar con el cuidado del medio ambiente, de la misma manera se han perfeccionado los sistemas para que cada vez sea inferior la contaminación en general, ya que de un sistema a carburación se desarrolló un sistema electrónico que redujo considerablemente las emisiones contaminantes. Cada vez se desarrolla más tecnología y la electrónica se impone más sobre ayudar al control de emisiones. El futuro en la industria automotriz para reducir la emisión de gases contaminantes son los vehículos híbridos. La ayuda de equipos sofisticados y especializados para determinar los valores exactos de emisiones de gases contaminantes cumplen un papel fundamental para ayudar al usuario o al técnico en controlar que estos gases no sobrepasen los valores establecidos por el organismo que controla dichos gases.

**Palabras Clave:** gases contaminantes; contaminación ambiental; control de emisiones

**Abstract:** The technology in the control of emissions of polluting gases has developed remarkably in the last years since the effects of these chemical residues are very remarkable in the damage to the ecosystem in general, since this is reflected in the global warming and in the Greenhouse effect, this has allowed the automotive industry to focus on producing vehicles with a low emissions index to collaborate with the care of the environment, in the same way the systems have been improved so that pollution in general is That from a carburizing system an electronic system was developed that considerably reduced pollutant emissions. More and more technology is being developed and electronics are more important to help with emissions control. The future in the automotive industry to reduce emissions of greenhouse gases are hybrid vehicles. The aid of sophisticated and specialized equipment to determine the exact values of emissions of polluting gases play a fundamental role in helping the user or the technician in controlling that these gases do not exceed the values established by the organism that controls those gases.

**Key Words:** contaminant gases; environmental pollution; emission control

### **Introducción**

En el presente artículo se realizó un estudio de comparación de los gases contaminantes en el Ecuador con combustibles locales los cuales son gasolina súper, extra y eco-país para esto, es importante conocer cuáles son los gases expulsados por el motor después de la combustión, además saber las normativas contaminantes del país para comparar y tener datos cuantitativos acerca de cuál es el combustible que menos contamina.

En el país se utiliza 3 tipos de gasolinas: Extra, Súper y Eco-país. En el año 2012 se alcanzó la cifra de 23.6 millones de barriles en todo el país, de este total el 73% corresponde a gasolina Extra, el 22.5% a gasolina Súper, y el 4,5 a Eco-País (Mena Paúl. (2010). Ecuador arranca venta de biocombustible. Junio 2017, de BBC Sitio web: [http://www.bbc.com/mundo/ciencia\\_tecnologia/2010/01/100112\\_0245\\_ecuador\\_gasolina\\_ve\\_rde\\_jrg](http://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/01/100112_0245_ecuador_gasolina_ve_rde_jrg))

La gasolina Eco-país es alcohol etílico anhidrido al 5% en volumen en una mezcla con gasolina extra que se comercializaba como parte de un plan piloto en Guayaquil desde el año 2010. Actualmente hay la posibilidad para escalar ese plan piloto a nivel nacional debido a que el uso de biocombustibles es parte de las estrategias del gobierno actual.

Los gases contaminantes que expulsa el motor son: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Las emisiones contaminantes de gases producidas por el motor de combustión interna son responsables únicamente de un 5 % de las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), son responsables del 25 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), del 87 % de las de monóxido de carbono (CO) y del 66 % de las de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). (Ovando René. (2010). Los gases efecto invernadero. En contaminación atmosférica por bióxido de carbono emitido por vehículos automotores en la ciudad de Torreón (22 - 31). Coahuila - México: Universidad Antonio Narro.)

La principal característica de un combustible es su poder calorífico, que es el calor desprendido por la combustión completa de una unidad de masa de combustible. El calor o poder calorífico, También llamado capacidad calorífica, se mide en julio, caloría o BTU, dependiendo del sistema de unidades. Por todas estas razones se está intentado por todos los medios posibles la reducción de los gases de escape y sus emisiones contaminantes.

La principal fuente de emisión de CO<sub>2</sub> es la combustión que se origina en el uso de combustibles fósiles esto es gas carbón y petróleo; los cuales se utilizan en los procesos industriales, en el sector petrolero y en el transporte.

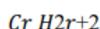
### **Fundamento teórico**

#### *Combustibles*

La gasolina es un producto obtenido en la destilación fraccionada del petróleo crudo, esto significa que depende del crudo que se destile es una fracción única o una mezcla de diversas fracciones, está formada de una mezcla de hidrocarburos de peso molecular no muy elevado debe ser volátil, par que queme fácilmente y para mejorar el arranque en frío, pero no tanto como

para formar demasiado vapor con el tiempo caluroso. (CCT. (2011). Introducción A La Refinación Del Petróleo Y Producción De Gasolina Y Diésel Con Contenido Ultra Bajo De Azufre. Marzo 2017, de  $\pi$ Math Pro Sitio web: [https://www.theicct.org/sites/default/files/ICCT\\_RefiningTutorial\\_Spanish.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/ICCT_RefiningTutorial_Spanish.pdf))

Las gasolinas empleadas en motores de combustión interna satisfacen diversos requerimientos tanto en su etapa de producción como es su posterior rendimiento vehicular, su composición química está formada por moléculas de carbono e hidrogeno normalmente tiene entre 7 y 11 átomos de carbono unidos a átomos de hidrogeno. En el petróleo los átomos de carbono se encuentran unidos por cadenas de diferentes longitudes por lo que las moléculas con distintas longitudes presentan propiedades y comportamientos diversos (Rodger W., Griffin Jr. (1981). Química orgánica moderna. Barcelona - España: REVERTÉ.) La gasolina está formada por hidrocarburos que pertenecen a la familia de los alcanos cuya configuración química es:



De este arreglo obtiene la siguiente lista de hidrocarburos, Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. La estructura molecular consiste en un armazón de átomos de carbono a los que se unen los átomos de hidrógeno.

1.  $n=1$      $C_1 H_4$     *Metano*
2.  $n=2$      $C_2 H_6$     *Etano*
3.  $n=3$      $C_3 H_8$     *Propano*
4.  $n=4$      $C_4 H_{10}$     *Butano*
5.  $n=5$      $C_5 H_{12}$     *Pentano*
6.  $n=6$      $C_6 H_{14}$     *Exano*
7.  $n=7$      $C_7 H_{16}$     *Heptano*
8.  $n=8$      $C_8 H_{18}$     *Octano*

Las primeras cuatro cadenas de alcanos (metano, etano, propano y butano) son gases, a partir de estas y hasta llegar al C18 son líquidos a temperatura ambiente y las cadenas después del C19 son sólidos a temperatura ambiente (Chow Susana. (1987). Petroquímica y Sociedad. México: 1987.) Las series de operaciones efectuadas en una refinería se producen muchos destilados crudos que son tratados químicamente antes de enviarse a los tanques finales de mezclado (Parra Enrique. (2003). Petróleo y gas natural. Madrid - España: AKAL S.A...)

#### *Propiedades físico – químicas*

En términos generales, las características que definen el comportamiento de un combustible en el motor, son el poder antidetonante y la volatilidad, los otros requerimientos limitan la presencia de componentes indeseables a concentraciones tan bajas, de tal manera que no tengan un efecto adverso en el funcionamiento de la máquina.

### *Octanaje*

El octanaje en la gasolina es la medida de su calidad antidetonante, es decir la habilidad que tiene para quemarse sin causar detonación en los motores de combustión interna. Para medir esta propiedad existen tres métodos: Numero de octano (M.O.N), Numero de octano Investigado (R.O.N) y Numero de octano en marcha. (Scott Fogler. (2001). Elementos de ingeniería de las reacciones químicas. España: PEARSON.)

El M.O.N es tomado como una indicación, la habilidad del combustible para evitar la detonación de motores en altas velocidades. El R.O.N mide la tendencia de detonación a bajas velocidades, mientras que el Número de octano en marcha es el que realmente muestra cómo se comporta el combustible en el motor del automóvil.

### *Detonación*

Normalmente la chispa salta en la bujía cuando el pistón está cerca del P.M.S inflama la mezcla y los gases se propagan en todas direcciones principalmente hacia los extremos de la cámara de compresión, teniendo como punto de partida el de la inflamación inicial, así que la fuerza explosiva se aplica de modo rápido pero progresivo al pistón que a su vez se mueve hacia el P.M.I.

### *Combustible Ecopais*

El Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC), en el marco del Cambio de la Matriz Productiva, fomenta la producción de la gasolina ECOPAÍS, un biocombustible compuesto de 5% de bioetanol (proveniente de la caña de azúcar) y un 95% de gasolina base. (Castillo P, Caballero P. (2012). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diésel mexicanos reformulados con Etanol. Ingeniería Investigación y Tecnología, XIII, 14. 2017, De SCIELO Base de datos.)

ECOPAÍS posee el mismo octanaje (87 octanos) y precio de la gasolina Extra. Este proyecto empezó, como fase piloto, el 12 de enero de 2010 en Guayaquil. Para la producción de gasolina Extra con 87 octanos se requiere mezclar un 76% de nafta de alto octano (NAO), las cuales se importan, con 24% de naftas de bajo octano (NBO); mientras que para la producción de ECOPAÍS, con la misma cantidad de octanos, se requiere 62% de NAO, 33% de NBO y un 5% de bioetanol (Castillo P, Caballero P. (2012). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diésel mexicanos reformulados con Etanol. Ingeniería Investigación y Tecnología, XIII, 14. 2017, De SCIELO Base de datos.)

Gracias al alto octanaje de bioetanol, al incorporarlo en la producción de ECOPAÍS, genera una reducción de la producción de NAO en un 14%, lo que implica menos importaciones de este derivado y un efecto positivo en la balanza comercial nacional. En 2010 su habitual enlace sabatino el mandatario oficializó el decreto del ingreso de un nuevo tipo de combustible. Se trata de la denominada Ecopais que tiene como objetivo principal reducir las emisiones de carbono al ambiente.

A diferencia de la gasolina Extra corriente, Ecopais integra un 5% de etanol, una variante de combustible de origen orgánico que proviene del maíz y la caña de azúcar. En el caso de nuestro país se usa caña de azúcar. Desde el 2010 este tipo de combustible ya se comercializa en algunos sectores del litoral ecuatoriano, ahora el reto es que hasta el 2017 Ecopais reemplace en su totalidad el uso de Extra.

Para este propósito se ha establecido que necesitan un promedio de 30.000 hectáreas de suelo para el cultivo de caña, que a su vez generará nuevas fuentes de ingreso y alrededor de 9.000 puestos de trabajo teniendo como estandarte que este será un carburante 100% ecuatoriano.

Correa afirmó que la gasolina de etanol cumple con los mismos estándares de la Extra, en cuanto a potencia y precio, pero dijo que brinda otros beneficios como una mayor protección a los motores. Además, se ahorrarían cerca de 280 millones de dólares por concepto de subsidio al combustible en los siguientes 5 años. Se espera que una vez que se generalice el consumo de Ecopais las emisiones de carbono al ambiente disminuirán considerablemente equivalentes a 80.000 vehículos. (García Christian. (2015). Gasolina Eco-pais reemplazará a Extra hasta el 2017. ACELERANDO, 39, 46.)

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), conducir un automóvil es la actividad individual más contaminante que la mayoría de la gente realiza. (EPA. (1996). Manual de Participación: Publica de la RCRA (RCRA Public Participation Manual). Marzo 2017, de EPA Sitio web <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=10000Y1Z.txt>). Los vehículos a motor liberan millones de toneladas de contaminantes a la atmósfera cada año. En muchas zonas urbanas, los vehículos son los principales responsables de la presencia de ozono a nivel del suelo. Éste es uno de los componentes principales del smog y constituye el problema más grave en términos de contaminación del aire en los estados del noreste y los de la zona media de la Costa Este del país. Además, los automóviles emiten diversos contaminantes clasificados como tóxicos, los cuales son causantes de nada menos que 1.500 casos de cáncer en el país al año. Las emanaciones de los automóviles también son causantes de problemas medioambientales, tales como la lluvia ácida y el calentamiento global del planeta.

Las medidas para el control de la contaminación han permitido reducir drásticamente el nivel de emisiones por vehículo en los últimos veinte años. Sin embargo, durante dicho período el total de millas recorridas se ha duplicado, lo que ha dado lugar a un incremento del nivel de contaminantes del aire en muchos lugares del país.

#### *Contaminación*

Los vehículos emiten tres contaminantes principales: hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono. Los hidrocarburos reaccionan con los óxidos de nitrógeno por acción de la luz solar y a temperaturas elevadas, formando ozono a nivel del suelo, el cual puede causar irritación de los ojos, tos, jadeo, insuficiencia respiratoria y trastornos pulmonares permanentes.

Los óxidos de nitrógeno (NOX) contribuyen a la formación de ozono y de lluvia ácida, además de afectar la calidad del agua. El monóxido de carbono es un gas incoloro letal que

reduce el flujo de oxígeno en el torrente sanguíneo y puede afectar las funciones cerebrales y la visión.

En las zonas urbanas, los vehículos son responsables de nada menos que el 90 por ciento del monóxido de carbono del aire. Los vehículos a motor también emiten grandes cantidades de dióxido de carbono, el cual atrapa la radiación solar reflejada por la superficie terrestre, causando así el calentamiento global.

Los automóviles despiden contaminantes por el tubo de escape como consecuencia de la combustión de la gasolina y a través del capó y del sistema de combustible cuando el calor provoca la evaporación del mismo. La emisión por evaporación tiene lugar diferentes situaciones, como cuando la temperatura exterior en días cálidos y soleados provoca la evaporación de combustible; o cuando el calor del motor y del sistema de escape provoca un aumento de la temperatura del combustible; también si el auto tiene el motor apagado y permanece lo suficientemente caliente como para que el combustible se evapore, es importante saber que al cargar combustible, los vapores de la gasolina escapan del tanque a través del pico, lo que es recomendable cargar de combustible en las primeras horas de la mañana.

La mayor cantidad de contaminantes es emitida durante el "arranque en frío" o durante los minutos que tarda el automóvil en calentarse. (Suarez Víctor. (2007). Salud Ambiental De Los Estados Unidos. Santo Domingo). Dado que un auto se calienta más rápidamente cuando está circulando, se aconseja limitar el tiempo de calentamiento del motor. El aprovechar un mismo viaje para realizar más de una actividad contribuye a disminuir el nivel de emisiones, ya que reduce la cantidad de arranques en frío.

La oferta de vehículos de bajo nivel de emisiones, también llamados "autos californianos", irá en aumento durante los próximos años. (Suarez Víctor. (2007). Salud Ambiental De Los Estados Unidos. Santo Domingo). La diferencia entre estos vehículos y los tradicionales radica en que los primeros poseen un sistema adicional de control de emisiones.

Los gases emitidos por un motor de combustión interna de gasolina son, principalmente, de dos tipos: inofensivos y contaminantes. Los primeros están formados, fundamentalmente, por Nitrógeno, Oxígeno, Dióxido de Carbono, vapor de agua e Hidrógeno. Los segundos contaminantes están formados, fundamentalmente, por el Monóxido de Carbono, Hidrocarburos, Óxidos de Nitrógeno y Plomo.

#### *Gases inofensivos*

El Nitrógeno es un gas inerte que se encuentra presente en el aire que respiramos en una concentración del 79%. Debido a las altas temperaturas existentes en el motor, el Nitrógeno se oxida formando pequeñas cantidades de Óxidos de Nitrógeno, aunque sea un gas inerte a temperatura ambiente. El Oxígeno es uno de los elementos indispensables para la combustión y se encuentra presente en el aire en una concentración del 21%. (Martinez Fernando. (2014). Tipos de gases producidos en la combustión y sus consecuencias. Mayo 2917, de AS Catalizadores Sitio web: [https://www.as-sl.com/pdf/tipos\\_gases.pdf](https://www.as-sl.com/pdf/tipos_gases.pdf))

Si su mezcla es demasiado rica o demasiado pobre, el Oxígeno no podrá oxidar todos los enlaces de Hidrocarburos y será expulsado con el resto de los gases de escape. El vapor de agua se produce como consecuencia de la combustión, mediante la oxidación del Hidrógeno, y se libera junto con los gases de escape.

El Dióxido de Carbono producido por la combustión completa del Carbono no resulta nocivo para los seres vivos y constituye una fuente de alimentación para las plantas verdes, gracias a la fotosíntesis. Se produce como consecuencia lógica de la combustión, es decir, cuanto mayor es su concentración, mejor es la combustión. Sin embargo, un incremento desmesurado de la concentración de Dióxido de Carbono en la atmósfera puede producir variaciones climáticas a gran escala, llamado efecto invernadero.

### Materiales y métodos

La metodología que se va a utilizar para esta investigación es sacar conclusiones mediante los experimentos, para que, de toda la información recolectada, salgan parámetros y datos reales de las consecuencias o beneficios que se pueden dar al usar gasolina extra con o sin aditivo.

#### Lugar

Según las condiciones geográficas el proyecto se realizó a 2800msnm, utilizando los equipos y el laboratorio a esa altura de trabajo. Las pruebas se darán en Quito a la altura antes mencionada, viendo cómo afecta a la emisión de gases factores como la altura, densidad del aire, etc.

#### Vehículo

El vehículo que se va a usar es un Grand Vitara SZ de la línea SUV, cuyo tipo es de los más vendidos en el Ecuador, las marcas Chevrolet y kia son las marcas más cotizadas en el mercado ecuatoriano.

La idea es escoger Chevrolet porque tiene productos globales con diseño y tecnología con altos estándares y un elevado índice de clientes satisfechos. Por lo cual la marca Chevrolet se ha destacado por ser una de las marcas más vendidas en el mercado. Chevrolet es la marca más fuerte en Ecuador y en la región con importantes ventajas competitivas.

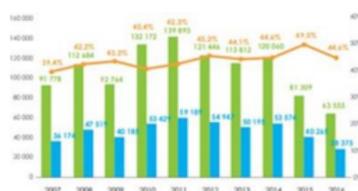


Figura 3. Ventas de vehículos Chevrolet en el Ecuador en los años 2007-2016  
Fuente: El Telégrafo

### *Combustible*

El combustible por utilizar serán los distribuidos a nivel nacional, como es la gasolina extra, la gasolina súper y el eco-país. En noviembre de 2011 llegaron al Ecuador las primeras importaciones de gasolina con 95 octanos, según Petroecuador. En las refinerías del país esta nueva gasolina fue mezclada y procesada con la que se tenía anteriormente. Por ello, el índice de octanaje mejoro en las gasolinas extra (de 81 a 87 octanos) y súper (de 90 a 92 octanos).

El octanaje determina la calidad y la capacidad de consumo en la gasolina. Una gasolina con mayor grado de octanos mejora la potencia y el rendimiento del motor, además disminuye el consumo de combustible. Por lo tanto, las gasolinas a usarse serán la extra y la súper porque resultan ser las más óptimas en el país.

### *Equipo*

Cuando un analizador de gases, se usa en combinación con otros equipos de diagnóstico, se convierte en una de las más importantes herramientas para diagnosticar adecuadamente problemas relacionados con el funcionamiento del motor en general. Un analizador de cuatro gases, está equipado con una bomba de vacío, que arrastra los gases de escape a través de una manguera de muestra insertada en el tubo de escape del automóvil y de ahí al analizador de gases, donde una muestra de gas de escape pasa al interior del analizador; una emisión de luz infrarroja es proyectada a través de la muestra de gas de escape.



Figura 4. Analizador de gases

### *Normativa*

Las normativas 2-203 y 2204 establecen referencias para el control de la emisión de gases. Esta norma establece el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa, en condiciones de marcha mínima o "ralenti". La norma se aplica a los vehículos automotores cuyo combustible es gasolina. Por otro lado, lo fundamental de estas normativas es que permiten regular y controlar a un nivel óptimo la contaminación emitidas por los vehículos.

### Resultados y discusión

En primera instancia se calibra los equipos a por lo que se las muestras fueron utilizadas en tubos de ensayo para las respectivas pruebas.



Figura 5. Materiales a utilizar

Luego de calentar el vehículo por aproximadamente 15 minutos se mide la emisión de gases contaminantes, alrededor de 5 muestras por combustible a estudiar.



Figura 6. Vehículo

Utilizando una bomba de combustible externa cuya presión nominal está en las 30lb, se estandariza la presión de combustible de trabajo en todas las muestras para tener datos comparativos a tabular. Finalmente, con el analizador de gases, se verificó los datos obtenidos después de cada prueba según la normativa.



Figura 7. Bomba gasolina Externa

Las pruebas por realizar serán inicialmente con los combustibles originales en el vehículo, teniendo la gasolina extra, súper, y el eco-país, sin colocar ningún aditivo o elemento que varíe en sus resultados.

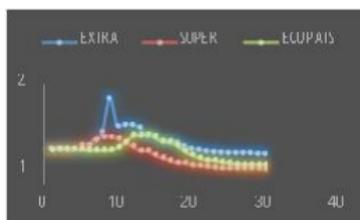


Figura 8. Porcentaje de CO Extra – Súper - Eco país

Las pruebas realizadas se las hicieron con los 3 combustibles teniendo como resultado final puntos máximos de emisiones de gases contaminantes según norma, cuyos valores en CO, no deben pasar los 0,60 en % de CO, pero como se ve en la gráfica existe un pico al momento de acelerar, teniendo una mezcla ligeramente rica, lo que eleva el valor de Co hasta 1,72 y luego es estable en 0,56, con gasolina extra respectivamente y exista una disminución con los 2 combustibles a estudiar.



Figura 9. Porcentaje de HC Extra – Súper - Eco país

En el Ecuador se rige a la norma de INEN 2204 a temperatura normal de 0-1500 el porcentaje de CO no debe exceder de 1,0 y de 1500-3000 el porcentaje es de 1,0 (Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad. (2016). Norma INEN 2204. Julio 2017, de Gestión Ambiental Sitio web: <http://www.aeade.net/wpcontent/uploads/2016/12/PROYECTO-A2-NTE-INEN-2204.pdf>). Considerando la altura, de 0-1500msnm el porcentaje de HC no debe exceder de 200 y de 1500-3000 el porcentaje es de 200. La mezcla de prueba, la cual fue 0,01ml de aditivo en 300 ml de gasolina, se determinó realizando una regla de tres que nos permitió garantizar la prueba.

En las Figuras de la primera prueba (Gasolina extra), se puede observar que, a los 6 segundos los niveles de CO comienzan manteniéndose bajos con 0,7 hasta los 9 segundos donde alcanza un valor de 1,72. Inmediatamente ocurre una depreciación a los 10 segundos de 1,17, los cuales al finalizar la prueba en el segundo 30 se obtiene un dato de 0,62, que está dentro de la norma INEN 2204. En el Figura de ppm HC se puede observar que a los 8 segundos los niveles de HC comienzan relativamente bajos con 175 ppm, manteniéndose bajo hasta los 11 segundos, donde alcanza las 198ppm. A partir de este momento, comienza un incremento de los valores, los cuales se elevan y llegan a los 235 ppm al finalizar la prueba en los 30 segundos.

En cuanto a los gases emitidos en la tercera prueba con el Eco-Pais parte de los siguientes valores: CO 0.68% vol, CO2 14.3% vol, HC 159 ppm vol, O2 0.85% vol,  $\lambda$ /NOX 1.013, RPM/

CO 0. Los cuales dentro del rango de 0 a 30 segundos fueron variando de forma que oscilan (oscila como se ve en la gráfica) hasta llegar al tiempo límite y verificar valores con los valores ya determinados por las normas INEN. Los valores finales de la prueba son: CO 0.39% vol, CO<sub>2</sub> 14.5% vol, HC 194 ppm vol, O<sub>2</sub> 0.75% vol,  $\lambda$ /NOX 1.016, RPM/ CO 0. Así se evidencia que el auto de prueba estaba dentro del rango aceptado para circular.

### Conclusiones

Realizando las pruebas, se evidencia de manera clara que los dos combustibles tienen comportamientos favorables según norma ya que los 2 de ellos bajan momentáneamente los niveles de emisiones de gases, pasando sin problema las revisiones vehiculares.

Es importante considerar las variables en las que se realiza las pruebas, ya que además del tipo de octanaje del combustible influye elementos como la altura, densidad del aire, humedad relativa, por lo que en base a estos parámetros los valores de emisiones de gases contaminantes que emite el combustible Extra en relación al Eco-País presenta valores similares en el porcentaje de HC, mientras que al analizar el CO, el combustible Eco-País presenta condiciones similares emisiones con la gasolina Súper obteniendo como resultado.

En las pruebas, se observa que la gasolina Súper actúa favorablemente, ya que los valores oscilan, pero de manera más favorable. El valor inicial de CO es 0,69; el final es 0,31. El único valor que sube de manera notable es en los 8 segundos donde emite un valor de 0,95. En el Figura de ppm HC ocurre algo similar, donde el valor inicial es 106 y el valor final es 147. Se obtiene un valor un poco alto en relación al valor final, el cual se dio en el rango de 12 a 17 segundos.

### Bibliografía

- Castillo, P, & Caballero, P. (2012). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diésel mexicanos reformulados con Etanol. Ingeniería Investigación y Tecnología, XIII, 14. 2017, De SCIELO Base de datos
- CCT. (2011). Introducción A La Refinación Del Petróleo Y Producción De Gasolina Y Diésel Con Contenido Ultra Bajo De Azufre. Marzo 2017, de  $\pi$ Math Pro Sitio web: [https://www.theicct.org/sites/default/files/ICCT\\_RefiningTutorial\\_Spanish.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/ICCT_RefiningTutorial_Spanish.pdf)
- Chow, S. (1987). Petroquímica y Sociedad. Mexico: 1987.
- EPA. (1996). Manual de Participación: Publica de la RCRA (RCRA Public Participation Manual). Marzo 2017, de EPA Sitio web <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=10000Y1Z.txt>
- García, C. (2015). Gasolina Eco-país reemplazará a Extra hasta el 2017. ACELERANDO, 39, 46.
- Martínez, F. (2014). Tipos de gases producidos en la combustión y sus consecuencias. Mayo 2917, de AS Catalizadores Sitio web: [https://www.asl.com/pdf/tipos\\_gases.pdf](https://www.asl.com/pdf/tipos_gases.pdf)

- Men, P. (2010). Ecuador arranca venta de biocombustible. Junio 2017, de BBC Sitio web: [http://www.bbc.com/mundo/ciencia\\_tecnologia/2010/01/100112\\_0245\\_ecuador\\_gasolina\\_verde\\_jr\\_g](http://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/01/100112_0245_ecuador_gasolina_verde_jr_g)
- Ovando, R. (2010). Los gases efecto invernadero. En contaminación atmosférica por bióxido de carbono emitido por vehículos automotores en la ciudad de Torreón (22 - 31). Coahuila - México: Universidad Antonio Narro.
- Rodger W., & Griffin Jr. (1981). Química orgánica moderna. Barcelona - España: REVERTÉ.
- Scott Fogler. (2001). Elementos de ingeniería de las reacciones químicas. España: PEARSON.
- Suarez, V. (2007). Salud Ambiental De Los Estados Unidos. Santo Domingo
- Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad. (2016). Norma INEN 2204. Julio 2017, de Gestión Ambiental Sitio web: <http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2016/12/PROYECTO-A2-NTE-INEN2204.pdf>



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**

**Trabajo de fin de Carrera titulado:**

COMPARATIVA DE LOS FACTORES DE EMISIÓN ENTRE EL CICLO EUROPEO  
Y EL FTP75 PARA UN VEHÍCULO DE CICLO OTTO CATEGORÍA M1

**Realizado por:**

Bryan Javier Zurita Aguiar

**Director del proyecto:**

Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, PhD.

**Como requisito para la obtención del título de:**

INGENIERO MECANICO AUTOMOTRIZ

QUITO, Octubre del 2022

**Figura 18.**

*Chevrolet Aveo activo*



**Tabla 10.**

*Datos generales del automovil*

Datos generales			
Marca	Chevrolet	Kilometraje	100806
Modelo	Aveo activo 1,6L 4P STO	VIN Chasis	8LATD5864CO117760
Fabricante	General Motors	Cilindros	4 cilindros en línea

## 2.2 Equipos utilizados

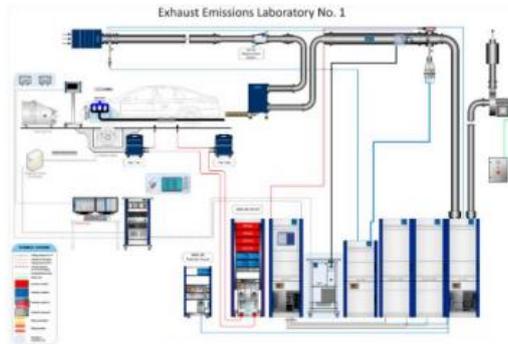
### 2.2.1 Laboratorio de ensayo de emisiones CCICEV

El laboratorio se encuentra dividido por dos partes, la sala de control y la cabina de ensayo, donde se encuentra los equipos de mediciones como: el dinamómetro, tunel de viento, analizador de gases, aquellos se encuentran conectados con la sala de mando, encargada del manejo y la configuración de cada equipo.

---

**Figura 19.**

*Diagrama de conexión del laboratorio*



#### 2.2.1.1 Dinamómetro AIP ECDM-48L

*Emission Chassis Dynos* para vehículos y motocicletas con tracción trasera, delantera o en todas las ruedas, etc. Cumple con las especificaciones de EE. UU. "EPA RFP C100081 T1", así como con los requisitos de las directrices europeas y japonesas actuales.

##### 2.2.1.1.1 Aplicaciones

En investigación, centros de desarrollo, fabricantes de automóviles y sus proveedores (dos ruedas motrices o tracción total).

##### 2.2.1.1.2 Características

- Juego de rodillos de 48" (1219 mm) con motor de CA para LDV y MDV
- Simulación de masa precisa y reproducible
- La precisión supera los requisitos de la EPA
- Diseño extremadamente compacto
  - Dimensiones de foso estrecho

- Construcción de bajo desgaste y bajo mantenimiento para múltiples turnos de operación
- Concepto de rodamiento inteligente
  - No se requiere calentamiento del banco de pruebas
- Concepto de banco de pruebas modular para diversas aplicaciones y presupuestos
- Rápida disponibilidad de datos
- Configuración y operación sencillas e intuitivas del banco de pruebas
- Interfaz con los sistemas estándar de medición de emisiones

**Figura 20.**

*Dinamómetro AIP ECDM-48L*



Nota:( Bosmal, 2019)

#### *2.2.1.2 Low remote mix tee (LL-RMT)*

Es un mezclador que está conformado por un tubo Venturi y un filtro cuya función es recoger los gases de escape provenientes del automóvil y además recoge el aire que se encuentra en la cabina de pruebas para obtener una mayor exactitud en los resultados.

61

**Figura 21.**

*Low remote mix tee (LL-RMT)*



Nota:( HORIBA ,2012)

**2.2.1.3 Constant volume sampler(cvs-7400s)**

En esta primera parte Ofrece una amplia gama de opciones de caudal de dilución y funcionalidad de línea de muestra principal independiente. Un sistema cubre las pruebas para una amplia variedad de aplicaciones, como diversas pruebas de motores/vehículos, y varios tipos de combustible (gasolina, diésel y combustible alternativo).

**Figura 22.**

*Constant volume sampler(cvs-7400s)1*



Nota: (HORIBA, 2012)

En esta segunda parte se recolecta los gases de escape, para posterior guardarse en bolsas según el análisis a requerir. Permitiendo tener una mayor precisión.

---

**Figura 23.**

*Constant volume sampler(cvs-7400s)2*



Nota: (HORIBA 2012)

#### 2.2.1.4 Constant volume sampler(cvs-7400s)

Este analizador de gases es un sistema controlado por un ordenador de control y una serie de complejos sistemas de análisis y descomposición de gases a través de filtros y gases químicos que sirven para realizar la descomposición de la muestra recogida en los diferentes gases de los que se quiere obtener información.

El ordenador muestra en la pantalla la descomposición de la muestra en los diferentes gases al igual que las magnitudes en las que son medidos cada uno de los gases. Los gases que puede medir son los que se muestran a continuación y las magnitudes en las que los mide son partes por millón (ppm) de gas analizado y en tanto por cien de muestra evaluada. Por lo tanto, permite el análisis de motores a gasolina, DIESEL, y a gas natural.

- Monóxido de carbono
- Dióxido de carbono,
- Propano,
- Oxígeno

- 
- Óxido de nitrógeno.

**Figura 24.**

*Constant volume sampler(cvs-7400s)*



Nota: (HORIBA 2012)

#### 2.2.1.5 Soplador de viento

Ventilador de flujo de aire con distribución de descarga homogénea según WLTP, GTR15 y USS §1066. Regulación eléctrica de altura, y railes telescópicos. El soplador de viento reemplaza el viento que falta en pruebas de rendimiento y simulaciones de conducción con vehículos de motor en dinamómetros de rodillos. El flujo de aire generado se inyecta en el radiador del vehículo debajo del vehículo

**Figura 25.** *Soplador de viento*



Nota: (WMB 1996)

#### 2.2.1.6 Boquillas

Estas boquillas permiten tener un mejor acoplamiento al tubo de escape, y cuentan con varios tipos de media según sea el caso.

**Figura 26.**

*Boquillas*



#### 2.2.1.7 Equipo de seguridad

Este equipo de seguridad consta de correas los cuales nos permiten tener un mejor control de cualquier movimiento brusco que pueda suscitarse, también se implementa seguros para las llantas posteriores garantizando que el vehículo no pueda salir proyectado hacia adelante.

**Figura 27.**

*Correas y seguros*



### *2.3 Protocolo de pruebas con el ciclo Europeo y Americano*

#### *2.3.1 Ensayo europeo*

Para estas pruebas se ha escogido el procedimiento del ciclo ECE+EUDC y se utiliza combustible super para efectuar los ensayos, la configuración de los equipos debe realizarse de acuerdo con la norma Europea y INEN.

#### *2.3.2 Ensayo Americano*

Para estas pruebas se ha escogido el procedimiento del ciclo FTP 75 y se utiliza combustible super para efectuar los ensayos, la configuración de los equipos debe realizarse de acuerdo con la norma Americana y INEN.

#### *2.3.3 Acondicionamiento del vehículo*

posicionar las ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos del dinamómetro de forma recta en dirección de marcha.

#### **Figura 28.**

##### *Colocación de vehículo*



Fijar el vehículo al dinamómetro por medio de correas de tensión al gancho de remolque, juntamente con los seguros de las ruedas posteriores.

**Figura 29.**

*Puesta de seguros*



Instalar la boquilla al final del tubo de escape y el colector de gases.

**Figura 30.**

*Instalación tubo de emisiones*



Verificar que el auto alineado con la salida de aire del ventilador

**Figura 31.**

*Alineación tunel de viento*



---

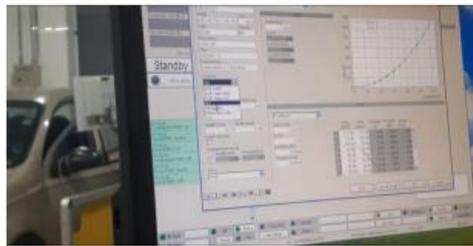
## 2.4 Configuración de equipos

### 2.4.1 Configurar de la consola del dinamómetro

Consiste en registrar el vehículo de prueba, donde se ubica los datos básicos que posee el auto, la normativa a utilizar (Europea y Americana), además se calcula el coeficiente de inercia, finalmente se activa el ventilador.

#### Figura 32.

*Configurar de la consola del dinamómetro*



Poner en marcha el analizador de gases y el recolector de datos(dinamómetro). El sistema debe calibrarse y esperar que los equipos tomen las temperaturas necesarias de funcionamiento, esto lo realiza automáticamente

### 2.4.2 Configuración de la consola del analizador de gases (ciclo Europeo EUDC)

Consiste en guardar especificaciones técnicas del vehículo en la base de datos y se pone en marcha la prueba dando paso a un nuevo menú en el cual se ingresa el flujo a evaluar y el ciclo (MVEG-A MANUAL) indicado por la norma INEN 2204, posteriormente inicia el ciclo.

**Figura 33.**

*Configuración de la consola del analizador (ciclo Europeo EUDC)*



8.-Se da paso a la conducción el vehículo siguiendo la ruta pre establecida por el equipo, procurando estar dentro de la zona de tolerancia de la prueba.

**Figura 34.**

*Ciclo primera fase.*



Una vez finalizado la primera fase, continuamos con el ciclo extra urbano (carretera) fase 2.

**Figura 33.**

*Configuración de la consola del analizador (ciclo Europeo EUDC)*



8.-Se da paso a la conducción el vehículo siguiendo la ruta pre establecida por el equipo, procurando estar dentro de la zona de tolerancia de la prueba.

**Figura 34.**

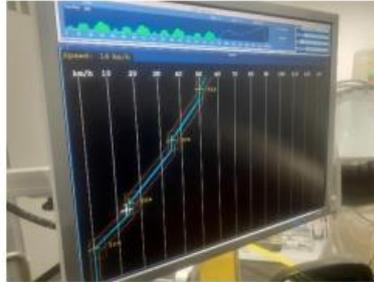
*Ciclo primera fase.*



Una vez finalizado la primera fase, continuamos con el ciclo extra urbano (carretera) fase 2.

**Figura 35.**

*Ciclo segunda fase.*



### 2.4.3 Configuración de la consola del analizador de gases (ciclo Americano EUDC)

Consiste en guardar especificaciones técnicas del vehículo en la base de datos y se pone en marcha la prueba dando paso a un nuevo menú en el cual se ingresa el flujo a evaluar y el ciclo (EUDC-A MANUAL) indicado por la norma INEN 2204, posteriormente inicia el ciclo.

**Figura 36.**

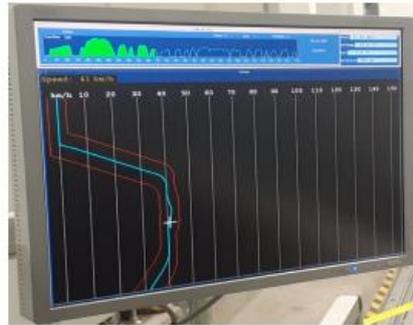
*Configuración de la consola del analizador de gases (ciclo Americano EUDC)*



Se da paso a la conducción el vehículo siguiendo la ruta pre establecida por el equipo, procurando estar dentro de la zona de tolerancia de la prueba.

**Figura 37.**

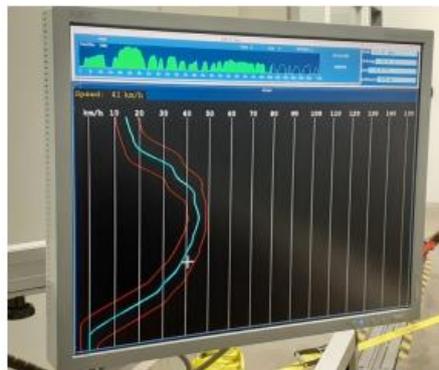
*Ciclo primera fase o arranque en frío*



Una vez finalizado la fase 1, continuamos con el ciclo en la fase 2 estabilizada (carretera) fase 2.

**Figura 38.**

*Ciclo segunda fase estabilizada.*



Finalizado la fase 2, se deja el vehículo en reposo por 10 minutos establecido por la norma, y se finaliza con la fase 3 o arranque en caliente.



Los gases ya mezclados pasan a la primera etapa del equipo de disolución (CVS-7400S) mediante el cual son disueltos por el aire que entra de la atmosfera en una concentración específica (flujo constante) se obtiene una lectura correcta.

**Figura 41.**

*Primera parte de análisis (disolución)*



Ya diluidos los gases pasan a la fase de recolección en el muestreador de flujo constante, existe tres bolsas para cada gas, aire, gasolina, diésel.

**Figura 42.**

*Recolección de gases*

### 3 Resultados y discusión de resultados

#### 3.1 Resultado de pruebas con el ciclo Europeo NEDC

##### 3.1.1 Ensayo 1 emisiones de gases dinámicos

Se obtiene los valores de la primera medición, en los cuales se indica el comportamiento de los gases en ciclo dividido en fase 1(urbano) y fase 2(carretera) con la medida del ambiente de la sala y el consumo de combustible.

**Tabla 11.**

*Resultados preliminares*

Resultados	HC (ppm)	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	NMHC (ppm)	Gases analizados
<b>Fase 1(Urbano)</b>						Con los resultados de los gases del ambiente y muestra se hace una correlación, para la fase 1 y 2
Muestra	23.766	116.366	16.119	0,493	20,499	
Ambiente	3.781	0,304	0,049	0,044	1,799	
Net Concentración	20.128	116,074	16,071	0,452	18,768	
<b>Fase 2(Carretera)</b>						Se realiza una corrección según la norma Euro
Muestra	6,925	43,496	23,291	0,851	3,606	
Ambiente	3,518	0,401	0,075	0,044	1,554	
Net Concentración	3,632	43,121	23,221	0,811	2,151	
<b>Masa Resultante(gramos)</b>						Con los valores en unidad de masa se realiza una ponderación entre fase 1 y 2 obteniendo un dato por cada gas
Fase 1	1,13	13,147	2,674	804,267	1,054	
Fase 2	0,104	2,495	1,973	737,314	0,062	
Corrección masa (g)	0,002	0,017	0,004	1,187	0,002	
Corrección masa (g)	0	0,003	0,003	1,067	0	
<b>Resultados Masa(g/km)</b>						
Fase 1	0,282	3,282	0,668	200,777	0,263	
Fase 2	0,015	0,359	0,284	106,087	0,009	
(Fase 1,2) Ponderado	0,113	1,428	0,424	140,705	0,009	

Se conoce el consumo de combustible en función de las emisiones.

**Tabla 12.**

*Consumo de combustible de prueba*

<b>Consumo de combustible(L/100km)</b>	
Fase 1	8,817
Fase 2	4,549
(Fase 1,2) Ponderado	6,109

Se toma los resultados de las siguientes 2 mediciones aquellas detalladas en (Anexos,7.9, 7.10) para obtener los resultados del ensayo.

**Tabla 13.**

*Resultados finales del ensayo*

Parámetros	CO(g/km)	HC(g/km)	Secuencia de ensayo		
			NO <sub>x</sub> (g/km)	CO <sub>2</sub> (g/km)	NMHC(g/km)
Medición 1	1,428	0,113	0,424	140,705	0,102
Medición 2	0,911	0,101	0,362	141,666	0,092
Medición 3	0,701	0,087	0,376	144,657	0,079

Se conoce el consumo de combustible en función de las emisiones

**Figura 44.**

*Consumo de combustible del ensayo*

Consumo combustible (km/L)	
Medición 1	6.109
Medición 2	6.114
Medición 3	6.226

### 3.2 Resultado de pruebas con el ciclo con el ciclo FTP 75

#### 3.2.1 Ensayo 1 emisiones de gases dinámicos

Se obtiene los valores de la primera medición, en los cuales se indica el comportamiento de los gases en ciclo dividido en fase 1 (arranque frío), fase 2 (transitoria caliente), fase 3 (arranque caliente) y con la medida del ambiente de sala y el consumo de combustible.

**Tabla 14.**

*Resultados preliminares*

Resudados	HC (ppm)	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	NMHC (ppm)
<b>Fase 1(Arranque frio)</b>					
Muestra	25,536	119,603	38.694	0,742	22,005
Ambiente	2,183	2,538	0,056	0,046	0,173
Net Concentración	23,477	117,208	38,641	0,698	21,876
<b>Fase 2(Transitoria caliente)</b>					
Muestra	5,157	38,403	12,431	0,580	2,189
Ambiente	2,647	2,398	0,031	0,046	0,610
Net Concentración	2,625	36,109	12,401	0,536	1,606
<b>Fase 3(Arranque caliente)</b>					
Muestra	12,571	110,686	21,446	0,663	9,035
Ambiente	2,618	2,398	0,035	0,047	0,599
Net Concentración	10,0,85	107,968	21,413	0,619	8,466
<b>Masa Resultante(gramos)</b>					
Fase 1	0,855	8,617	4,073	807,327	0,797
Fase 2	0,165	4,580	2,254	1068,418	0,101
Fase 3	0,364	7,861	2,234	708,206	0,306
Corrección masa (g)	0,001	0,011	0,006	1,166	0,001
Corrección masa (g)	0	0,007	0,003	1,569	0
Corrección masa (g)	0,001	0,010	0,003	1,035	0,001
<b>Resultados Masa(g/km)</b>					
Fase 1	0,148	1,486	0,703	139,264	0,138
Fase 2	0,026	0,730	0,359	170,198	0,016
Fase 3	0,063	1,357	0,386	122,220	0,053
(Fase 1,2) Ponderado	0,061	1,057	0,437	150,685	0,051

Gases analizados  
Con los resultados de los gases del ambiente y muestra se hace una correlación, para la fase 1,2,2

Se realiza una corrección según la norma EPA

Con los valores en unidad de masa se realiza una ponderación entre fase 1 ,2, 3 obteniendo un dato por cada gas

Se conoce el consumo de combustible en función de las emisiones.

**Tabla 15.**

*Consumo de combustible de prueba*

<b>Consumo de combustible(L/100km)</b>	
Fase 1	6,198
Fase 2	7,148
Fase 3	5,326
(Fase 1,2) Ponderado	6,45

Se toma los resultados de las siguientes 2 mediciones aquellas detalladas en (Anexos 7.11, 7.12), para obtener los resultados del ensayo.

**Tabla 16.**

*Resultados finales del ensayo*

Parámetros	Secuencia de ensayo				
	CO(g/km)	HC(g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	CO <sub>2</sub> (g/km)	NMHC(g/km)
Medición 1	1,057	0,061	0,437	150,685	0,051
Medición 2	1,200	0,068	0,468	149,195	0,057
Medición 3	1,130	0,018	0,500	147,286	0,018

Resultados consumo de combustible de las mediciones del ensayo

**Tabla 17.**

*Consumo de combustible del ensayo*

Consumo combustible (km/L)	
Medición 1	6,503
Medición 2	6,450
Medición 3	6,357

### 3.3 Análisis de resultados

#### 3.3.1 Análisis de resultados del ensayo Europeo (NEDC)

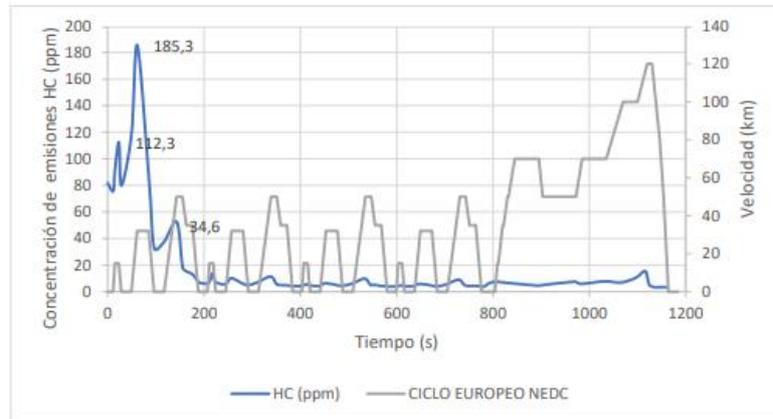
Se realiza un estudio con los datos obtenidos de las concentraciones de gases de CO, HC y NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, mediante gráficas, las cuales muestran el comportamiento de cada uno de ellos durante todo el ciclo.

##### 3.3.1.1 Gráfica de concentración de emisiones de HC

Se muestra los resultados obtenidos en las tres mediciones, aquellas se encuentran dentro del rango de tolerancia establecido por la norma Euro. En el caso que existe algún resultado fuera de los parámetros, se considera un dato atípico y la prueba tendrá que ser repetida.

**Figura 46.**

*Media de las concentraciones de HC con respecto al tiempo,*

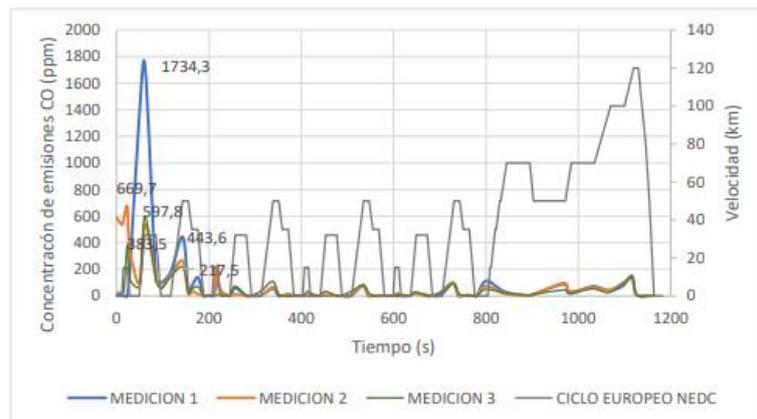


### 3.3.1.2 Gráfica de concentraciones de emisiones de CO

Se muestra los resultados obtenidos en las tres mediciones, aquellas se encuentran dentro del rango de tolerancia, se observa los puntos más altos al inicio de los 200 segundo (arranque en frío).

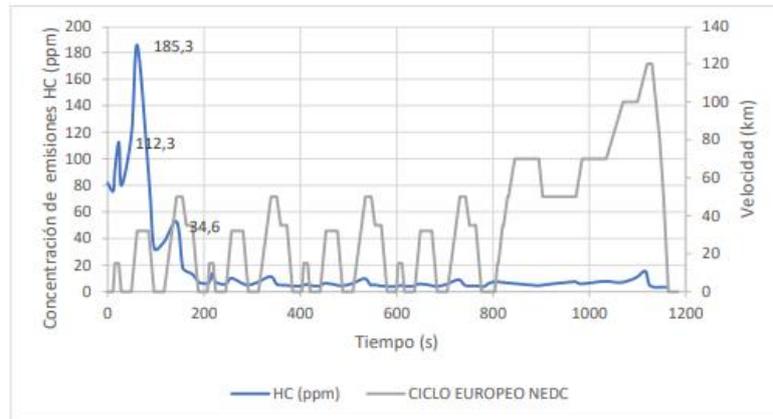
**Figura 47.**

*Mediciones de las concentraciones de CO con respecto al tiempo,*



**Figura 46.**

*Media de las concentraciones de HC con respecto al tiempo,*

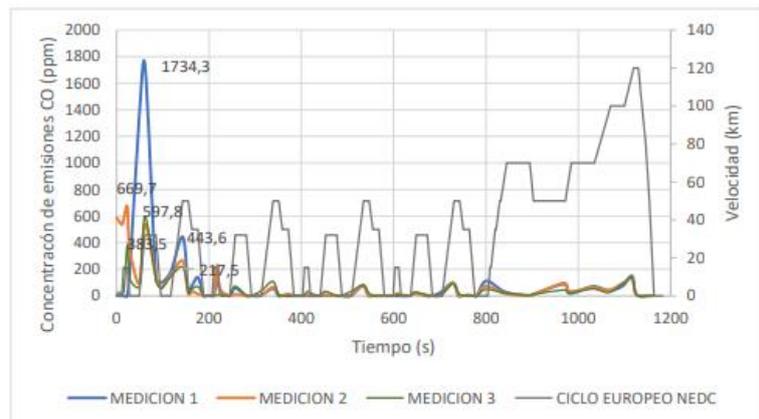


**3.3.1.2 Gráfica de concentraciones de emisiones de CO**

Se muestra los resultados obtenidos en las tres mediciones, aquellas se encuentran dentro del rango de tolerancia, se observa los puntos más altos al inicio de los 200 segundo (arranque en frío).

**Figura 47.**

*Mediciones de las concentraciones de CO con respecto al tiempo,*

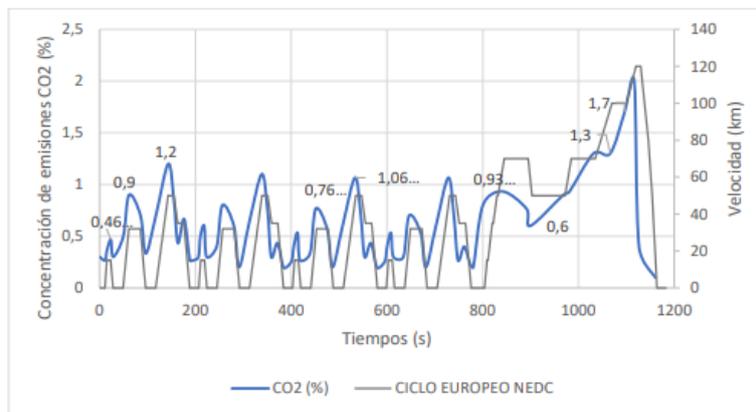


Se realiza una media de los resultados, para tener un valor específico de concentración de  $CO_2$ .

Al igual que en la figura 51 se muestra las concentraciones de  $NO_x$  regular en el periodo de fase urbana, mientras que en la fase extra urbana tiene un crecimiento al aumentar la aceleración,

**Figura 52.**

*Media de las concentraciones de  $CO_2$ , con respecto al tiempo.*

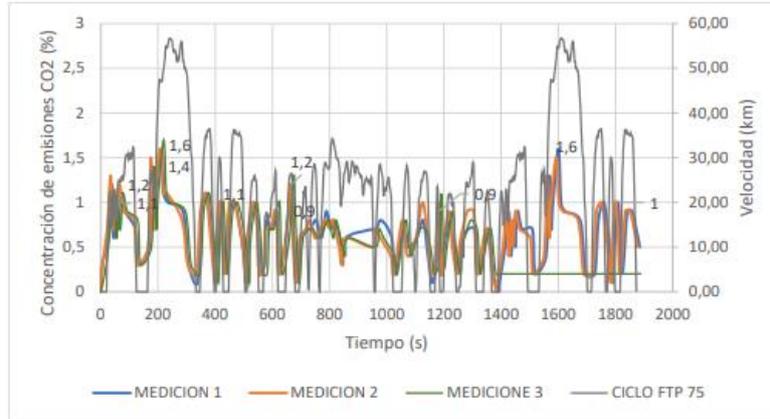


### 3.3.1.5 Consumo de combustible

Se obtiene el consumo de combustible en donde no existe una variación significativa entre las mediciones.

**Figura 60.**

*Mediciones de las concentraciones de  $CO_2$  con respecto al tiempo.*



Se realiza una media de los resultados, para tener un valor específico de concentración de  $CO_2$ .

Al igual que en la figura 60 se muestra las concentraciones de  $CO_2$  irregular dependiendo de la demanda exigida por el ciclo, a mayor aceleración mayor gases quemados, independientemente de cada fase.

Al analizar las figuras 66,67 y 68 se puede obtener lo siguiente:

Los factores de emisión vehicular del CO, NMHC y  $NO_x$  obtenidos con el ciclo FTP 75 y comparados con los factores de la NTE INEN 2204, y para vehículos con tecnología EURO II,

Se aprecia que los valores de los gases CO y NMHC se encuentran por debajo de los límites de la norma, con excepción de los  $NO_x$  que se encuentran por encima de los parámetros establecidos, El contaminante se produce cuando se supera la temperatura dentro de la cámara de combustión excediendo los 2500 grados Fahrenheit(1300 grados centígrados ) la principal causa es la relación de aire combustible en la cual intervienen el buen estado y funcionamiento de los componente que conforman el sistema de inyección existen, otros factores pueden ser: la calidad del combustible , la vida útil del catalizador, por lo tanto, no podrá ser aprobado en emisiones contaminantes en el ciclo FTP 75.

### *3.3.5 Análisis comparativo entre los factores de emisión vehicular obtenidos con el ciclo Americano FTP 75 y Europeo NEDC.*

La norma europea y americana poseen diferentes parámetros de ensayos para cada ciclo(FTP75 Y NEDC) una de las principales diferencias está en la configuración de sus ciclos.

En el americano tenemos tres fases (arranque en frío, estado estable, arranque en caliente) y el europeo dos fases (urbano y carretera).

Cada ciclo tiene distintos tiempos de prueba, el americano con 17,77 km de recorrido en 1874 s con una velocidad máxima de 90 km/h a diferencia del europeo el cual tiene un recorrido de 11,12 km/h en 1200 s con una velocidad máxima de 120km/h. Debido a las razones mencionadas no hay forma de comparar directamente entre ciclos como se puede ver en la figura 69.

Aunque no existe una relación directa, existe una correlación por parte de los factores de emisiones y consumo de combustible.

*3.3.5 Análisis comparativo entre los factores de emisión vehicular obtenidos con el ciclo Americano FTP 75 y Europeo NEDC.*

La norma europea y americana poseen diferentes parámetros de ensayos para cada ciclo(FTP75 Y NEDC) una de las principales diferencias está en la configuración de sus ciclos.

En el americano tenemos tres fases (arranque en frío, estado estable, arranque en caliente) y el europeo dos fases (urbano y carretera).

Cada ciclo tiene distintos tiempos de prueba, el americano con 17,77 km de recorrido en 1874 s con una velocidad máxima de 90 km/h a diferencia del europeo el cual tiene un recorrido de 11,12 km/h en 1200 s con una velocidad máxima de 120km/h. Debido a las razones mencionadas no hay forma de comparar directamente entre ciclos como se puede ver en la figura 69.

Aunque no existe una relación directa, existe una correlación por parte de los factores de emisiones y consumo de combustible.

#### *4.1 Recomendación*

Es sumamente importante respetar los protocolos que tiene cada ciclo para obtener una lectura correcta de cada medición las cuales no salgan de los rangos establecidos entre prueba y prueba de cada ensayo caso contrario habría que repetir la prueba.

Realizar los ensayos en equipos que se encuentren correctamente calibrados y logran alcanzar las temperaturas de funcionamiento adecuadas en cada intervalo de mediciones por ensayo.

Como una medida precauteladora de evaluación para un vehículo debe tomar en cuenta el lugar de procedencia o fabricante para asignar el ciclo.

Es necesario contar con un combustible de acuerdo con las normas de cada ciclo ya que los resultados podrían verse afectados