

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Maestría Titulado:

“Evaluación de la contaminación producida por un vehículo con sistema de inyección MPFI y GDI, mediante pruebas estáticas”

Realizado por:

JOSÉ ANDRÉS BELTRÁN RUIZ

Director del proyecto:

Ing. EDILBERTO LLANES CEDEÑO, Ph.D.

Como requisito para la obtención del título de:

MÁSTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

Quito, 30 de diciembre de 2020

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, JOSÉ ANDRÉS BELTRÁN RUIZ, con cédula de identidad # 172030093-6, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

A photograph of a handwritten signature in blue ink on a light-colored surface. The signature is stylized and appears to read 'José Beltrán'.

JOSÉ ANDRÉS BELTRÁN RUIZ

1720300936

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS”

Realizado por:

JOSÉ ANDRÉS BELTRÁN RUIZ

como Requisito para la Obtención del Título de:

MÁSTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL, MENCIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

ha sido dirigido por el profesor

Ing. EDILBERTO LLANES CEDEÑO, Ph.D.

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Edilberto Llanes Cedeño', written in a cursive style.

FIRMA

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

PAOLO SALAZAR ALVEAR

JULIO CESAR LEGUISAMO MILLA

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



FIRMA



FIRMA

Quito, 30 de DICIEMBRE de 2020

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

DEDICATORIA

Pese a lo complicado que se ha tornado alternar entre los trabajos, el tiempo en casa y los estudios, mi familia siempre me ha apoyado en la consecución de mis metas, por lo que este trabajo es dedicado a ellos, quienes me han sabido entender y apoyar de cualquier manera en las ausencias que ha causado el estudio.

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

AGRADECIMIENTO

Es muy especial agradecer a toda mi familia por el apoyo dado, que cuando por diversos factores perdía mi norte siempre me ayudan de diferentes maneras a volver a mi camino.

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

Para someter a:

To be submitted:

“Evaluación de la contaminación producida por un vehículo con sistema de inyección MPFI y GDI, mediante pruebas estáticas”

José Andrés Beltrán¹, Edilberto Llanes Cedeño²

¹ Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.

² Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA:

Teléfono: 0995651967; joseandresbeltran_16@hotmail.com

Título corto o Running title: Análisis de contaminación entre inyección directa e indirecta a gasolina

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

RESUMEN

En la actualidad el transporte, en todas sus modalidades es el principal consumidor de combustibles fósiles en el Ecuador, por lo que eso representa un alto grado de gasto energético y potencial contaminante ambiental que se debe tomar en cuenta desde el punto de vista de la eficiencia energética. En el presente proyecto de grado se pretende Evaluar el nivel de contaminación de dos tecnologías de inyección en motores de encendido provocado, mediante prueba estática de gases, usando diferentes tipos de gasolinas, para la selección de la tecnología menos contaminante. La metodología aplicada es el análisis estático de gases al usar gasolina Extra, Super y Ecopaís en los sistemas de inyección directo e indirecto usando un cánister como recipiente portador del combustible. El análisis de resultados se lo realiza mediante el software Statgraphics que, a través de la formación de combinaciones entre las variables independientes para el análisis en la variación de las variables dependientes, identificando así el sistema de alimentación y combustible menos contaminante en motores de encendido provocado. En la investigación se determinó que el sistema de inyección directa genera, 54 ppm de HC al usar gasolina Ecopaís, 42,75 ppm al usar gasolina Extra y 31, 75 ppm con gasolina Super , el valor de CO fue de 0.45% en al usar gasolina Ecopaís, 0.14% con gasolina Extra y 0.26% y el sistema de inyección multipunto genera en HC 1.25 ppm con gasolina Ecopaís, 0.75 ppm con gasolina Extra y 6 ppm al usar gasolina Super, un valor de CO 0% con gasolina Ecopaís, 0% con gasolina Extra y 0% al usar gasolina Super y en el caso del O₂ en valor es de 0.7% con gasolina Ecopaís, 0.21% con gasolina Extra y 0.55% al usar gasolina Super, de lo anterior expuesto se puede identificar que el sistema de alimentación multipunto genera menores contaminantes y también que el emplear gasolina Ecopaís es una opción muy viable en la disminución de contaminantes.

Palabras clave: Inyección directa, Inyección indirecta, análisis de gases, Prueba estática, Ecopaís

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

ABSTRACT

Currently, transport, in all its forms, is the main consumer of fossil fuels in Ecuador, so that represents a high degree of energy expenditure and potential environmental pollutants that must be taken into account. aims to evaluate the level of contamination of two injection technologies in provoked ignition engines, static test using different types of gasoline, for the selection of the best technology. The applied methodology is the static analysis of gases when using Extra, Super and Ecopaís gasoline in direct to indirect injection systems using a canister as a fuel carrier container. The analysis of the results is carried out using the Statgraphics software, which through the formation of combinations between the independent variables for the analysis of the variation of the dependent variables, thus identifying the least polluting fuel and power system in provoked ignition engines. , in the investigation it was determined that the direct injection system generates, in HC 54 ppm in the case when using Ecopaís gasoline, 42.75 ppm when using Extra gasoline and 31.75 ppm with Super gasoline, in the CO value it was obtained 0.45% in when using Ecopaís gasoline, 0.14% with Extra gasoline and 0.26% and the multipoint injection system generates in HC 1.25 ppm with Ecopaís gasoline, 0.75 ppm with Extra gasoline and 6 ppm when using Super gasoline, a CO value 0% with Ecopaís gasoline, 0% with Extra gasoline and 0% when using Super gasoline and in the case of O₂ in value it is 0.7% with Ecopaís gasoline, 021% with Extra gasoline and 055% when using Super gasoline, of the above exposed it. It can be identified that the multipoint feeding system generates fewer pollutants and also that using Ecopaís gasoline is a very viable option.

Keywords: Direct injection, Indirect injection, Gas analysis, Static test, Ecopaís

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial ha surgido la necesidad inmediata de aumentar la eficiencia de los motores de combustión interna, que junto con normativas ambientales más estrictas han conseguido que se introduzca en el mercado sistemas que reducen el consumo de combustible y disminuyen las emisiones que son generadas en la combustión, también se ha buscado el mejorar la calidad de los combustibles y un equilibrio con la sostenibilidad. Entre varios intentos por mejorar dichos factores, se ha usado fuentes renovables de energía, como la biomasa, un claro ejemplo de ello es la aparición del etanol como combustible, que en el caso puntual del Ecuador se lo encuentra en la gasolina Ecopaís, con una composición del 95 % de gasolina y el 5 % de etanol (Reyes, 2010).

Cabe destacar que en el Ecuador se ha generado controles de emisiones previo al proceso de matriculación en varias provincias, dichos controles son meritorios principalmente en ciudades densamente pobladas, debido a que en estas grandes urbes existe una gran aglomeración de vehículos que deterioran la calidad del aire, así mismo, considerándose que el sector del transporte es el mayor consumidor de combustibles fósiles, en el caso puntual del Ecuador, dicho sector consume el 50% de la energía del país, seguido por el sector industrial (Energético, 2017).

Según el artículo “Incidencia del uso de gasolina extra y mezcla al 5 % con etanol anhidro en los microfiltros de los inyectores multipunto”, algunos motores tienen una relación de compresión entre 7:1 a 9.5:1. Estos motores pueden usar una gasolina de bajo octanaje, es decir, gasolina Ecopais o Extra. En cambio, los motores que tengan una relación de compresión mayor a 9.5:1 deben utilizar gasolina súper o con un número de octanos elevado; el segundo caso es el factor más común en la actualidad, ya que al elevar la relación de compresión en los motores se puede obtener un mejor desempeño en una misma cilindrada (Rocha-Hoyos et al., 2019).

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

La diferencia entre la gasolina súper, extra y la Ecopais está en el octanaje, que es la capacidad que tiene la gasolina para ser comprimida antes de combustionar (soportar compresiones elevadas), para conocer el tipo de gasolina que necesita un vehículo se tiene que consultar el manual del propietario de vehículo, en donde están detalladas todas las especificaciones del motor, más aún en vehículos actuales con elevadas relaciones de compresión y sistemas de inyección directos.

Es importante destacar que, si el motor de un vehículo necesita gasolina súper, solo debe emplearse este tipo de combustible, esto es recomendable porque si se usa un combustible con menor octanaje como la gasolina Extra o Ecopais se puede acortar la vida útil del motor por cuenta del cascabeleo o doble frente de llama, que significa que la gasolina empieza a explotar antes de que la bujía mande la chispa (Wang et al., 2017).

“Si tu carro usa gasolina Ecopais y le pones súper, se aprovecha más el poder calorífico que tiene esta gasolina debido a que la ignición se da en condiciones ideales de presión y temperatura. Por lo tanto, el rendimiento de combustible puede ser mayor con una gasolina de mayor octanaje y se tendrá un mejor rendimiento de kilometraje” (SierraMotors, 2019).

En la presente investigación en base al objetivo general de la misma que indica “Analizar el grado de contaminación de dos tecnologías de inyección en motores de encendido provocado, mediante prueba estática usando diferentes tipos de gasolinas, para la selección de la mejor tecnología”, se busca identificar el sistema de inyección que mejor gestiona los gases contaminantes al realizar una prueba estática, por lo que también este análisis se apoyará en los siguientes objetivos específicos:

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

- Realizar la medición de los gases contaminantes en una prueba estática, a vehículos con sistema de inyección directa e indirecta, usando un cánister para aislar el combustible que se usa, bajo la norma INEN NTE 2203:2000.
- Analizar los resultados de medición de gases, comparando el sistema MPI y el sistema GDI, mediante el programa Statgraphics, para determinar el sistema de inyección que genera de las menores emisiones contaminantes.
- Identificar el rango de revoluciones en las pruebas realizadas en las que se genera una menor cantidad de emisiones contaminantes, al usar diferentes combustibles en los sistema de inyección MPI y GDI, mediante el uso de un analizador de gases.

Estado del arte

Las gasolinas son combinaciones de hidrocarburos cuya composición posee diversos aditivos que optimizan sus prestaciones, siendo su origen base el petróleo, (Boluda, Macías. y González Mañero. 2019), además es el producto petrolífero más consumido, esto es por la fuerte demanda del sector del transporte, que representa aproximadamente el 80% del consumo final de los derivados del petróleo (Mosquera y Moreno, 2020).

La gasolina obtenida mediante destilación fraccionada contiene impurezas y posee propiedades detonantes no adecuadas, algunas de las propiedades de los combustibles usados en la experimentación pueden apreciarse en la tabla 1.

Tabla 1
Características principales de los combustibles empleados

PARÁMETROS	SUPER	EXTRA	ECOPAÍS
Número de Octanos (RON)	92	87	87
Contenido de azufre (%)	0.065	0.065	0.065

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

Contenido de gomas (mg/100 ml)	4	3	3
Contenido de aromáticos (% vol.)	35	30	30
Contenido de olefinas (% vol.)	18	18	18
Punto final de evaporación (°C)	220	220	220

Con el afán de mejorar las características de las gasolinas son sometidas a diversos tratamientos para eliminar el azufre y sus derivados, estabilizar sustancias susceptibles de formar polimerización y mejorar sus propiedades antidetonantes (Sánchez, 2011), además de que a partir de los aditivos que adicionan a la gasolina en el mercado nacional las podemos clasificar de la siguiente manera:

Gasolina Extra

La gasolina es un combustible de origen fósil cuya composición va desde hidrocarburos con carbonos C5 hasta C11, es usada para generar la energía requerida en la transportación vehicular que emplean motores de ignición por chispa de combustión, este es el combustible más consumido en el país, tiene un índice de octanos de 87, sin embargo, debido a su precio es el más usado en diferentes vehículos (Vaca, 2017).

Gasolina Súper

La Gasolina Súper es el combustible de más alta calidad, que encontramos en el país, posee 92 octanos, para el uso en vehículos de altas prestaciones y se debe usar en motores que poseen una relación de compresión elevada, principalmente los hidrocarburos isoparafínicos y aromáticos (cadenas de bencénicos que elevan el índice de octano) que se encuentran en la gasolina súper resisten presiones y temperaturas elevadas (Mosquera y Moreno, 2020).

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

Gasolina Ecopaís

La disposición general del Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC) y el Ministerio de Coordinación de los Sectores Estratégicos (MCSE), publicado en el Decreto No. 675, indica que la composición de la gasolina Ecopaís será de hasta el 10 % de bioetanol (proveniente de la caña de azúcar) y la diferencia por naftas (90 %) necesarios para conseguir el índice de octanos dispuesto en la norma ESTEN correspondiente (MCPEC y MCSE, 2015), el plan piloto de la gasolina Ecopaís se implementó en el año 2010 en la ciudad de Guayaquil con una composición de mezcla inicial de 95 % Nafta de Alto Octano (NAO) y 5 % de etanol, sin embargo, en la actualidad este combustible pese a su gran acogida no es distribuido en todo el territorio nacional y mantiene su relación de 5 % de etanol y 95 % de gasolina (Mosquera y Moreno, 2020), este combustible posee al igual que la gasolina Extra 87 octanos.

Sistemas de inyección multipunto MPI

El sistema multipunto precisa de un inyector de combustible ubicado en el cuerpo de aceleración, es el sistema de alimentación más usado en automotores a gasolina, sin embargo pese a que se han generado avances en los sistemas de inyección que con ayudas electrónicas como distribución variable y mezclas empobrecidas han conseguido hasta un ahorro del 12 % en uso de combustible, con lo que lógicamente también se ha reducido las emisiones contaminantes generadas por el motor, sin embargo se precisa que para poder realizar un mayor ahorro se necesite de una mejora en la tecnología de inyección, siendo el sistema de inyección directa en el motor a gasolina un gran salto tecnológico y en eficiencia en este tipo de motores, ya que se puede generar un mayor control de la cantidad de combustible suministrado a cada cilindro en el motor.

Sistema de inyección directa GDI

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

La tecnología de inyección directa tiene como objetivo el puntualizar la entrega de combustible al interior del cilindro, como se puede apreciar en la figura 1, este sistema tiene gran similitud al usado en los vehículos diesel, siendo una tecnología que ya se ha venido empleando desde hace años atrás en estos motores, sin embargo, la aplicación de este tipo de configuración del sistema de alimentación ha generado grandes retos a los fabricantes automotrices en motores de gasolina debido a las características propias de este combustible.

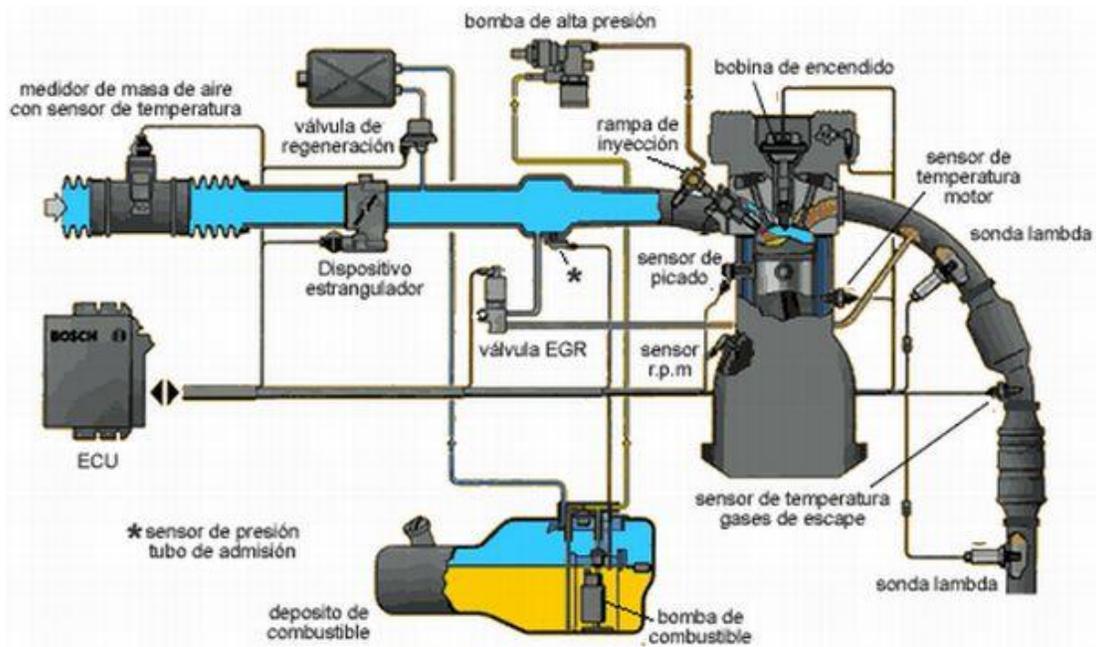


Figura 1. Componentes del sistema de inyección directa. Recuperado de: <https://n9.cl/0c3k>

Mencionando primeramente los inconvenientes que se han generado en la implementación de este tipo de sistema, se puede decir que es la saturación de los catalizadores, debido al alto contenido de azufre en los combustibles, demorando la masificación de la tecnología de inyección hasta poder generar una solución efectiva en el convertidor catalítico en este aspecto un

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

inconveniente adicional radica también en el problema de la contaminación, ya que cuando existen mezclas pobres se genera un exceso de óxidos nítricos, que no pueden ser descompuestos en nitrógeno y oxígeno puros con mucha velocidad en el catalizador, sin embargo, las ventajas que se obtiene al emplear este tipo de tecnología son mayores a los inconvenientes que se generan.

Entre las principales ventajas se puede identificar las siguientes:

- Mejor rendimiento termodinámico del motor, ya que, al emplearse un sistema de inyección directa, se reduce el picado en el motor, por lo que se puede aumentar la relación de compresión, traduciéndose directamente en mejorar el rendimiento del motor.
- Genera un menor índice de contaminación general que el sistema de inyección multipunto, además de que el aire de admisión puede ingresar en el cilindro de una forma mucho más fría, coadyuvando en un mejor intercambio de calor interno de los elementos del motor.
- El aire de admisión tiene menores restricciones en su ingreso y evita de esta manera pérdidas por el fenómeno de estrangulamiento.

Tipos de carga de inyección.

Una gran diferencia que puede determinarse del sistema de inyección directa a gasolina frente al sistema multipunto, como se aprecia en la Figura 2 es que puede conseguirse que se varíe la relación estequiométrica de 14,7 partes de aire por una de gasolina, es decir modificar el factor lambda, generando una mezcla pobre, en las siguientes condiciones:

- Carga homogénea
- Carga homogénea pobre
- Carga estratificada

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

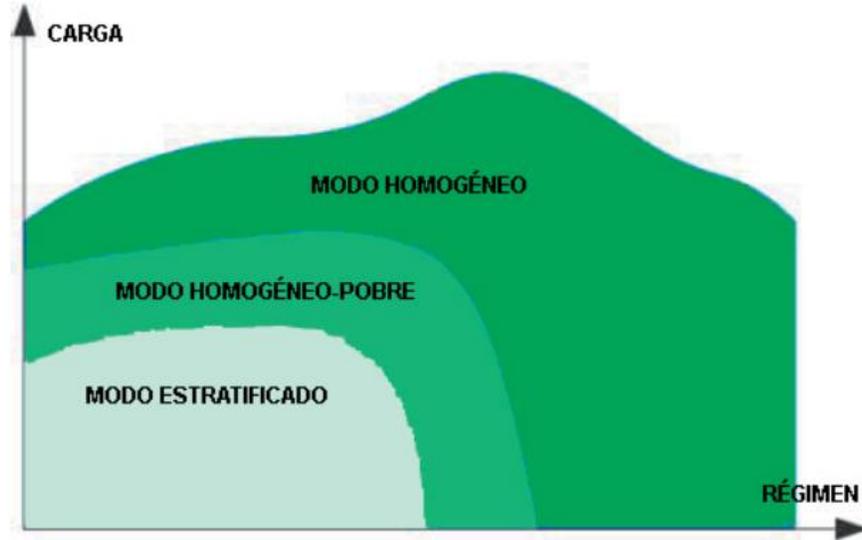


Figura 2. Tipos de carga del sistema de inyección directa. Recuperado de: <https://n9.cl/0c3k>

Carga Homogénea:

Los motores que trabajan en este tipo de carga, lo hacen en regímenes elevados y la relación de lambda es lo más cercana posible a 1.

Carga Homogénea pobre:

En este tipo de trabajo, la relación de lambda es generalmente de 1,55, esta carga se la puede denominar como de transición entre la carga homogénea y la estratificada, en este tipo de carga el combustible es inyectado en el tiempo de admisión, donde se mezcla con el aire aspirado por el motor.

Carga estratificada:

Es usado este tipo de carga en regímenes de medias revoluciones, buscándose que la mezcla tenga también compuestos de gases recirculados, disminuyendo la temperatura en la cámara de combustión y disminuyendo la generación de gases tóxicos.

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

Transporte en el Ecuador

El transporte está íntimamente relacionado al crecimiento de la economía de un país, por lo que en el caso del Ecuador se ha visto incrementado notable en la adquisición de vehículos particulares, ya que al mejorar la situación económica el obtener un vehículo puede ayudar en temas de movilidad e incluso convertirse en instrumentos de trabajo permitiendo llegar a distancias mayores y realizar varias actividades de manera más simplificada. Según Andrés Hubenthal “El transporte representa aproximadamente un 7 % del PIB en la economía del Ecuador”, por lo que el estudio que se puede dar en los vehículos y los diferentes factores externos que envuelven a estos deben ser analizados estrechamente debido a que este aumento en el uso de vehículos particulares genera mayores emisiones de gases contaminantes al medio ambiente, siendo un aproximado del 73% las emisiones totales las generadas por vehículos particulares en carreteras, ya sean de transporte público, carga o privados (Hubenthal, 2010), de este importante incremento en el parque automotor nacional que en el año 2018 alcanzaba los 1.965.538 vehículos livianos que se dividen de este modo: 968.900 automóviles, 419.350 SUV y 577.288 camionetas, con respecto a vehículos comerciales hay un total de 301.806, divididos en 223.068 camiones, 33.093 autobuses y 45.645 vans (Baldeón et al., 2018), esta información es apreciable en la figura 3 que indica las ventas mensuales de vehículos en los últimos años.

Además de que se puede destacar que el auge que se ha dado de varios modelos como el Chevrolet Captiva con sistema de inyección directa GDI que según la revista Ekos en el año 2019 vendió 5983 unidades, sumado a la ventas generadas por marchas chinas como Great Wall, quinto en ventas a nivel nacional, que en el mismo año ha vendido un total de 8287 unidades, incorporando a su catálogo de vehículos modelos como el All New Haval H6, de sistema de inyección directa o los ya conocidos vehículos híbridos que también poseen este sistema de alimentación de

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

combustible, se produce un número considerable de automóviles presentes en el mercado nacional que usan este sistema de alimentación, por lo que la revisión los gases generados en una prueba estática pueda ayudar a identificar si esta tecnología está generando una reducción de emisiones contaminantes frente al sistema MPI.

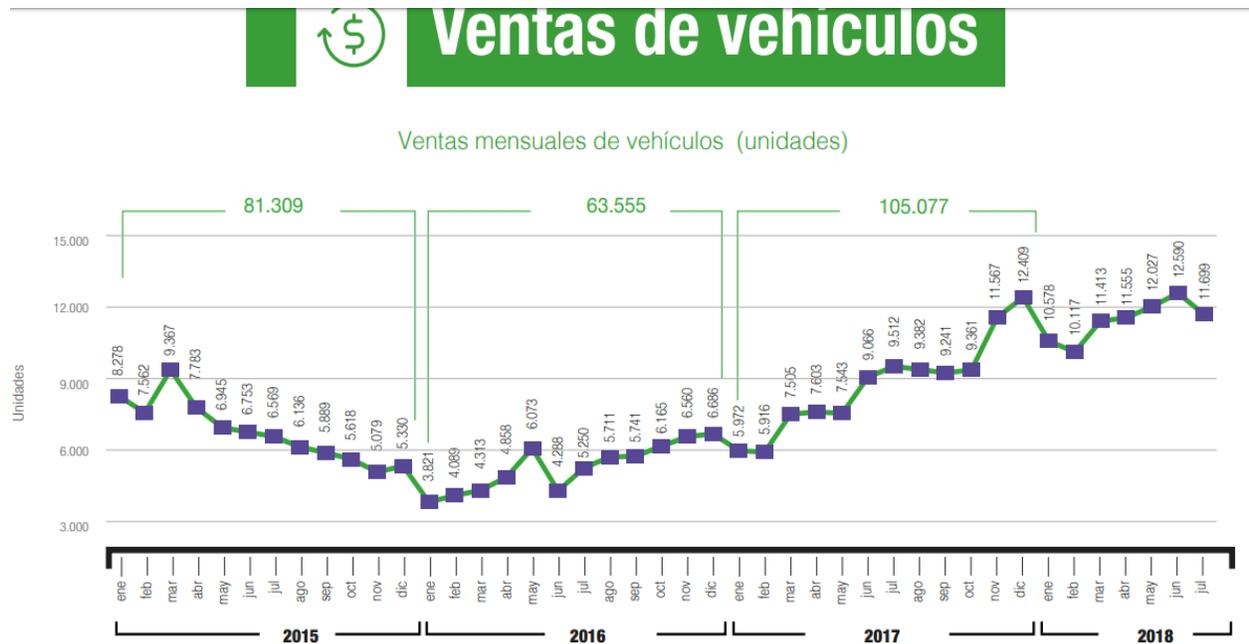


Figura 3. Ventas de vehículos en el Ecuador. Recuperado de: <https://www.aeade.net/>

Es por este motivo el transporte requiere gran atención siendo este sector un elemento que dinamiza la economía, generando gran cantidad de empleos directos e indirectos, además de ser el responsable de las mayores emisiones de gases contaminantes y uso de combustibles fósiles. Si se toma en cuenta el gran abanico de marcas que están ingresando en el país de cualquier procedencia se debe revisar también la tecnología que estas publicitan en sus vehículos, siendo un denominador común el tatar de ingresar cilindradas “Moderadas” con tecnologías que ayudan a mejorar el consumo de combustible y emisiones del automotor, sin embargo, aún hay modelos de vehículos que presentan complicaciones por su tecnología especialmente en el sistema de alimentación y por

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

las características de los combustibles nacionales, esto genera que en muchos casos vehículos nuevos que se acercan a su primera revisión técnica vehicular no la aprueben pese a que cumplen con normativas internacionales mucho más estrictas.

Emisiones contaminantes

En busca de una disminución de los gases contaminantes que se generan en los vehículos, en los años 70 inició en Estados Unidos una normativa que buscaba controlar las emisiones de gases contaminantes a través de la gestión electrónica de ciertos parámetros de funcionamiento del motor, como el caudal de combustible y adelantos o retrasos en el encendido, luego a esta normativa siguió la implementada en la unión Europea en el año de 1978 (TECMOVIA, 2019), sin embargo en la actualidad aun no existe ninguna normativa que se haya generalizado a nivel mundial o algún estándar en su implementación, un ejemplo de ello es que en la Unión Americana la EPA (US EPA, n.d.) es la encargada de regular las emisiones en fuentes móviles y en el caso europeo la normativa corresponde a las Normas EURO, encontrándose la norma EURO VI en aplicación (EUR-Lex, 2018), sin embargo cabe destacar que no en todos los territorios existe un control de emisiones contaminantes o que los controles ya existentes estén todos acordes.

Entre los principales elementos que se generan producto de una combustión se encuentran:

- CO_2 , conocido como dióxido de carbono, es el principal gas de efecto invernadero, se lo obtiene como resultado de la combustión en el motor, este subproducto es uno de los compuestos que más reducción ha tenido con la implementación de distintas normativas.
- CO , se lo conoce como monóxido de carbono, también es un sub producto tóxico de la combustión en el motor, que puede causar muerte si se lo respira en dosis muy elevadas

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

- HC, Esto hace referencia a las partículas de combustible que no se han combustionado durante el tiempo de trabajo en el motor, estos elementos generan afectaciones ambientales y a la salud
- NO_x, Es un gas tóxico, irritante y precursor de la formación de partículas de nitrato, que conllevan la formación de ácidos y elevados niveles material particulado, perjudicial para la salud y el medio ambiente, se estima que su temperatura de formación esta alrededor de los 1200 °C (Tipanluisa, Remache, Ayabaca, y Reina, 2017), por esta razón es que en la actualidad el sistema de recirculación de gases de los vehículos es empleado, con el fin de disminuir la temperatura de la cámara de combustión y evitar así la formación de este subproducto.
- SO_x, Óxidos de azufre, este elemento al mezclarse con partículas de humedad es el precursor de formación de ácido sulfúrico, generando afectaciones en el motor, la salud y medio ambiente, responsable de la lluvia ácida.
- Material particulado, este tipo de material se denomina así, debido al tamaño de sus partículas PM 10, que serían las de mayor tamaño, cuya diámetro aerodinámico teórico sería de 10 µm (micrones de metro = millonésima parte del metro) y las partículas finas conocidas como PM 2.5 cuyo diámetro sería de 2.5 µm (Holman, Harrison, y Querol, 2015), este tipo de contaminantes se generan por la propia composición del combustible, su calidad y los aditivos que se añaden a este para así mejorar sus características, en la figura 3 se pueden apreciar las reducciones que se han generado en la Normativa Euro respecto a los diferentes contaminantes.

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

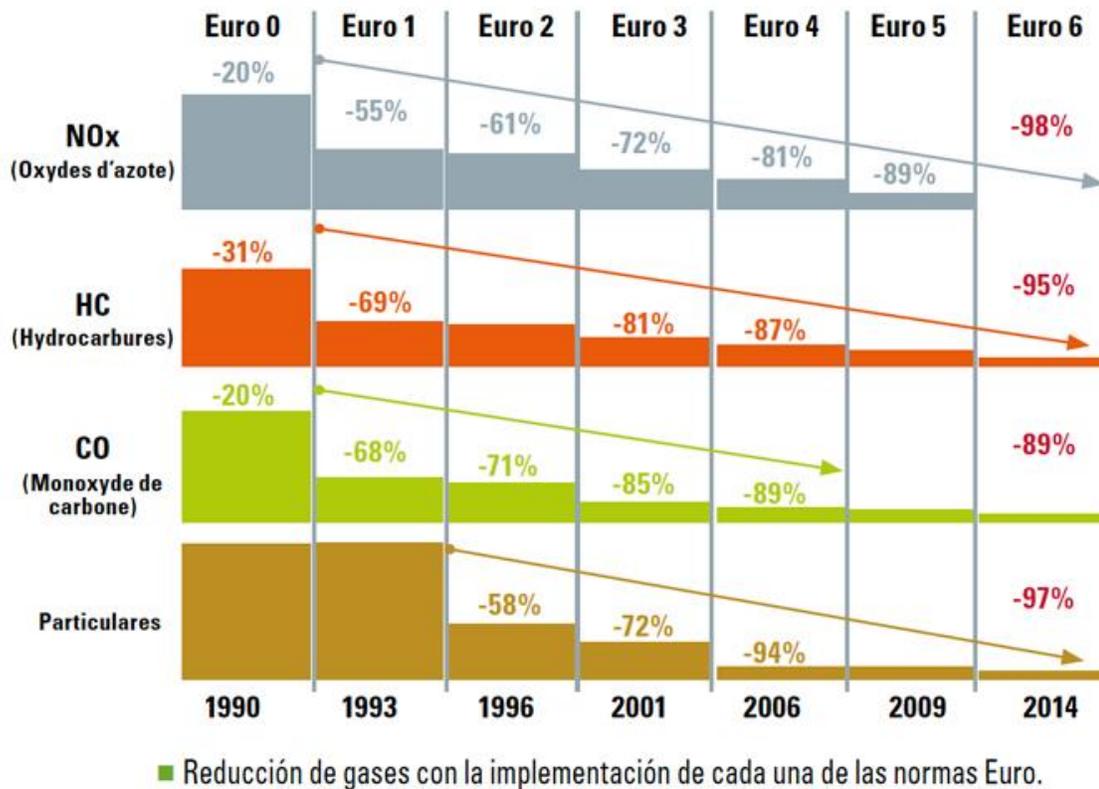


Figura 3. Comparativa de emisiones de la normativa EURO. Recuperado de:

<https://www.revistaautocrash.com/que-son-las-normas-euro-y-por-que-evolucionan/>

Entre los principales efectos de los gases contaminantes en el medio ambiente se puede determinar la presencia de gases de efecto invernadero, que según diversas investigaciones han aumentado la temperatura a nivel mundial en los últimos 100 años en casi 1⁰C, provocando efectos graves en la flora y fauna de muchas regiones, cambiando inclusive las lluvias, haciéndolas menos frecuentes y más fuertes cuando se dan, en el caso de las personas también han existido afectaciones, pudiéndose identificar enfermedades en la piel, aumento en la aparición de cáncer y afecciones respiratorias (Holman et al., 2015).

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

Con la implementación de la gestión electrónica del motor y el apareamiento de las primeras centralistas se buscó la manera de mitigar producción de elementos nocivos por parte de los vehículos, entre los esfuerzos para determinar si dicho control de emisiones es efectivo se ha empleado como elemento final al catalizador, también conocido como convertidor catalítico, son elementos colocados en la salida de escape, compuestos de una carcasa que protege las celdas de las membranas interiores, compuestas de sustancias activas como óxido de aluminio, metales nobles (que hacen las veces de catalizadores en estado sólido): Platino, Rodio, Paladio y promotores y retardadores específicos que regulan la acción catalítica de los mismos.

En la actualidad se denominan catalizadores de tres vías ya que actúan en la formación de los tres contaminantes principales mediante acciones de oxidación y reducción, transformando a los mismos en compuestos no tóxicos: nitrógeno, agua y dióxido de carbono, incluso este tipo de elementos tienen una doble revisión de efectividad, es decir se tiene una sonda de medición al inicio y a la salida del catalizador para así poder determinar el grado de eficacia del mismo. (Kumar Pathak, Sood, Singh, y Channiwala, 2016)

Debido al gran uso que se da a los combustibles fósiles en cualquier proceso industrial y transporte en la actualidad se ha evidenciado graves problemas de contaminación, tal que:

La contaminación del aire urbano ha sido reconocida como un problema de salud pública a nivel mundial, pues se relaciona con problemas de salud de diversa índole, tanto agudos como crónicos, que afectan a grupos vulnerables de la población sobre todo en los extremos de la vida: adultos mayores y niños (Palacios y Espinoza, 2014).

Como forma de reducir el consumo de combustibles en el sector del transporte que es el grupo que más contamina en el Ecuador (Reyes Soriano, 2010), se han implementado regulaciones

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

en los gobiernos municipales que miden las emisiones contaminantes generadas por los vehículos y que buscan el mejorar la calidad de aire, que junto con los esfuerzos de los fabricantes automotrices en mejorar la eficiencia de los motores usando sistemas electrónicos para el monitoreo y control de emisiones (Wang et al., 2017).

En el caso de Quito, que en la actualidad es la ciudad más poblada del país se debe tener en cuenta que la contaminación producida por su parque automotor es elevada, a tal punto que según una investigación realizada por Primicias:

La mala calidad de los combustibles es la principal causa de la contaminación en Quito. La polución provoca cuatro millones de muertes al año en el mundo, según la Organización Mundial de la Salud. La principal fuente de contaminación del aire de Quito son los 825.763 vehículos que circulan en la capital. Los combustibles de mala calidad que utiliza el parque automotor son responsables de que se hayan registrado nueve semanas de alta contaminación en 2018 (Palacios y Espinoza, 2014).

Es por este motivo que esta investigación pretende determinar cuál es el combustible y tecnología de alimentación que generan menores emisiones al medio ambiente.

MÉTODO

El presente trabajo investigativo se realizó mediante el método deductivo, bibliográfico y experimental, permitiéndose de esta manera poder identificar la gasolina más idónea y el sistema de inyección más eficiente a partir del análisis de los gases de escape realizado en una prueba estática, cabe destacar que la experimentación se llevó a cabo en la ciudad de Quito, ubicada a 2810 metros sobre el nivel del mar, en la medición de los gases se usó un vehículo Hyundai Veloster 1.6 turbo del año 2020 cero kilómetros, con sistema de inyección directa GDI y un Hyundai Venue 1.6 del 2020 cero kilómetros con sistema de inyección multipunto MPFI, en la tabla 2 se puede

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

apreciar las principales características técnicas de estos vehículos en ambos, realizándose el análisis de gases según la prueba estática INEN, 2203, 2000 (INEN, 2000), además la prueba fue realizada usando un sistema cánister para el lavado de inyectores en los vehículos a gasolina, esta experimentación permite aislar el combustible y asegurar de forma inequívoca el uso de un solo tipo de gasolina, ya que se vierte en su tanque reservorio un determinado volumen, que permite el funcionamiento del vehículo, únicamente obviándose el uso de filtro de combustible, resaltando que la omisión de ese elemento no afecta en nada la química del combustible o el resultado que se obtendría en el análisis de los gases, siendo importante también el conocer que en la actualidad se oferta por parte de varias concesionarias en todos sus modelos de vehículos el uso de combustible Ecopaís y Extra. Esta publicidad de uso de combustible se inició con fuerza desde la eliminación al subsidio de la gasolina Súper y pese a que en muchos casos la relación de compresión del motor exigiría emplear un combustible de mayor grado de octanaje, provocándose de esta manera cascabeleo en el motor y consecuentemente un desgaste apresurado del mismo (Autofenix, 2019), además se puede apreciar las principales características de los combustibles usados en la prueba en la tabla 1, en donde su principal diferencia es el número de octanos.

Tabla 2
Ficha técnica de los vehículos

	Modelo	
Motor	Gamma 1.6 TCi-GDi	Gamma 1.6 CVVT-Dual
Cilindros	4 en línea	4 en línea
Aspiración	Turbo alimentado	Atmosférica
Válvulas	16 DOHC	16 DOHC

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

Distribución	Cadena	Cadena
Potencia	Potencia 204 HP / 6000 RPM	Potencia 122 HP / 6400 RPM
Par motor	Torque 265 Nm / 4500 RPM	Torque 151 Nm / 4850 RPM
Tracción	Delantera	Delantera
Consumo	53 km/Gal Gasolina Extra / Súper	58 km/Gal Gasolina Extra / Súper
Transmisión	Automática doble embrague (DCT), 7 velocidades más reversa	Manual, 6 velocidades más reversa
Tipo	Automóvil	SUV

Se debe tomar en cuenta que en el caso de emplearse combustible con hasta un 10 % de etanol el motor no debe sufrir ningún tipo de acondicionamiento, por lo que la gasolina Ecopais puede trabajar sin generar ningún problema en el vehículo, este combustible también denominado como E5 ya que posee el 5 % de etanol anhidro, cuya fórmula química es C_2H_5OH (Reyes, 2010).

En el caso del método usado en el análisis de los gases de escape es el descrito en la norma INEN 2203 (2000), para medición de contaminantes de gases de escape, entre los factores que se deben tomar en cuenta para realizar el análisis bajo esta norma están:

- Tiempo de calentamiento necesario del analizador de gases BRAIN BEE, modelo AGS – 688, que correspondía alrededor de 15 minutos (BRIAN BEE, 2020), además de esperar 5 minutos para asegurar de que se consuma el combustible presente en las cañerías del sistema de alimentación del motor en cada uno de los vehículos ya con el sistema cánister puesto y presurizado (30 psi).

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

- Mantener al vehículo en su temperatura normal de funcionamiento (85 a 90 °C).
- Realizar la prueba con el vehículo estacionado en un lugar seguro e inmovilizar los neumáticos tractors de ser el caso.

Procedimiento de limpieza de inyectores con el sistema cánister

La limpieza de inyectores es considerado un mantenimiento preventivo, que puede ser desarrollado de dos maneras, siendo la primera la utilización de un cánister a presión, con un líquido detergente para la limpieza de inyectores; este método de limpieza no afecta en nada a estos elementos, ya que los inyectores trabajan de igual manera que su funcionamiento regular, sin embargo, hay que tener en cuenta que al realizar este tipo de limpieza se debe tener especial vigilancia con la suspensión del trabajo de la bomba de combustible del vehículo, desconectándola para evitar que esta sea accionada, es importante también destacar que el sistema cánister precisa de presión de aire para poder simular la que genera la bomba de combustible, dicha presión debe ser la que el fabricante indica. En el caso puntual del experimento realizado se usó una presión de 30 psi, misma que fue suficiente para mantener un correcto funcionamiento del sistema de alimentación.

El segundo tipo de mantenimiento es la limpieza de inyectores a través de ultrasonido, este tipo de mantenimiento es recomendable realizarlo en intervalos prolongados de tiempo, ya que al ser un mantenimiento de mayor complejidad necesita que se desarmen los inyectores y se los lleve a un banco de ultrasonido, este banco genera frecuencias elevadas de vibración que limpian internamente los inyectores, empero, puede ser perjudicial debido a que dicha vibración puede generar el deterioro del bobinado del inyector, produciéndose un funcionamiento erróneo.

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

Procedimiento de medición de gases de escape según la norma INEN NTE 2203 (2000)

Esta norma se encarga de la “GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O “RALENTI”. PRUEBA ESTÁTICA.”, para lo que contempla varios preliminares, como los son la calibración de equipos, definiciones, disposiciones generales y el método de ensayo.

El proceso de medición contempla el siguiente procedimiento:

- El motor debe estar en temperatura normal de funcionamiento, previo a su encendido, sin embargo, debe verificarse el nivel de aceite, el que debe estar entre la marca de mínimo y máximo, dicha verificación debe hacerse con el vehículo en un plano totalmente horizontal y cerciorarse antes de encender el vehículo que este se encuentre en neutral para el caso de vehículos manuales, o en parking en el caso de automáticos.
- Cerciorarse de que no exista fugas en el sistema de escape del vehículo al que se está realizando la prueba, además de que para poder realizar la prueba el automotor no debe tener modificaciones en la salida del escape, en caso de existir alguna modificación, la prueba no será realizada.
- En caso de que el diseño original del vehículo contenga varias salidas de escape se debe realizar una medición en cada una de las salidas y usar el valor más alto obtenido.
- Encender el analizador de gases y esperar el tiempo determinado por el fabricante.
- Conectar la sonda del analizador de gases, que previamente debe ser limpiada para evitar lecturas erróneas, además de sujetarla firmemente en el escape mientras se realiza la medición.

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

- Realizar la medición de los valores de gases contaminantes e imprimir el reporte generado por el analizador de gases, para posteriormente poder realizar un informe técnico.

Diseño del experimento

La experimentación práctica fue realizada con un sistema cánister, empleado en la limpieza de inyectores de vehículos a gasolina, al usar este sistema se evita únicamente que el combustible pase por el filtro, sin embargo esto no cambia o altera en nada la química del combustible o su resultado final en la medición de los gases, además de que el sistema debe trabajar con una presión de aire similar a la que genera la bomba de combustible, en el reservorio del cánister se colocaron 400 cc de cada combustible (gasolina Extra, Ecopaís y Super), la prueba tubo un tiempo de duración de 12 minutos con cada tratamiento, es decir el experimento en total duró 72 minutos, sin adicionar el tiempo de preparación que se necesitó para el cambio de combustible y limpieza de los conductos que transportan el combustible en el sistema de alimentación, en la tabla 3 se puede apreciar las características técnicas de los equipos empleados en la experimentación.

Tabla 3
Parámetros de los equipos usados en el experimento

EQUIPOS EMPLEADOS	PARÁMETROS
Analizador de gases BRAIN BEE Modelo AGS – 688	<ul style="list-style-type: none">• Función automática de calibración a CERO• Tiempo de calentamiento menor a 10 minutos• Sistema de filtrado reforzado y con trampa de agua• Pruebas automáticas para residuos de HC y vacío• Auto prueba y auto diagnóstico• Compensador de altura• Pantalla LCD con iluminación de fondo• Software para PC de múltiples aplicaciones• Impresora térmica de alta velocidad• Mide: HC, CO, CO₂, O₂• Cálculo de Lambda y CO corregido• Habilitado para medición de NOx con sensor opcional

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

Cánister para lavado de inyectores AUTOOL	<ul style="list-style-type: none">• Limpiador De Inyectores• Varios acoples• Regulación de presión
Compresor de aire BP	<ul style="list-style-type: none">• 3hp• 250litros• 220v Profesional

Según lo indica la norma técnica INEN NTE 2203 (2000) el motor debe encontrarse en su temperatura normal de funcionamiento para poder realizar la medición respectiva, además como se puede apreciar en la figura 4 en el cánister se tiene dos manómetros que controlan la presión con la que se trabaja durante la prueba, cabe destacar que cuando una vez finalizada la prueba la presión que se encuentra dentro del reservorio debe ser eliminada para poder evitar cualquier accidente, además de que los valores de presión deben mantenerse estables ya que si existe una gran variación indicaría que existe una fuga o mala conexión en el sistema, además en la figura 5 se aprecia también que existe la opción de acople rápido en la toma de aire, misma que debe ser verificada para evitar fugas.



Figura 5. Tipos de carga del sistema de inyección directa.

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

En el caso de la verificación de los valores obtenidos mediante el analizador de gases se realizó una media de los valores a los 15, 20, 25 y 30 segundos de medición en ralentí y a 2500 RPM, las revoluciones fueron monitoreadas desde un escáner y el tacómetro de los vehículos, de esta manera el valor promedio que se obtiene es mucho más real, en la figura 6 se puede apreciar al analizador de gases que se usó en el experimento, este analizador de gases es de la marca Brian Bee modelo AGS-688.



Figura 6. Tipos de carga del sistema de inyección directa.

Es importante conocer que varias casas fabricantes en el país están promocionando sus vehículos para usar en ellos combustibles Extra y Ecopaís, un claro ejemplo de ello es la marca Hyundai usada en la presente experimentación, por lo que este tipo de evaluación podrá determinar el menor grado de contaminación generado por cada combustible en los sistemas de inyección actuales empleados en motores por encendido provocado, en la figura 7 se puede apreciar al Hyundai Veloster cuando está trabajando con el sistema cánister conectado a la alimentación de

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

combustible procedente de la bomba de gasolina y los acoples neumáticos que brindan la presión necesaria para reemplazar a la que genera la bomba de gasolina.

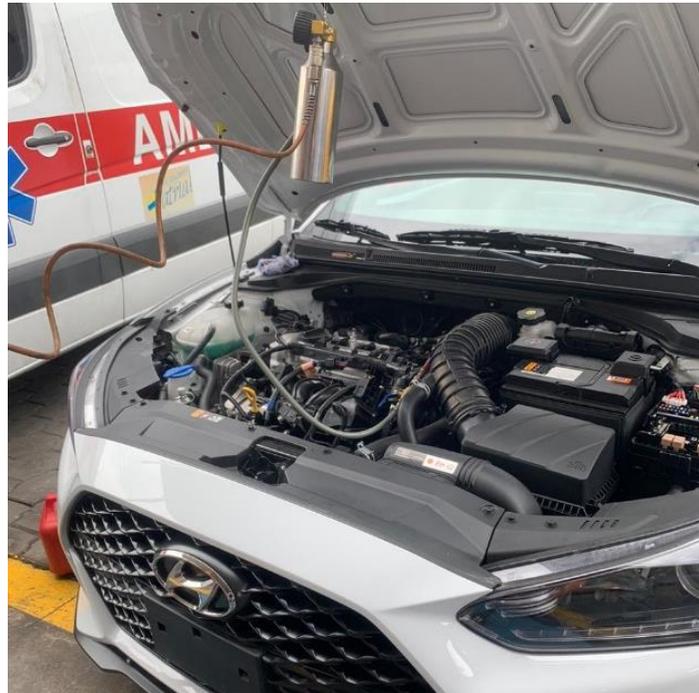


Figura 7. Instalación del cánister en el Hyundai Veloster

En la Tabla 4 se puede apreciar las diferentes variables que se tomaron en cuenta al momento de realizar las comparaciones y determinar el combustible y el sistema de inyección menos contaminante.

Tabla 4

Nomenclatura de las variables

TIPO DE COMBUSTIBLE	
EXTRA	1
ECOPAÍS	2
SUPER	3
TIPO DE SISTEMA DE INYECCIÓN	
DIRECTO	1
INDIRECTO	2
REVOLUCIONES DEL MOTOR	
MEDIAS	1

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

RALENTÍ

2

En la tabla 5 se puede apreciar la clasificación de variables producto del análisis de gases en los diferentes sistemas de inyección de combustible.

Tabla 5
Variables del experimento

Variable dependiente	Variable independiente
	Combustible (Extra, Ecopaís, y Súper) Sistema de inyección (directa GDI, inyección multipunto MPFI)
CO % VOL	
CO ₂ % VOL	
HC PPM	
O ₂ % VOL	

El procesamiento de los datos obtenidos se usó el software Statgraphics, usando el análisis del método de superficie de respuesta, para que de una forma gráfica se pueda determinar la mejor combinación en el sistema de inyección y el combustible a usarse, en cuanto a los resultados obtenidos en las mediciones se los contrastará con los valores permisibles de la revisión técnica vehicular de la ciudad de Quito, dichos valores se los puede verificar en la tabla 6.

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

Tabla 6
Los valores base de la revisión técnica vehicular

REVISIÓN TÉCNICA VEHÍCULAR					
VEHÍCULOS A GASOLINA					
AÑO	HC EN PPM	CO EN %	O ₂ EN %	TIPO DE FALLA	RESULTADO
					APROBADO SIN
	$0 \leq X < 160$	$0 \leq X < 0.6$	$0 \leq X < 3$	0	FALLAS
DEL 2000					APROBADO CON
EN	$160 \leq X < 180$	$0.6 \leq X < 0.8$	$3 < X < 4$	1	FALTA
ADELANTE					APROBADO CON
	$180 \leq X < 200$	$0.8 \leq X < 1$	$4 \leq X < 5$	2	FALTA
	$X \geq 200$	$X \geq 1$	$X \geq 5$	3	RECHAZADO

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El uso de combustibles fósiles es la principal fuente de energía en el sector del transporte, sin embargo, una opción que puede generar desarrollo social sostenible y disminución en la emisión de gases contaminantes puede ser el uso de alcohol en la gasolina (Reyes Soriano, 2010), con ese afán en el país se creó un proyecto para la generación de gasolina con alcohol, denominada Ecopais, con una composición del 5% de bioetanol y 95% de gasolina premezclada, brindando así un número de octanos de 85 a 87 octanos (Mosquera y Moreno, 2020), sin embargo este combustible no está presente en todo el territorio nacional, pese a eso se ha generado un notable aumento en el consumo de este combustible en los sectores que se comercializa dicho combustible (Becerra, Paichard, Sturma, y Laurence, 2013),

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

En el artículo “*Effect of Ethanol-Gasoline Blends on Combustion and Emissions of a Passenger Car Engine at Part Load Operations*” (Ramadhas, Singh, Sakthivel, Mathai, y Sehgal, 2016), se determina que al usar gasolinas con mezclas de alcohol se reducen las emisiones de gases contaminantes como lo son: CO, CO₂, HC y O₂, no obstante, el uso de este tipo de combustibles genera un ligero aumento en las emisiones de NO_x, elemento contaminante, que es una sustancia corrosiva para la piel y el tracto respiratorio, provocando enrojecimiento y quemaduras cutáneas graves, en el caso particular del experimento se determinan los niveles de contaminación, indicándose que el presente trabajo posee una etapa para su desarrollo, correspondiente a la medición de gases contaminantes generados por diferentes sistemas de inyección, según la norma INEN NTE 2203:2000.

Cálculo del número repeticiones por tratamiento

Para la determinación del número de repeticiones por tratamiento se toma en cuenta un cálculo para determinar si la cantidad de ensayos es la adecuada, dicha fórmula es la presentada en la ecuación 1 que se muestra a continuación:

$$n = \left(\frac{40\sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad (1)$$

Donde:

n= Número de experimentos que deben realizarse

n'= número de observaciones preliminares

x= Valor de las Observaciones

40= Constante, confianza= 95%; error= 10%

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

En la tabla 7 se puede apreciar el número de experimentos que se debería realizar en el tratamiento donde se considera al sistema de inyección directo al usar gasolina Extra, como resultado se puede apreciar que el número de repeticiones en el tratamiento obtenido es de 1.4.

Tabla 7
Cálculo de repeticiones por tratamiento

ANÁLISIS DE CO % VOL		
	X	X ²
SISTEMA DE	0.14	0.0196
INYECCIÓN	0.15	0.0225
DIRECTO	0.14	0.0196
	0.14	0.0196
	$\Sigma X = 0.57$	$\Sigma X^2 = 0.0813$
	n	1.4

Valores obtenidos en las mediciones de la prueba estática

En la experimentación se obtuvieron los valores detallados en la tabla 8, donde se puede apreciar los resultados obtenidos en el Hyundai Veloster en la medición de los gases realizada usando el sistema cánister y con el motor en ralentí y a 2500 RPM.

Tabla 8
Los valores de medición Hyundai Veloster

VELOSTER DATOS EXTRA (GDI) 2500 RPM				VELOSTER DATOS EXTRA (GDI) RALENTI			
CO % VOL	CO2 % VOL	HC PPM	O2 % VOL	CO % VOL	CO2 % VOL	HC PPM	O2 % VOL
0.14	14.35	42.75	0.20	0.10	14.28	29.25	0.45
VELOSTER DATOS ECOPAÍS (GDI) 2500 RPM				VELOSTER DATOS ECOPAÍS (GDI) RALENTI			
CO % VOL	CO2 % VOL	HC PPM	O2 % VOL	CO % VOL	CO2 % VOL	HC PPM	O2 % VOL
0.14	14.35	42.75	0.20	0.10	14.28	29.25	0.45

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

VELOSTER DATOS SUPER (GDI) 2500 RPM				VELOSTER DATOS SUPER (GDI) RALENTI			
CO % VOL	CO2 % VOL	HC PPM	O2 % VOL	CO % VOL	CO2 % VOL	HC PPM	O2 % VOL
0.14	14.38	42.38	0.17	0.06	14.34	26.13	0.36

En la tabla 9 se puede apreciar los resultados obtenidos en el Hyundai Venue en la medición de los gases realizada, usando el sistema cánister en ralenti.

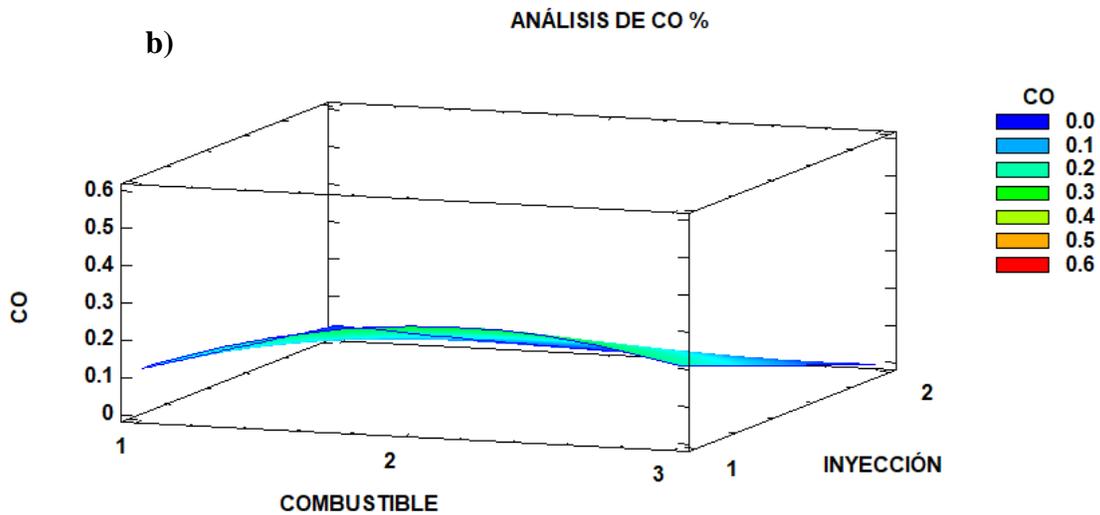
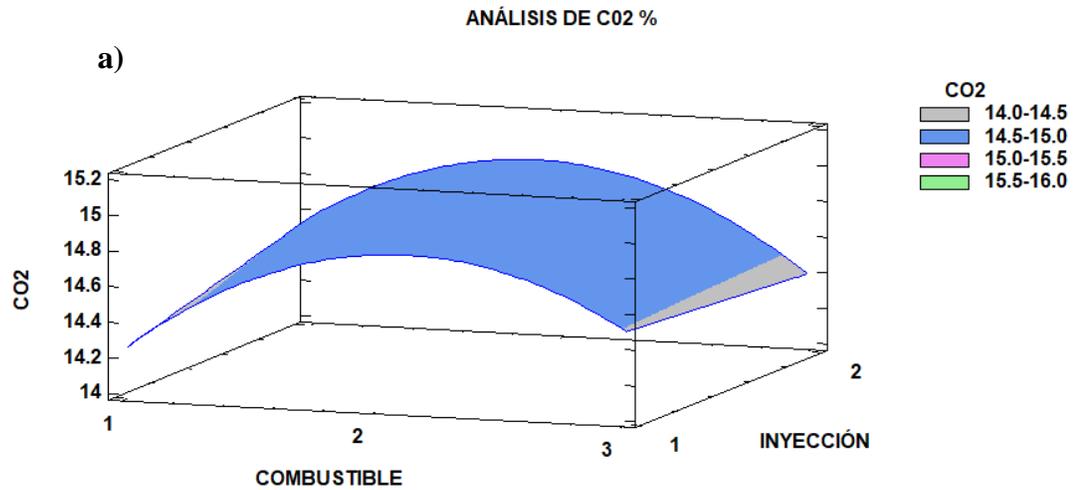
Tabla 9
Los valores de medición Hyundai Venue.

VENUE DATOS EXTRA (MPI) 2500 RPM				VENUE DATOS EXTRA (MPI) RALENTI			
CO % VOL	CO2 % VOL	HC PPM	O2 % VOL	CO % VOL	CO2 % VOL	HC PPM	O2 % VOL
0.00	14.90	1.00	0.21	0.00	14.20	0.75	1.54
VENUE DATOS ECOPAIS (MPI) 2500 RPM				VENUE DATOS ECOPAIS (MPI) RALENTI			
CO % VOL	CO2 % VOL	HC PPM	O2 % VOL	CO % VOL	CO2 % VOL	HC PPM	O2 % VOL
0.00	14.90	1.00	0.21	0.00	14.20	0.75	1.54
VENUE DATOS SUPER (MPI) 2500 RPM				VENUE DATOS SUPER (MPI) RALENTI			
CO % VOL	CO2 % VOL	HC PPM	O2 % VOL	CO % VOL	CO2 % VOL	HC PPM	O2 % VOL
0.00	14.95	1.00	0.18	0.00	14.30	0.88	1.37

En la figura 8 se puede apreciar un gráfico de análisis de superficie obtenido de Statgraphics, donde se puede apreciar que en el caso de todas las gráficas mostradas en el eje y se muestran los gases contaminantes que se están analizando, que en el caso del literal a) corresponde al análisis de CO₂, el b) corresponde al análisis de CO, el c) corresponde al análisis de O₂ y el d) corresponde al análisis de HC, en el eje x si encuentra el tipo de combustible empleado, siendo 1 Extra, 2 Ecopaís y 3 Super. En el eje z se ubica el sistema de inyección en el

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

que se realiza la experimentación, siendo el número 1 el correspondiente al sistema directo y el 2 al sistema multipunto, en todos los casos los valores reflejados son los obtenidos en la prueba estática en ralentí y a 2500 RPM.



“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

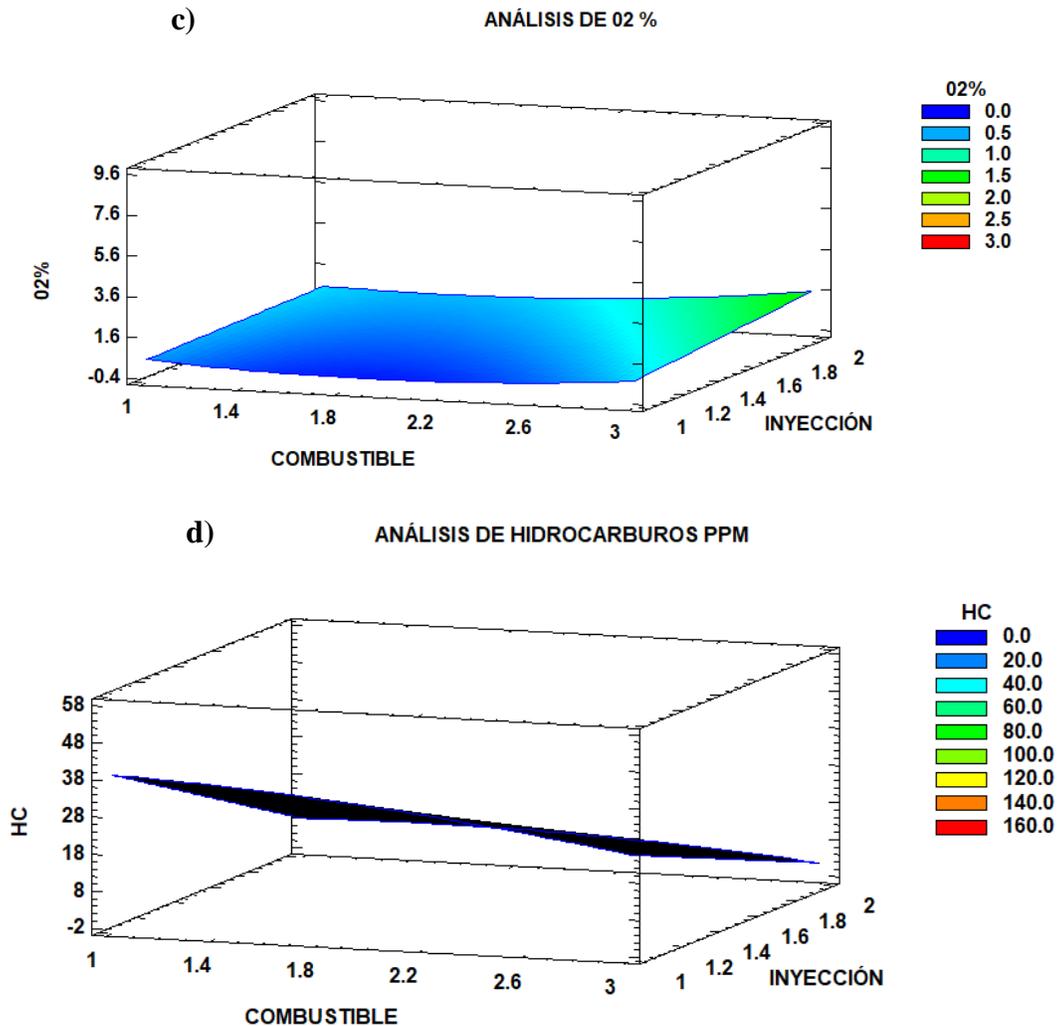


Figura 8. Gráfico de superficies sobre los gases contaminantes generados a) análisis de CO₂, b) análisis de CO, c) análisis de O₂, d) análisis de HC

Comparativa entre el sistema de inyección directa y sistema de inyección indirecta.

En el caso de la comparativa de emisiones de CO, en las condiciones que se realizó el experimento se puede concluir que el Hyundai Venue tiene un nivel de 0% de emisiones con cualquier tipo de combustible, tal como se puede apreciar en la figura 9, siendo en este caso el sistema de inyección indirecta el menos contaminante, en el caso

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

del sistema de inyección directa se determina que la gasolina Ecopaís es la que menores emisiones genera.

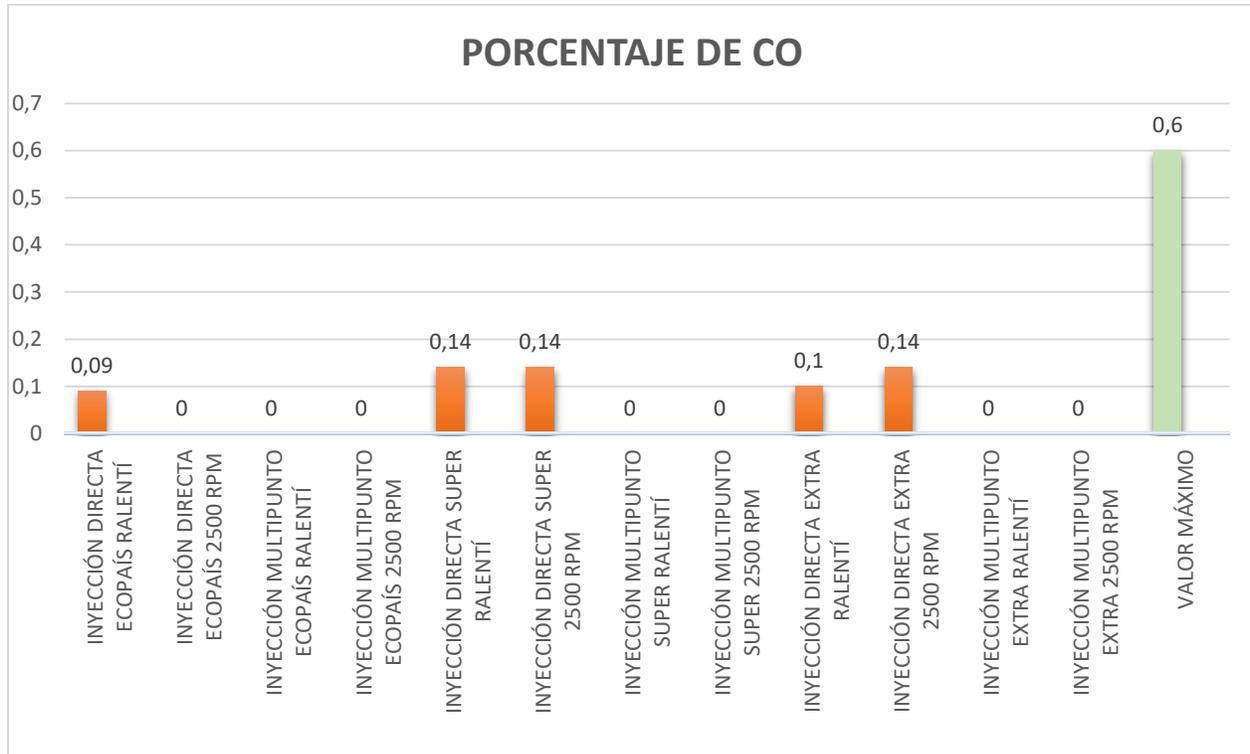


Figura 9. Porcentaje de CO

En el porcentaje de CO₂, producido, es menor en el Hyundai Venue, con un 14,2%, sin embargo, en el Hyundai Veloster se aprecia que con el mismo combustible se genera un 14,28%, pese a esa centésima parte se podría considerar como un empate en la emisión de este contaminante en ambos sistemas de inyección, el siguiente contaminante con menor valor es en el sistema de inyección indirecta con un valor de 14,4%, tal como se aprecia en la figura 10.

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

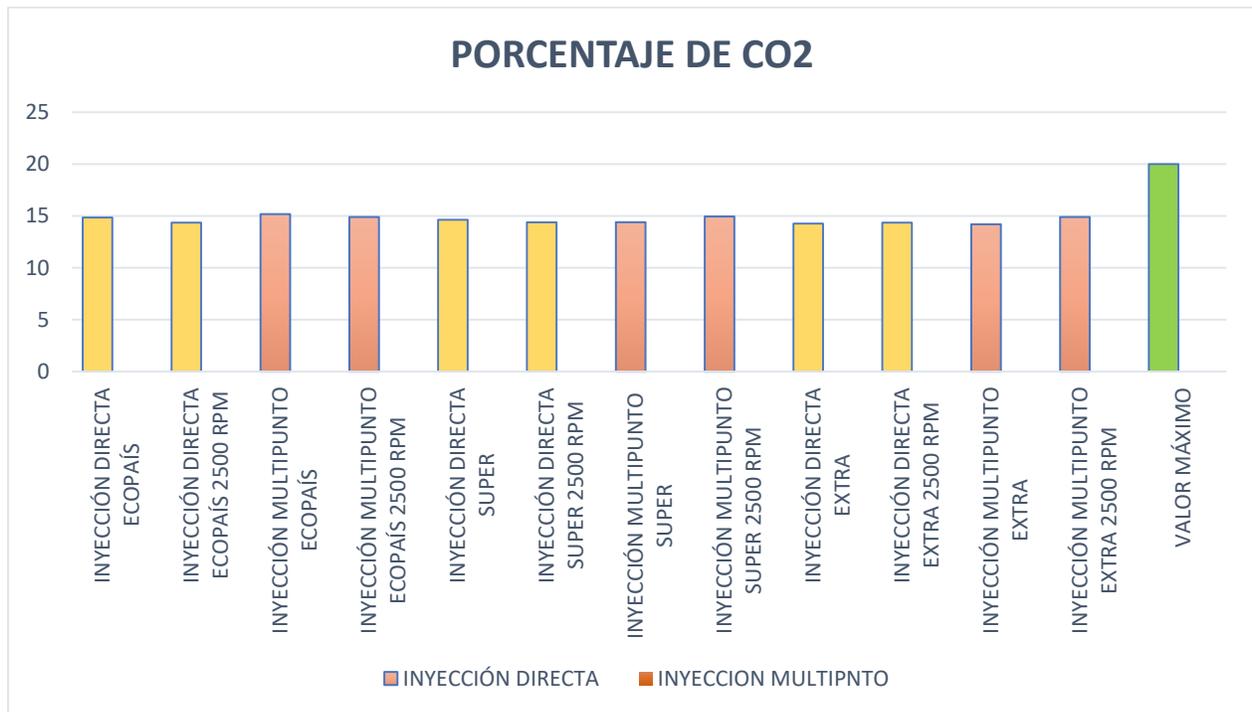


Figura 10. Porcentaje de CO₂

Al referirse a las partículas por millón de hidrocarburos PPM de HC, se puede evidenciar que la menor emisión es la que produce en Hyundai Venue con su sistema de inyección indirecta, siendo un valor de 0,5 ppm, tal como se puede observar en la gráfica, seguido se encuentra el valor de 0,75 ppm, también producidas por este vehículo, tal como se puede apreciar en la figura 11.

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

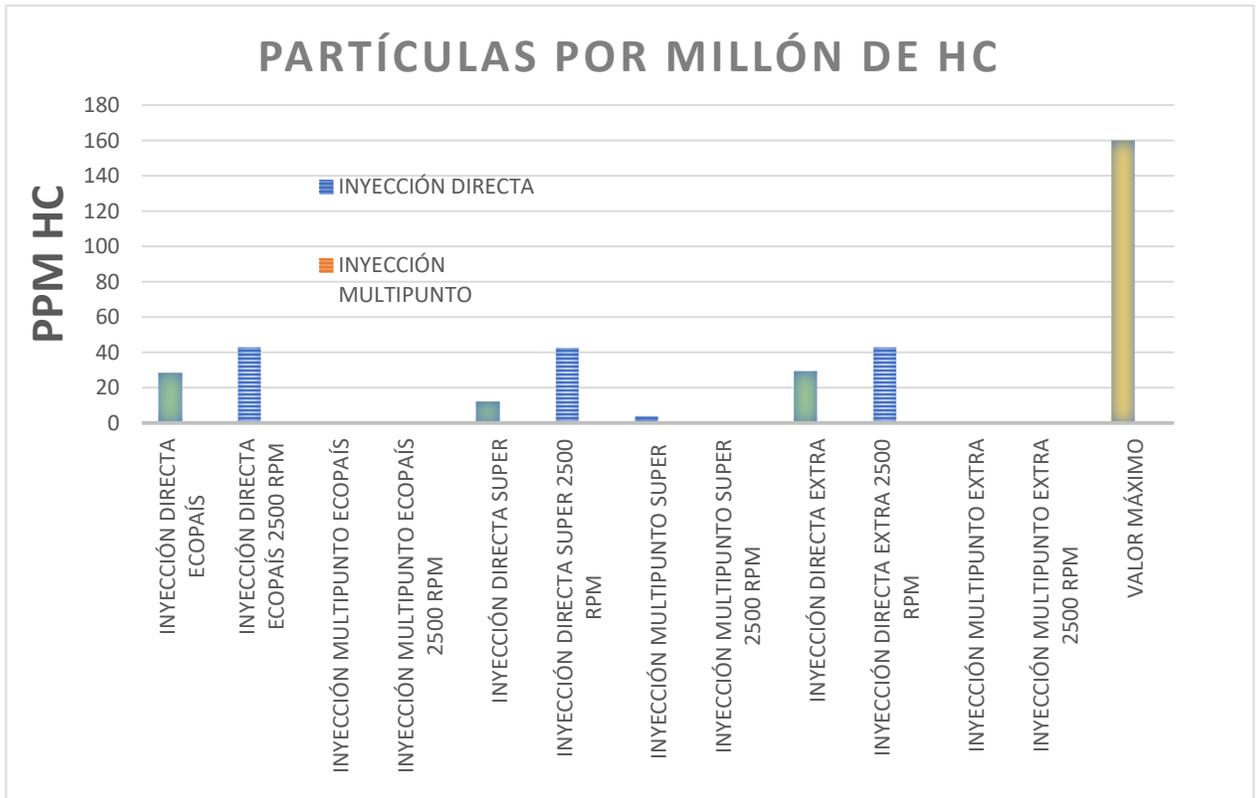


Figura 11. Partículas por millos de hidrocarburos

En el caso del valor de O_2 (oxígeno), se aprecia que el menor porcentaje de emisión se genera en el Hyundai Veloster, al usar gasolina Ecopaís, con un valor de 0.3%, y el siguiente valor también es en este vehículo, con el uso de gasolina extra, tal como se puede apreciar en la figura 12.

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

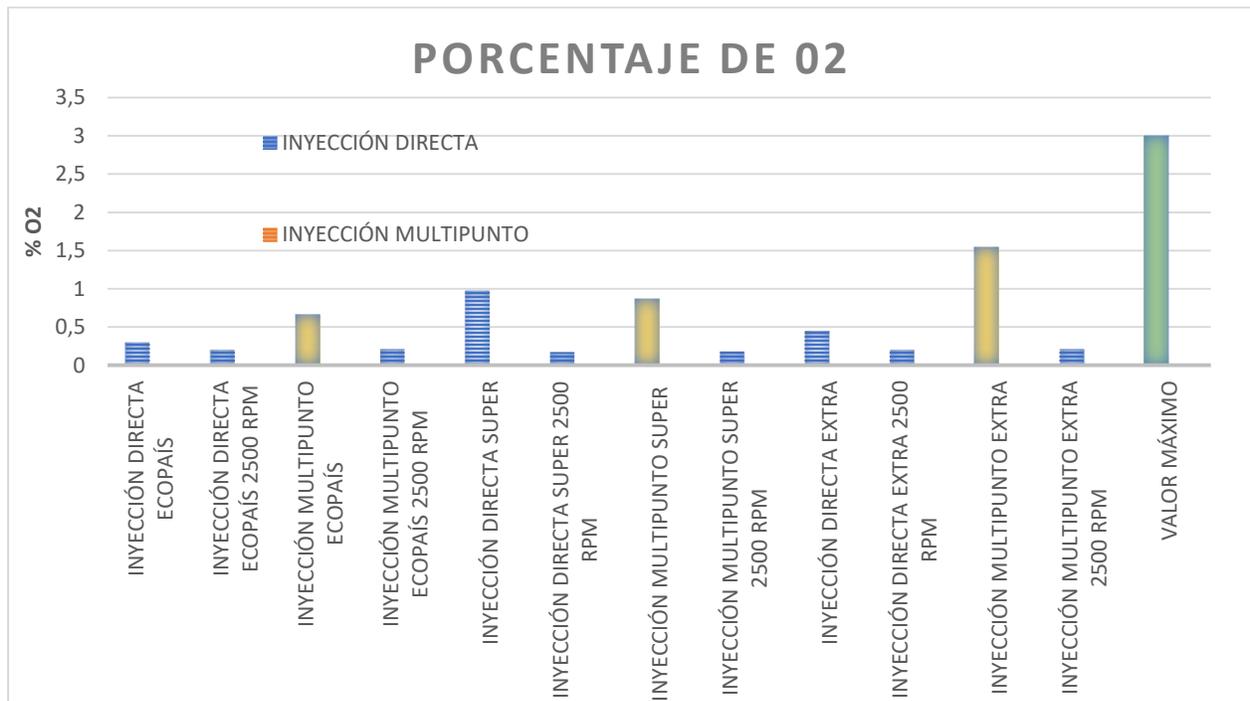


Figura 12. Porcentaje de O₂

Según los análisis que se pueden realizar en las diferentes tablas y gráficas se determina la idoneidad de la gasolina Ecopaís en el sistema de inyección multipunto que comúnmente se usa a nivel nacional, la única contraindicación con este combustible es la formación de sedimentos que se pueden encontrar en los microfiltros de los inyectores, esta afirmación se la encuentra en el artículo “*Effect of Ethanol-Gasoline Blends on Combustion and Emissions of a Passenger Car Engine at Part Load Operations*”(Ramadhas et al., 2016), sin embargo como se determina en otras investigaciones este defecto de filtrado puede ser subsanado mejorando la calidad de filtros y procesos que se realizan en la mezcla del combustible, además de que los vehículos actuales contienen también válvulas de recirculación de gases que disminuyen la presencia de NO_x (Polat et al., 2016), siendo este combustible una opción viable incluso en la altura de Quito (Leguísamo-Milla et al., 2019) y también una opción de mejora económica fomentando un desarrollo sostenible en el agro nacional (Reyes Soriano, 2010).

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

Con relación al sistema de alimentación de inyección directa, en este sistema se puede evidenciar una disminución de contaminantes al usar combustible Ecopaís (Flores, 2018), considerando que la composición del combustible tiene etanol en un 5%, se ve un ligero decremento de gases contaminantes, sin embargo en el caso de la gasolina Extra que tiene el mismo número de octanos que la Ecopaís se aprecia que los valores son bastante similares, como lo revisado en otros estudios incluso al variar parámetros como altura donde se realiza la experimentación este patrón se mantiene (Tipanluisa, Remache, Ayabaca, y Reina, 2017b).

CONCLUSIONES

1. En el caso del sistema de inyección del Hyundai Veloster que corresponde a la inyección directa se determinaron los siguientes parámetros, en el valor de HC se obtuvo de 54 ppm en el caso al usar gasolina Ecopaís, 42,75 ppm al usar gasolina Extra y 31, 75 ppm con gasolina Super, en el valor de CO se obtuvo 0.45% en al usar gasolina Ecopaís, 0.14% con gasolina Extra y 0.26% con gasolina Super, por lo que estos parámetros también se encuentran por debajo de la mínima requerida en la Revisión Técnica Vehicular (RTV), que tiene un valor de 0.6%, y al tratarse del O₂, se obtuvo un valor de 0.26% con gasolina Ecopaís, de 0.2% con gasolina Extra y de 0.05% con gasolina Súper, igualmente encontrándose por debajo del valor mínimo requerido que es de 3%, aprobando sin inconvenientes la Revisión Técnica Vehicular (RTV).
2. Para el sistema de alimentación multipunto del Hyundai Venue, se determina en el caso del de un valor de HC 1.25 ppm con gasolina Ecopaís, 0.75 ppm con gasolina Extra y 6 ppm al usar gasolina Super, se determina en el caso del de un valor de CO 0% con gasolina Ecopaís, 0% con gasolina Extra y 0% al usar gasolina Super, el valor permitido en la

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

Revisión Técnica Vehicular (RTV) es de 6%, y en el caso del O₂ en valor es de 0.7% con gasolina Ecopaís, 0.21% con gasolina Extra y 0.55% al usar gasolina Super,

3. La gasolina Ecopaís puede ser una opción muy interesante desde el punto de vista medioambiental, por lo que sería un sustituto que se encuentra al nivel de la gasolina extra, pero ofrece disminución en las emisiones.
4. El sistema de alimentación multipunto genera menores valores en las emisiones de gases que se midieron en comparación al sistema de inyección directa.
5. La diferencia en el número de octanos es especialmente significativa en el sistema de inyección directa, ya que al usar una gasolina como la Extra o Ecopaís el valor de los gases contaminantes aumenta, considerando que tienen una diferencia de 5 puntos en el octanaje.
6. En el caso de la prueba estática que se realizó, tubo dos etapas, la primera en ralentí y la segunda a 2500 RPM, destacándose el sistema de alimentación multipunto en generar menores valores de elementos contaminantes, inclusive en la medición de CO, el valor que se obtuvo en todas las mediciones incluso con la variación de gasolinas fue de 0.
7. El sistema de alimentación GDI muestra un elevado número de HC en comparación al sistema multipunto, incrementándose aún más este valor al realizar la prueba estática a 2500 RPM, siendo un incremento aproximado del 60%, sin embargo, en todas las mediciones y pese al incremento todos los valores están dentro del rango admisible en la normativa.
8. El hecho que la comparación haya sido efectuada en dos vehículos de igual cilindrada puede ayudar en la comparación que datos característicos que estos pueden tener según el fabricante, ya que los dos vehículos fueron nuevos, sin embargo, se puede apreciar que la tecnología del Veloster para una misma cilindrada genera mayor potencia, siendo este valor un 59% más alto, pese a que la configuración es muy similar en ambos casos.

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

9. Al tratarse de vehículos nuevos los elementos fungibles se encuentran en óptimas condiciones, razón por la cual se puede esperar también un comportamiento óptimo en el caso de las emisiones contaminantes.

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Autofenix. (2019). ¿Qué es el octanaje y qué tipo de combustible debo usar para mi auto. Retrieved

July 10, 2020, from Primera website:

<https://www.autofenix.com.ec/noticias/detalle/noticia/que-es-el-octanaje-y-que-tipo-de-combustible-debo-usar-para-mi-auto/>

Baldeón, G., Ejecutivo, P., Calahorrano, Ó., Reza, A., Técnico, C., Larco, M., ... Moya, B. (2018).

AEADE. Retrieved from www.aeade.net

Becerra, S., Paichard, E., Sturma, A., Laurence, M. (2013). Vivir con la contaminación petrolera en el Ecuador: percepciones sociales del riesgo sanitario y capacidad de respuesta - Dialnet.

Retrieved September 15, 2020, from

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4959912>

BEE, B. (2020). Analizador de Gases Brain Bee - Modelo AGS-688 – Globaltech Ecuador.

Retrieved July 9, 2020, from Primera website: [https://globaltech-](https://globaltech-car.com/producto/analizador-de-gases-brain-bee-modelo-ags-688/)

[car.com/producto/analizador-de-gases-brain-bee-modelo-ags-688/](https://globaltech-car.com/producto/analizador-de-gases-brain-bee-modelo-ags-688/)

Energético, I. de I. G. y. (2017). Transporte lidera estadísticas de consumo energético en Ecuador

– Instituto de Investigación Geológico y Energético. Retrieved August 15, 2020, from Primera

website: [https://www.geoenergia.gob.ec/transporte-lidera-estadisticas-de-consumo-](https://www.geoenergia.gob.ec/transporte-lidera-estadisticas-de-consumo-energetico-en-ecuador/)

[energetico-en-ecuador/](https://www.geoenergia.gob.ec/transporte-lidera-estadisticas-de-consumo-energetico-en-ecuador/)

EUR-Lex. (2018). EUR-Lex - 128186 - EN - EUR-Lex. Retrieved December 8, 2020, from 1

website: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=LEGISSUM%3A128186>

Flores, M. M. (2018). *ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA GASOLINA*

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

EXTRA ADITIVADA CON ALCOHOLES, EN LA REFINERÍA ESMERALDAS. 70.

Holman, C., Harrison, R., y Querol, X. (2015, June 1). Review of the efficacy of low emission zones to improve urban air quality in European cities. *Atmospheric Environment*, Vol. 111, pp. 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.04.009>

Hubenthal, A. (2010). *Evaluación del sector transporte en Ecuador con miras a plantear medidas de mitigación al Cambio Climático.*

INEN, I. E. D. N. (2000). GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O “RALENTI”. PRUEBA ESTÁTICA. Retrieved July 9, 2020, from Primera website: <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/03NOR2000-INEN02.pdf>

Kumar Pathak, S., Sood, V., Singh, Y., y Channiwala, S. A. (2016). Real world vehicle emissions: Their correlation with driving parameters. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 44, 157–176. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.02.001>

Leguísamo-Milla, J. , Santiago, ;, Celi-Ortega, Edilberto, ;, Llanes-Cedeño, Juan, ;, y Rocha-Hoyos. (2019). Estratificación de un motor de inyección directa a gasolina al variar la altitud.//Stratification of a gasoline direct injection to vary altitude. *Revista Ciencia UNEMI*, 12(30), 46–56. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol12iss30.2019pp46-56p>

Mosquera, A., y Moreno, P. (2020). Análisis de las propiedades de la gasolina súper y ecopaís comercializada en la ciudad de Guayaquil al ser mezclado con un aditivo. Retrieved September 17, 2020, from <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4236>

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

- Palacios, E., y Espinoza, C. (2014). Vista de Contaminación del aire exterior Cuenca - Ecuador, 2009 - 2013. Posibles efectos en la salud. Retrieved September 15, 2020, from 1 website: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/medicina/article/view/883/781>
- Polat, S., Uyumaz, A., Solmaz, H., Yilmaz, E., Topgül, T., y Yücesu, H. S. (2016). A numerical study on the effects of EGR and spark timing to combustion characteristics and NO_x emission of a GDI engine. *International Journal of Green Energy*, 13(1), 63–70. <https://doi.org/10.1080/15435075.2014.909361>
- Ramadhas, A. S., Singh, P. K., Sakthivel, P., Mathai, R., y Sehgal, A. K. (2016). Effect of Ethanol-Gasoline Blends on Combustion and Emissions of a Passenger Car Engine at Part Load Operations. *SAE Technical Papers, 2016-February*(February). <https://doi.org/10.4271/2016-28-0152>
- Reyes Soriano, A. H. (2010). *Evaluación del proyecto de desarrollo de biocombustibles en el Ecuador: caso Gasolina Ecopais período 2010-2015*. Retrieved from Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Económicas website: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/14175>
- Rocha-Hoyos, J., Llanes-Cedeño, E., Andrade-Villarreal, J., Caiza-Quishpe, L., Leguísamo-Milla, J., Rocha-Hoyos, J., ... Leguísamo-Milla, J. (2019). Incidencia del uso de gasolina extra y mezcla al 5 % con etanol anhidro en los microfiltros de los inyectores multipunto. *Enfoque UTE*, 10(2), 28–38. Retrieved from <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>
- SierraMotors. (2019). ¿EcoPais o Super, que gasolina debo usar en mi auto? Retrieved July 10, 2020, from Primera website: <https://www.sierramotors.com.ec/2019/01/26/ecopais-o-super->

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON UN SISTEMA CÁNISTER”

que-gasolina-debo-usar-en-mi-auto/

TECMOVIA. (2019). Análisis de normativas de emisiones por países y continentes | Tecmovia.

Retrieved December 8, 2020, from 14 DE OCTUBRE DE 2017 website:

<https://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/07/15/ventas-de-normativas-de-emisiones-por-paises-y-continentes/>

Tipanluisa, L. E., Remache, A. P., Ayabaca, C. R., y Reina, S. W. (2017a). Emisiones

Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos

Calidades. *Informacion Tecnologica*, 28(1), 3–12. [https://doi.org/10.4067/S0718-](https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100002)

07642017000100002

Tipanluisa, L. E., Remache, A. P., Ayabaca, C. R., y Reina, S. W. (2017b). Emisiones

Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos

Calidades. *Informacion Tecnologica*, 28(1), 3–12. [https://doi.org/10.4067/S0718-](https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100002)

07642017000100002

US EPA, O. (n.d.). *Implementación de las leyes y normas sobre el aire*. Retrieved from

<https://espanol.epa.gov/espanol/implementacion-de-las-leyes-y-normas-sobre-el-aire>

Vaca, A. (2017). *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR*.

Wang, B., Jiang, Y., Hutchins, P., Badawy, T., Xu, H., Zhang, X., ... Tafforeau, P. (2017).

Numerical analysis of deposit effect on nozzle flow and spray characteristics of GDI injectors.

Applied Energy, 204, 1215–1224. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.094>