



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GASES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE
INYECCIÓN DE AIRE POR EL MÚLTIPLE DE ESCAPE EN UN MOTOR NEW EF
SONATA 2.0

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

AUTORES: YEREMY BRANDON CELI SALINAS

JAIME SEBASTIÁN URDIALES LANDY

TUTOR: ING. LAURO FERNANDO BARROS FAJARDO, MSc.

Cuenca - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Yeremy Brandon Celi Salinas con documento de identificación N° 1950100204 y Jaime Sebastián Urdiales Landy con documento de identificación N° 0105775035 manifestamos que:

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

Cuenca, 13 de julio del 2023

Atentamente,



Yeremy Brandon Celi Salinas
1950100204



Jaime Sebastián Urdiales Landy
0105775035

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

Nosotros, Yeremy Brandon Celi Salinas con documento de identificación N° 1950100204 y Jaime Sebastián Urdiales Landy con documento de identificación N° 0105775035, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Análisis de las emisiones de gases con la implementación de inyección de aire por el múltiple de escape en un motor New Ef Sonata 2.0”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 13 de julio del 2023

Atentamente,



Yeremy Brandon Celi Salinas

1950100204



Jaime Sebastián Urdiales Landy

0105775035

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Lauro Fernando Barros Fajardo con documento de identificación N° 0103653457, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANALISIS DE LAS EMISIONES DE GASES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE INYECCIÓN DE AIRE POR EL MULTIPLE DE ESCAPE EN UN MOTOR NEW EF SONATA 2.0, realizado por Yeremy Brandon Celi Salinas con documento de identificación N° 1950100204 y por Jaime Sebastián Urdiales Landy con documento de identificación N° 0105775035, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 13 de julio del 2023

Atentamente,



Ing. Lauro Fernando Barros Fajardo, MSc.

0103653457

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicada a mi querida madre Martha Salinas y Calixto Lema, a su sacrificio, ya que han sido un gran soporte en cada caída que he tenido a lo largo de este camino, Son mi ejemplo para cumplir con cada una de mis metas.

Y sin duda mis compañeros y consejeros fiel, le dedico también a mis queridos hermanos por su apoyo, amor incondicional y por creer en mí.

También me la dedico a mí mismo por todo mi esfuerzo, dedicación y por continuar a pesar de las dificultades, ya que gracias a eso actualmente me veo reflejado y enriquecido de todo el conocimiento.

De la misma manera, le hago una dedicatoria especial a los licenciados que emplearon su tiempo y paciencia en instruirme y hacerme una persona y profesional que pueda contribuir y destacar en la sociedad.

Jeremy Brandon Celi Salinas

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios, por haberme guiado en este camino, y por darme la fuerza y la sabiduría para enfrentar cada reto.

A mis padres Susana Landy y Esteban Urdiales que han sido el pilar fundamental en cada momento a lo largo de este proceso, brindándome el apoyo y consejos necesarios para enfrentar cada uno de los retos que se han presentado.

A mis hermanos y sobrino, que siempre han estado a mi lado sirviéndome de inspiración.

A mis abuelos y en especial a Lauro Urdiales quien ha sido una pieza clave para lograrlo, siempre apoyándome de manera incondicional a pesar de la distancia, y a cada uno de los familiares, amigos y docentes con los que he coincidido en este camino y han hecho parte del proceso.

Jaime Sebastian Urdiales Landy

AGRADECIMIENTO

Me dispongo primeramente a agradecer a Dios por otorgarme fuerza y voluntad para no rendirme en este trayecto de mi vida tan importante, a mi amada madre que es mi pilar fundamental, mi preciado Calixto Lema, un gran hombre que contribuyó a mi crecimiento como profesional y ser humano, a mi familia y cada persona que me dio su apoyo y confío en mí.

También me permito darle mis más sinceros agradecimientos a mi tutor Ing. Lauro Barros que me colaboró con su asesoría, con su paciencia y entrega me apoyo en cada uno de los pasos que tuve que dar, para llegar a culminar este proceso. Así mismo por su disposición para culminar con este proceso proyecto de investigación.

"Debemos encontrar tiempo para detenernos y agradecer a las personas que hacen la diferencia en nuestras vidas." John F. Kennedy.

Jeremy Brandon Celi Salinas

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento más profundo a Dios, por siempre guiarme con su infinita bondad, por ser la guía más importante en este proceso, a mis padres por ser el apoyo incondicional, gracias a su amor apoyo y sacrificio durante este largo proceso, que sepan que sin su paciencia y sabiduría nada de esto sería posible.

También quiero agradecer a mi tutor el Ingeniero Lauro Barros, que gracias a su orientación ha sido posible el desarrollo de este proyecto.

Jaime Sebastian Urdiales Landy

RESUMEN

El presente proyecto realizado como trabajo de titulación se enfoca en el análisis de las emisiones contaminantes que salen por el escape del motor, específicamente el CO₂, CO y HC, los cuales se medirán antes y después de la implementación de un sistema de inyección de aire por el múltiple de escape, para lograr los objetivos en el desarrollo de este trabajo, se presentan los siguientes puntos de realización:

Inicialmente, como primer punto, se realiza una investigación mediante fuentes bibliográficas para conocer el estado del arte del funcionamiento del motor, las emisiones contaminantes que se producen, el impacto ambiental que generan y sus consecuencias en el ser humano, y la inyección de aire al múltiple de escape.

Consecuentemente, terminado el primer punto, se realiza el diagnóstico del motor New Ef Sonata 2.0, el cual presenta fallas en la lectura del sensor Map, se realiza un ABC de motor para que el motor se encuentre en buen funcionamiento y realizar toma de datos eficientes, después se procede a tomar las mediciones de los gases antes de implementar la inyección de aire al múltiple de escape,

Proseguimos con el tercer punto, se implementa el sistema de inyección de aire al múltiple de escape, se comprueba que funcione de forma eficiente y se realizan las mediciones de los gases

Finalmente, como cuarto punto, realizamos el análisis de los gases contaminantes antes y después de la implementación de la inyección de aire por el múltiple de escape con el fin de obtener datos positivos que englobe la reducción de los gases.

Palabras Claves: Gases, Contaminantes, CO₂, CO, HC, Aire, Escape.

ABSTRACT

The present project carried out as a degree work focuses on the analysis of the pollutant emissions that come out of the engine exhaust, specifically CO₂, CO and HC, which will be measured before and after the implementation of an air injection system through the exhaust manifold, to achieve the objectives in the development of this work, the following points of realization are presented:

Initially, as a first point, an investigation is carried out through bibliographic sources to know the state of the art of engine operation, the pollutant emissions that are produced, the environmental impact they generate and their consequences on human beings, and the injection of air to the exhaust manifold.

After the first point, the diagnosis of the New Ef Sonata 2.0 engine, which presents failures in the Map sensor reading, an ABC of the engine is performed so that the engine is in good working order and efficient data collection is performed, after making repairs and proper maintenance to the engine, we proceed to take measurements of the gases before implementing the air injection to the exhaust manifold,

We continue with the third point, we implement the air injection system to the exhaust manifold, we check that it works efficiently and we take the gas emissions measurements.

Finally, as a fourth point, we perform the analysis of pollutant gases before and after the implementation of air injection through the exhaust manifold in order to obtain positive data that encompasses the reduction of gases.

Key words: Gases, Pollutants, CO₂, CO, HC, Air, Exhaust.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUCCIÓN	17
2. PROBLEMA	18
2.1. Antecedentes	18
2.2. Importancia y alcances	18
2.3. Delimitación	19
3. OBJETIVOS	20
3.1. Objetivo General	20
3.2. Objetivos Específicos	20
4. CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DEL ARTE	21
4.1 Historia del automóvil	21
4.2 Impacto del automóvil en el medio ambiente	23
4.3 Principio de funcionamiento de un motor a gasolina	24
4.4 Descripción del Ciclo Otto	25
4.5 Motores con sistemas de inyección	29
4.6 Relación aire combustible	31
4.7 Mezcla estequiométrica	33
4.8 Mezcla rica	34
4.9 Mezcla pobre	35
4.10 Gases producidos en la combustión	35
4.10.1 Principales gases de escape	36
4.10.2 Gases contaminantes	36
4.10.3 Gases secundarios	36
4.11 Hidrocarburos	37
4.12 Monóxido de Carbono	39
4.13 Dióxido de Carbono	41
4.14 Sistema de escape	42

4.14.1 Colector	43
4.14.2 Conductos	44
4.14.3 Convertidor catalítico	45
4.14.4 Silenciador	45
4.15 Inyección de aire en el múltiple de escape	46
5. CAPITULO II: DESARROLLO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE AIRE	48
5.1 Implementación del sistema	48
5.3 Codos de unión.....	50
5.4 Acoples de tubo de hierro.....	50
5.6 Acople para manguera	51
5.7 Mangueras de alta temperatura	52
5.8 Válvulas check	53
5.9 Tubo de cobre de alta temperatura.....	53
5.10 Regulador de presión de aire	54
5.11 Ensamble del sistema.....	55
5.12 Medición de gases contaminantes.....	60
5.13 Resultados de la medición de los gases contaminantes	63
6. CAPITULO III: ANÁLISIS DE DATOS.....	69
6.1 Comparación de emisiones en ralentí.....	69
6.1.1 Análisis de CO ₂	69
6.1.2 Análisis de CO	71
6.1.3 Análisis de HC.....	72
6.1.4 Análisis de la emisión de O ₂	74
6.1.5 Análisis de las emisiones general en ralentí.....	75
6.2 Comparación de emisiones a 2500 rpm.....	77
6.2.1 Análisis de CO ₂	77
6.2.2 Análisis de CO	78
6.2.3 Análisis de HC	80
6.2.4 Análisis de O ₂	81
6.2.5 Análisis de las emisiones general a 2500 rpm	82
8. REFERENCIAS	85

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Problemas de salud ocasionado por el monóxido de carbono (CO)</i>	40
Tabla 2. <i>Medición de gases en ralenti y a 2500 rpm sin el sistema de aire</i>	64
Tabla 3. <i>Medición de gases a una presión de 1 psi de aire en condiciones de ralenti</i>	65
Tabla 4. <i>Medición de gases a una presión de 1 psi de aire en condiciones de 2500 rpm.</i>	65
Tabla 5. <i>Medición de gases a una presión de 3 psi de aire en condiciones de ralenti</i>	66
Tabla 6. <i>Medición de gases a una presión de 3 psi de aire en condiciones de 2500 rpm.</i>	66
Tabla 7. <i>Medición de gases a una presión de 5 psi de aire en condiciones de ralenti</i>	67
Tabla 8. <i>Medición de gases a una presión de 5 psi de aire en condiciones de 2500 rpm.</i>	67
Tabla 9. <i>Medición de gases a una presión de 6 psi de aire en condiciones de ralenti</i>	68
Tabla 10. <i>Medición de gases a una presión de 6 psi de aire en 2500 rpm</i>	68

Tabla de Ilustraciones

Figura 1. <i>Ubicación UPS, C. Vieja 12 – 30 y, Cuenca 01010</i>	19
Figura 2. <i>Benz Patent Motorwagen</i>	21
Figura 3. <i>Modelo T de Ford</i>	22
Figura 4. <i>Fase de admisión</i>	26
Figura 5. <i>Fase de compresión</i>	27
Figura 6. <i>Fase de explosión</i>	28
Figura 7. <i>Fase de escape</i>	29
Figura 8. <i>Sistema de inyección directa e indirecta</i>	30
Figura 9. <i>Esquema del sistema de inyección electrónica</i>	31
Figura 10. <i>Representación de los tipos de mezcla</i>	32
Figura 11. <i>Gases en la combustión</i>	33
Figura 12. <i>Gases producidos en la combustión</i>	37
Figura 13. <i>Emisión de hidrocarburos en base a lambda</i>	38
Figura 14. <i>Emisión de monóxido de carbono (CO) en base al factor lambda</i>	41
Figura 15. <i>Emisión de dióxido de carbono (CO₂) en base al factor lambda</i>	42
Figura 16. <i>Sistema de escape</i>	43
Figura 17. <i>Colector de escape</i>	44
Figura 18. <i>Conductos del sistema de escape</i>	44
Figura 19. <i>Convertidor catalítico</i>	45
Figura 20. <i>Esquema de funcionamiento del silenciador de escape</i>	46
Figura 21. <i>Fase de escape, apertura de la válvula e ingreso de aire secundario</i>	48
Figura 22. <i>Perforaciones realizadas en el colector de escape</i>	49

Figura 23. <i>Codo de unión de 5/8 de pulgada</i>	50
Figura 24. <i>Tubos de hierro para acople en el múltiple de escape de 9/16 de pulgada</i>	51
Figura 25. <i>Acople para manguera de 5/16 de pulgada</i>	51
Figura 26. <i>Mangueras de alta temperatura</i>	52
Figura 27. <i>Válvula check y acople de manguera de 1/8</i>	53
Figura 28. <i>Tubo de cobre de 5/8 de pulgada</i>	54
Figura 29. <i>Regulador de presión de aire</i>	55
Figura 30. <i>Colocación de una broca de 3/4 de pulgada</i>	56
Figura 31. <i>Suelda autógeno del tubo de hierro y el codo unión</i>	57
Figura 32. <i>Ensamble de los elementos en el colector de escape</i>	57
Figura 33. <i>Válvulas check con acoples para manguera de 1/8 de pulgada</i>	58
Figura 34. <i>Unión de las válvulas check al colector de escape</i>	59
Figura 35. <i>Instalación del regulador de presión de aire</i>	60
Figura 36. <i>Preparación del analizador de gases</i>	62
Figura 37. <i>Colocación de la sonda de prueba</i>	63
Figura 38. <i>Gráfica de intervalos en las emisiones de CO₂</i>	69
Figura 39. <i>Valores estadísticos obtenidos en Minitab para CO₂</i>	70
Figura 40. <i>Gráfica de intervalos en las emisiones de CO</i>	71
Figura 41. <i>Valores estadísticos obtenidos en Minitab para CO</i>	72
Figura 42. <i>Gráfica de intervalos en las emisiones de HC</i>	73
Figura 43. <i>Valores estadísticos obtenidos en Minitab para HC</i>	73
Figura 44. <i>Gráfica de intervalos en las emisiones de O₂</i>	74
Figura 45. <i>Valores estadísticos obtenidos en Minitab para O₂</i>	75

Figura 46. <i>Análisis de las medias de las emisiones con las diferentes condiciones de ensayo</i>	76
Figura 47. <i>Gráfica de intervalos en las emisiones de CO₂ a 2500 rpm</i>	77
Figura 48. <i>Valores estadísticos obtenidos en Minitab para CO₂ a 2500 rpm</i>	78
Figura 49. <i>Gráfica de intervalos en las emisiones de CO a 2500 rpm</i>	78
Figura 50. <i>Valores estadísticos obtenidos en Minitab para CO a 2500 rpm</i>	79
Figura 51. <i>Gráfica de intervalos en las emisiones de HC a 2500 rpm</i>	80
Figura 52. <i>Valores estadísticos obtenidos en Minitab para HC a 2500 rpm</i>	81
Figura 53. <i>Gráfica de intervalos en las emisiones de O₂ a 2500 rpm</i>	81
Figura 54. <i>Valores estadísticos obtenidos en Minitab para O₂ a 2500 rpm</i>	82
Figura 55. <i>Análisis de las medias de las emisiones con las diferentes condiciones de ensayo a 2500 rpm</i>	83

1. INTRODUCCIÓN

Este presente proyecto propuesto que trata sobre el "Análisis de las emisiones de gases con la implementación de inyección de aire por el múltiple de escape en un motor New Ef Sonata 2.0" contiene información sobre las emisiones de gases contaminantes resultantes en el escape del motor antes y después de implementar el sistema de inyección de aire, se cuenta con los procedimientos a seguir para su inserción en el motor, así como para las respectivas medidas de los gases.

Se establecerá una ruta para realizar un análisis eficiente, realizando actividades que conllevan a la ruta de comparar la efectividad de este sistema, se realiza las mediciones en condiciones de baja y alta carga del motor, con la finalidad de realizar un análisis exhaustivo con toma de datos numerosas y eficientes.

Se pretende comprobar que las emisiones de gases contaminantes pueden verse alteradas reduciéndose al salir por el escape después de colocar el sistema de inyección de aire, siendo una alternativa para combatir la contaminación producidas por el parque automotor, se presentan los elementos a utilizar para el ensamble y su posterior colocación en el motor, una vez colocado el sistema se realizan las mediciones para finalmente realizar el análisis de este sistema alternativo para reducir los gases contaminantes.

2. PROBLEMA

El parque automotor va en aumento año tras año, la Ciudad de Cuenca cuenta con 90.750 vehículos se han presentado a la RTV en el año 2021 (EMOV EP, 2021). El principal problema sobre las emisiones contaminantes en la Cuenca es el tráfico vehicular (MAATE, 2017). Según la EMOV EP, de acuerdo al inventario sobre el seguimiento de emisiones en el Cantón Cuenca, demuestra que las principales fuentes de contaminación se producen por el parque automotor, con 94,5 % en CO, 71,2 % en NOx, aunque actualmente se realiza el control de emisiones mediante la norma NTE INEN 2204, que establece los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles que emplean gasolina, a partir del año 2000 de fabricación del vehículo los límites en la emisión del CO no debe superar el 1% y los HC deben ser inferiores a 200ppm, la calidad del aire sigue siendo un principal problema para la salud de las personas y el medio ambiente.

2.1. Antecedentes

Actualmente el parque automotor es el principal problema en la emisión de gases contaminantes, aunque hay normativas que establecen el control de estos gases, sigue siendo un problema ambiental con alto impacto en la contaminación atmosférica y salud humana, se requiere realizar acciones que contribuyan a la disminución de los gases contaminantes, al realizar un análisis de la implementación de un sistema de inyección de aire por el múltiple de escape se puede generar contribuciones en las acciones que se emplean para contener y disminuir la contaminación en el ambiente.

2.2. Importancia y alcances

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Analizar las emisiones de gases con la implementación de inyección de aire por el múltiple de escape en un motor New EF sonata 2.0

3.2. Objetivos Específicos

- ❖ Estudiar el estado de arte sobre la inyección de aire en el múltiple de escape, a través de revisiones bibliográficas para la obtención de información para el estudio.
- ❖ Recopilar los datos mediante las mediciones de los gases de escape de CO y HC.
- ❖ Analizar los resultados obtenidos de las emisiones de gases contaminantes obtenidos antes y después de implementar el sistema de inyección de aire en el múltiple de escape mediante análisis estadístico.

4. CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DEL ARTE

4.1 Historia del automóvil

El nacimiento de los primeros diseños de los automóviles con MCI se da en el siglo XVIII, en este tiempo se realizaron los primeros experimentos liderados por inventores como el francés Nicolas Joseph Cugnot, según estudios realizados, Cugnot fabricó el primer automóvil que se denominó como "Vapeur" que funcionaba con un motor a vapor, no es hasta la década de 1800 cuando se produjeron los primeros inicios para la elaboración de los vehículos, Étienne Lenoir patentó el primer motor de combustión en 1860, mientras que Nikolaus Otto fue en 1876 diseñó el motor de cuatro tiempos.

En 1886 Karl Benz, ingeniero alemán, fabricó el Benz Patent Motorwagen, este fue denominado el primer automóvil de la historia con empleaba un motor a gasolina, pionero del parque automotor moderno, posteriormente, inventores y fabricantes desarrollaron y mejoraron el diseño con nueva tecnología en los vehículos de MCI.

Figura 2.

Benz Patent Motorwagen.



Nota. Primer vehículo construido denominado "Vapeur". Fuente: (Benz, s.f.).

En el siglo XX, fue común el uso de los vehículos en todo el mundo, la producción de estos vehículos lo realizaban grandes fábricas del área automotriz que al aumentar la demanda de los automóviles surgieron y tuvieron una creciente dependencia en la sociedad. “Ford con el modelo T fue el de mayor demanda para 1920, hubo un consumo masivo por el bajo costo de adquisición, fácil de conducir y barato de reparar” (Luis, 2015). En el mismo periodo, otras empresas como General Motors también producían grandes cantidades de vehículos.

Figura 3.

Modelo T de Ford.



Nota. Vehículo de modelo T de Ford que tenía gran demanda en 1920. Fuente: (Esperon, 2015).

Al mismo tiempo que la tecnología de los motores iba en aumento, incorporando nuevos sistemas de combustible, se insertó la más dominante en los MCI, la inyección electrónica, así mismo, se incorporó la inyección de aire en el múltiple de escape, o la utilización de combustibles de fuentes alternativas.

Desde la creación del primer automóvil, los fabricantes e ingenieros a nivel global han realizados esfuerzos enfocados en perfeccionar los MCI, con tecnología que se implementa constantemente, actualmente los vehículos modernos son parte de todas estas investigaciones y mejoras.

“Los vehículos forman una parte fundamental en la vida cotidiana, las funciones para los que se los utilizan son muy extensas a las necesidades de las personas” (Kuhlgatz, 2015). Aunque son muy útiles e indispensables, tienen desafíos importantes como la contaminación del aire por las emisiones producidas en su creación y funcionamiento, la industria automotriz trabaja para disminuir los efectivos negativos e incorporar sistemas con tecnologías más amplias y eficientes.

“La industria automotriz, desde su creación y su transcurso por los años ha sido y seguirá siendo una fuente de crecimiento económico en todo el mundo con grandes desafíos por superar e innovar” (Kuhlgatz, 2015).

4.2 Impacto del automóvil en el medio ambiente

Desde la creación del automóvil y su evolución, se ha convertido en parte esencial de la vida, se ha ido involucrando en las actividades cotidianas que requieren transporte. “Aunque su uso es indispensable actualmente generan alrededor del 15% de las emisiones que son producidas a nivel global de CO₂ (dióxido de carbono)” (EPA, 22). El sector automotriz es uno de los que mayormente contribuyen al impacto ambiental y el cambio climático.

Los vehículos no solo producen el CO₂, también son emisores de otros gases perjudiciales para la salud y el medio ambiente, representados como los óxidos nitrosos

(NO_x), Hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), entre otros compuestos que tienen grandes efectos negativos en el ambiente, lo que pueden ocasionar problemas respiratorios u otras enfermedades cardiovasculares.

Debido al alto incremento de las emisiones contaminantes se introdujeron regulaciones y estándares para contrarrestar el impacto negativo, siendo la Unión Europea uno de los mayores contribuyentes a reformas para controlar estos gases, como la implementación de las normas EURO. “Involucra un estricto control para los vehículos, también promueven el uso de los vehículos eléctricos e híbridos con la finalidad de reducir las emisiones producidas por los MCI” (EU, 2020).

El parque automotor sigue en crecimiento, su producción también demanda de energía y materiales provenientes del medio ambiente, por lo que también representa un impacto de alta significancia porque al utilizar estos materiales en los vehículos se requiere hacer procesos de extracción y procesamiento, se hacen esfuerzos que buscan controlar estas actividades con la implementación de normativas y reglamentos, aún gran parte de la contaminación del aire lo producen los vehículos, por lo que es necesario emplear medidas o sistemas alternativos como el sistema de inyección por aire en el múltiple de escape.

4.3 Principio de funcionamiento de un motor a gasolina

Los motores a gasolina funcionan mediante un ciclo de cuatro tiempos, los cuales son denominados admisión, compresión, explosión y escape, teniendo como función principal realizar la mezcla de aire y combustible para formar dentro de los cilindros una combustión controlada a través de los elementos del motor, transformando la energía química en energía

mecánica para realizar la tracción del vehículo moviendo los pistones, este ciclo es realizado de forma continua mientras el motor se encuentre funcionando.

La eficiencia del motor se mejora con la implementación de tecnologías diversas como el sistema de inyección directa, esta hace referencia a la inyección dentro de los cilindros, así como la inserción de distribución variable o de sobrealimentación, las mejoras han permitido desarrollar una combustión más idónea de la mezcla aire y combustible, reduciendo las emisiones de gases contaminantes y mejorando la potencia y la eficiencia del motor.

Cuando se produce el arco eléctrico en el interior del cilindro, se genera una cantidad de energía que empuja al pistón al punto muerto inferior (PMI) con la combustión generada, producto de esta actividad, se crea la energía mecánica que es transferido al cigüeñal, creándose un movimiento rotativo hacia la transmisión, este movimiento es utilizado para poder impulsar las ruedas de los vehículos.

El rendimiento de los motores dependerá de diversos factores, como la calidad de combustible que se coloca, los diseños de los elementos dentro de los sistemas del motor como los sistemas de admisión o la inyección directa, la relación de compresión, la variabilidad de las aperturas y cierres de válvulas.

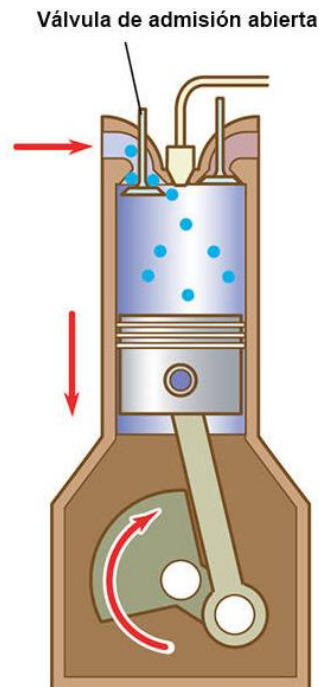
4.4 Descripción del Ciclo Otto

Fase de admisión: En esta fase, el motor aspira aire mientras la válvula de admisión se encuentra abierta, se realiza la aspiración de aire al cilindro mediante los pistones, que pasa del punto muerto superior (PMS) hacia el punto muerto inferior (PMI), mientras ocurre

este proceso, el sistema de inyección proporciona una cantidad de combustible para realizar una mezcla y el cigüeñal gira unos 180°.

Figura 4.

Fase de admisión.

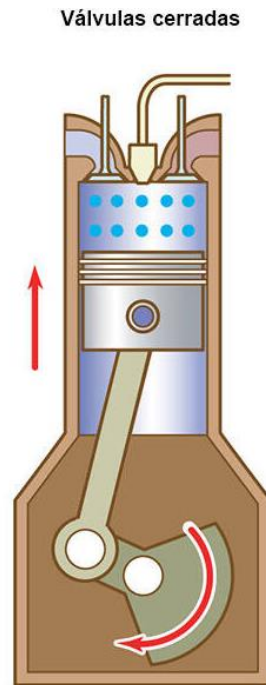


Nota. Fase admisión, la válvula de admisión se abre y el pistón se desplaza al punto muerto inferior. Fuente: (Autocasion.com, 2022).

Fase de compresión: Después de ingresar la mezcla de aire y combustible al interior del cilindro, la válvula de admisión se cierra mientras el pistón se mueve desde el punto muerto inferior (PMI) ascendiendo al punto muerto superior (PMS), el volumen de la mezcla se va comprimiendo a medida que se reduce el espacio. “En esta fase, la mezcla tiene un aumento de temperatura que puede oscilar entre los 400 °C y la presión oscilar entre 8 a 15 bar, el cigüeñal completa una vuelta con otro recorrido de 180°” (Bueno, 2017).

Figura 5.

Fase de compresión.

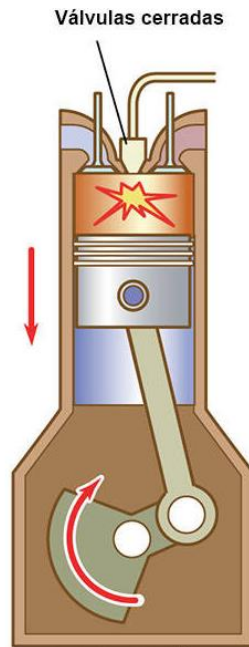


Nota. Fase de compresión, las válvulas se mantienen cerradas y el pistón asciende al punto muerto superior. Fuente: (Autocasion.com, 2022).

Fase de explosión: El pistón alcanza el punto muerto superior (PMS), en ese instante, con las válvulas completamente cerradas, la bujía produce un arco eléctrico encendiendo la mezcla de aire y combustible, produciéndose una gran cantidad de energía en el interior del cilindro. “Se aumenta la presión alcanzando valores entre 23-24 bares, de la misma manera, la temperatura en determinados puntos puede aumentar a unos 2000 °C o ser superior” (Bueno, 2017), esta energía producida provoca que el pistón sea empujado al punto muerto inferior (PMI), y el cigüeñal hace un recorrido 180 ° en esta fase, la cual es donde realiza el trabajo.

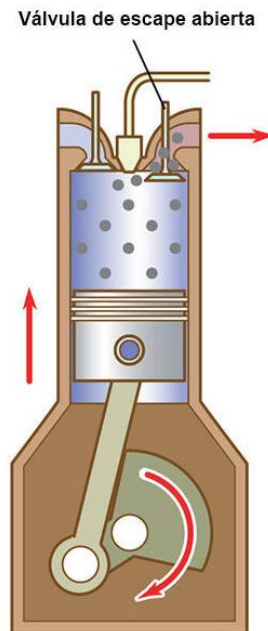
Figura 6.

Fase de explosión.



Nota. Fase de explosión del ciclo Otto, las válvulas se encuentran cerradas y el pistón desciende por la combustión. Fuente: (Autocasion.com, 2022).

Fase de escape: Consiste en la apertura de la válvula de escape cuando el pistón se encuentra en una carrera ascendente desde el punto muerto inferior (PMI) hasta el punto muerto superior (PMS), durante este trayecto se empujan los gases sobrantes de la combustión hacia el sistema de escape, el cigüeñal gira 180 ° por inercia, completando dos vueltas y culminando el ciclo Otto.

Figura 7.*Fase de escape.*

Nota. Fase de escape del ciclo Otto, la válvula de escape se abre mientras el pistón asciende al punto muerto superior. Fuente: (Autocasion.com, 2022).

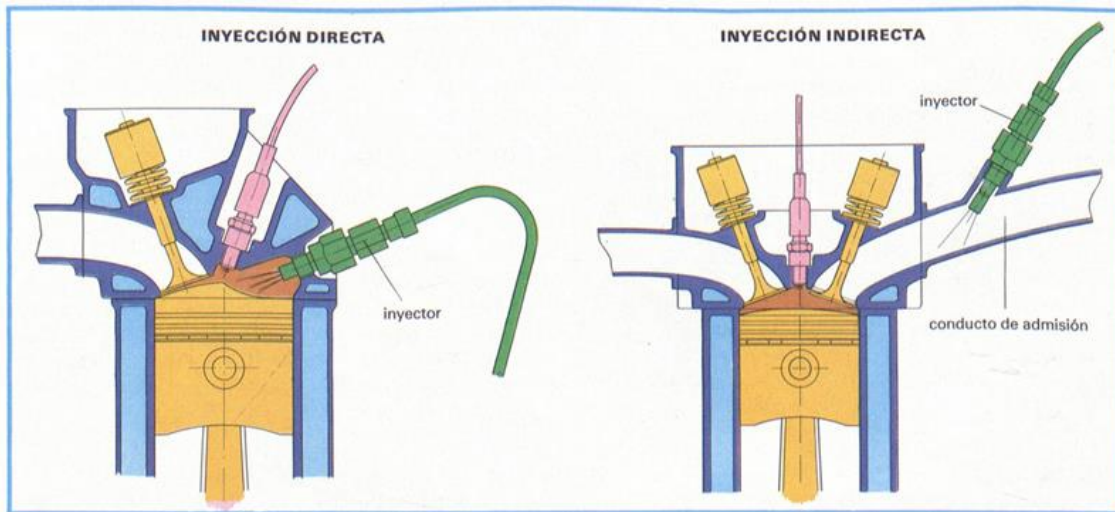
4.5 Motores con sistemas de inyección

La implementación de los sistemas de inyección en los motores ha sido producto de los avances tecnológicos en el sector automotriz, este sistema nos permite tener una mezcla de aire y combustible más idónea, aumentando la potencia del motor y reduciendo los gases contaminantes producidos en la combustión, este sistema ya no es controlado por el motor, se lo realiza de forma electrónica.

Se pueden encontrar comúnmente sistemas de inyección indirecta, que hace referencia a una inyección fuera de la cámara de combustión que ingresa por la entrada de aire, y tiene un costo menor, el sistema de inyección directa garantiza una mezcla más eficiente con una cantidad más precisa de combustible al interior de la cámara de combustión.

Figura 8.

Sistema de inyección directa e indirecta.



Nota. Representación de los tipos de sistemas de inyección directa e indirecta. Fuente: (Motorgiga.com, s.f.).

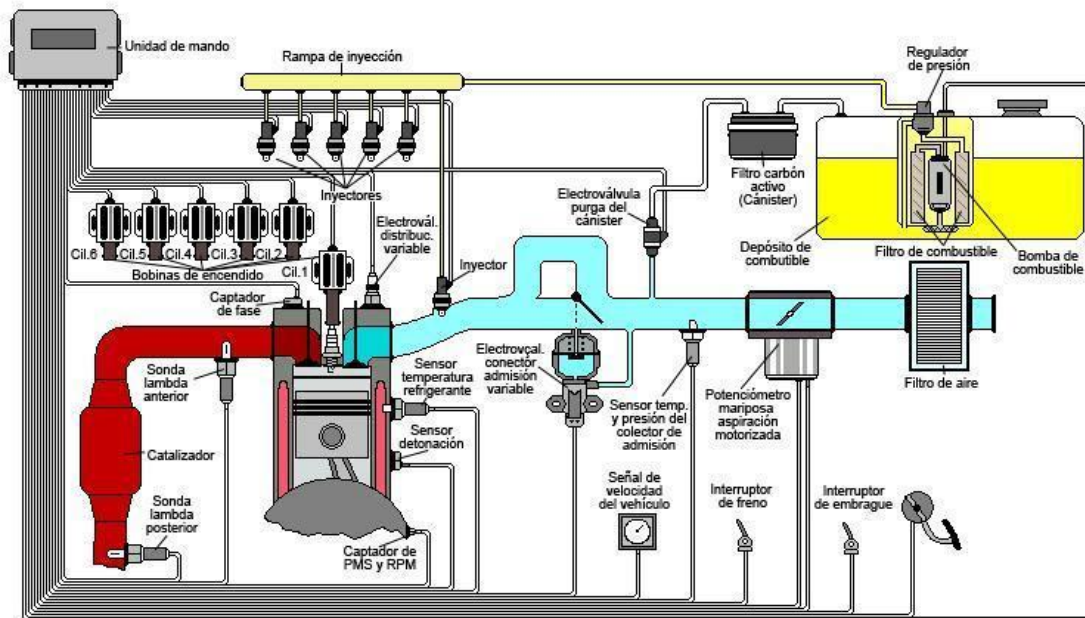
Esta sistema se controla mediante una unidad de control electrónico (ECU), encargada de realizar el cálculo de inyección y envía una señal a los inyectores para suministrar una cantidad de combustible, se logra realizar mediante la lectura de información que le proporcionan los sensores a través de sus señales, estos sensores son los encargados de transformar una señal física en digital e informar a la ECU el comportamiento del motor, como la presión del aire, la temperatura del motor, posición del acelerador, las revoluciones en las que se encuentra el motor, entre otros.

Mediante la señal que los sensores proporcionen a la ECU se suministrará combustible a los cilindros a través de los inyectores, la ECU buscará mantener una mezcla de aire y combustible ideal para un funcionamiento normal del motor, minimizando los gases

contaminantes con el monitorio de las emisiones, de ser necesario realiza ajustes en la inyección de combustible en cada momento.

Figura 9.

Esquema del sistema de inyección electrónica.



Nota. Esquema del sistema de inyección electrónico con sensores y actuadores. Fuente: (Cazorla, 2013).

4.6 Relación aire combustible

Es la relación que se tiene de la cantidad de aire que ingresa a la cámara de combustión y la cantidad de combustible utilizada para formar la mezcla, esta relación de aire y combustible de forma teórica es de 14.7:1, es decir, por cada 14.7 partes de aire de ingreso al sistema, se requiere 1 parte de combustible.

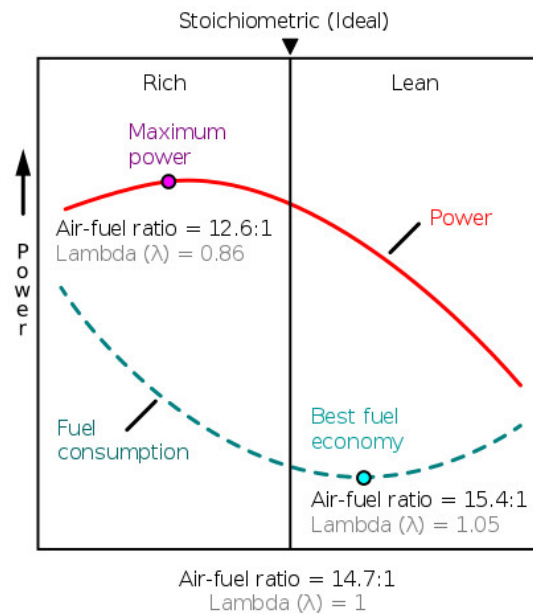
Una combustión eficiente con la menor cantidad de gases contaminantes dependerá de la homogeneidad y la calidad de la mezcla en la cámara de combustión, se determina la

relación de aire y combustible mediante el coeficiente denominado lambda (λ), esta relación tiene sus variaciones por las diferentes condiciones que se dan en el motor, como la velocidad, temperatura o la carga, esta puede ser ajustada mediante un control de caudal de aire y de combustible que ingresa a los cilindros del motor.

La relación de la mezcla al estar presente a variaciones de mezcla puede tener un exceso de combustible que representa una mezcla rica o cuando tiene un exceso de aire que representa una mezcla pobre, en los vehículos modernos se puede corregir la cantidad de inyección mediante un sensor de oxígeno que mide la cantidad de oxígeno que hay en los gases de escape.

Figura 10.

Representación de los tipos de mezcla.



Nota. Representación gráfica de la mezcla pobre, rica y estequiométrica en base al factor lambda. Fuente: (x-engineer.org, s.f.).

4.7 Mezcla estequiométrica

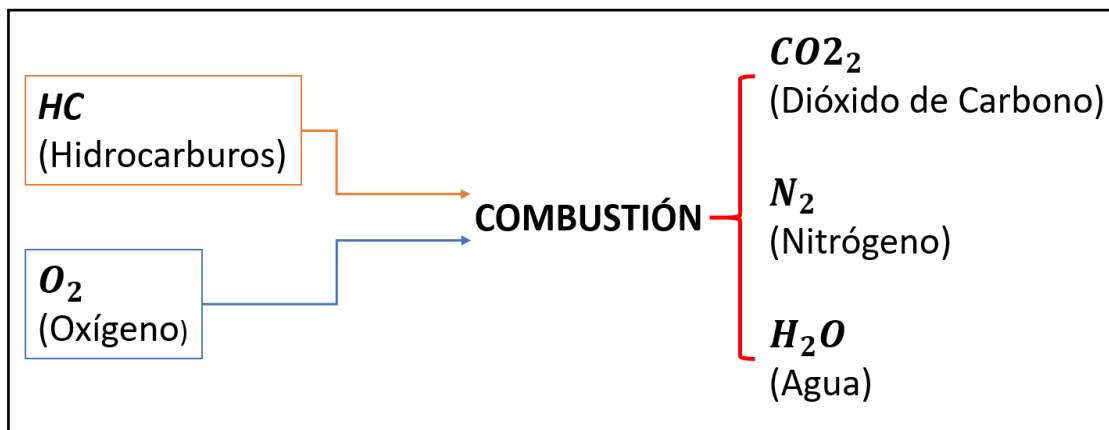
Una mezcla es ideal cuando la relación de aire y combustible es de 14.7/1, tal caso se da cuando la siguiente ecuación da como resultado el valor de 1.

$$\frac{\text{MASA DE AIRE REAL ADMITIDA}}{\text{MASA DE AIRE A ADMITIRSE}}$$

Cuando se tiene una mezcla estequiométrica para la combustión de manera teórica, los hidrocarburos van a reaccionar con el oxígeno para producir la combustión generando solamente tres gases por el escape.

Figura 11.

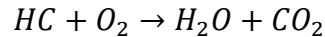
Gases en la combustión.



Nota. Elementos que se necesita para generar la combustión ideal con los gases que se producen después de combustionar. Fuente: Autores.

- Todo el Hidrógeno reacciona con el Oxígeno y forman Agua.
- Todo el Carbono hace reacción con el Oxígeno y forman Dióxido de Carbono.
- El Nitrógeno no interviene en la reacción química.

Ecuación química teórica de la combustión:



No siempre se genera una buena mezcla por exceso o falta de oxígeno, por lo que en el proceso de combustión real se producen otros gases contaminantes.

- Monóxido de Carbono (CO)
- Hidrocarburos (HC)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- Dióxido de Azufre (SO_2)
- Carbonilla

La relación de aire y combustible para una mezcla estequiométrica no siempre será proporcional entre el volumen del aire y la masa del aire, depende de la presión atmosférica, la temperatura, hace referencia a que si la temperatura es alta entonces la densidad del aire bajará, también, si aumenta la humedad entonces la masa del aire disminuirá, lo que provoca que cambie según las condiciones del tiempo.

4.8 Mezcla rica

Una mezcla rica se produce cuando la relación de aire y combustible es inferior a la mezcla estequiométrica que hace referencia a 14.7 partes de aire a 1 parte de gasolina, o de

un valor de lambda igual a 1, las condiciones de esta mezcla se da cuando la cantidad de combustible que se suministra es mucho mayor a la cantidad de mezcla ideal con relación del aire que ingresa en el proceso de admisión, esto provoca que la emisión de hidrocarburos (HC) sea mucho mayor por el exceso de combustible, también provoca una combustión incompleta en el interior del cilindro y un aumento de consumo de combustible.

Esta condición ofrece ventajas al motor, como tener mayor potencia debido a la gran cantidad de energía que se produce por el aumento de ingreso de combustible para combustionar, es útil en situaciones de alta carga del motor o aceleraciones.

4.9 Mezcla pobre

Se produce cuando existe un exceso de aire que ingresa en la admisión con una cantidad de combustible teórica requerida para realizar la combustión ideal o inclusive muy inferior, la relación de aire y combustible es superior a la relación estequiométrica de 14.7 partes de aire a 1 de gasolina.

En esta condición el motor tiene un menor consumo de combustible, otra ventaja es la reducción de óxidos nitrosos (NOx) y partículas contaminantes, el motor pierde potencia cuando se dan aceleraciones o condiciones de alta carga debido a la menor cantidad de combustible que ingresa, no se produce una gran cantidad de energía en la combustión y se pueden producirse autoencendidos a altas temperaturas o presión.

4.10 Gases producidos en la combustión

La combustión generada en el interior de los cilindros del motor trae consigo la generación de gases que salen por el múltiple de escape al ambiente, estos gases permiten conocer cómo se está comportando el motor y el impacto ambiental que generan.

4.10.1 Principales gases de escape

Hace referencia al Dióxido de carbono (CO₂), que es la principal causa del calentamiento global y efecto invernadero, producto de la reacción del carbono con el oxígeno. También se genera vapor de agua (H₂O), cuando el hidrogeno que hay en el combustible reacciona con el oxígeno, su variación se da conforme la eficiencia de la combustión.

4.10.2 Gases contaminantes

Estos gases tienen gran impacto en la salud humana y la del medio ambiente.

- Monóxido de carbono (CO): Este gas se produce por una combustión incompleta, es muy perjudicial para las personas debido a su capacidad de reducir y desplazar el oxígeno que se encuentra en la sangre.
- Hidrocarburos (HC): Estos contribuyen a la generación de smog y tienen gran impacto en la contaminación atmosférica, se produce cuando no se combustiona todo el combustible al interior del cilindro, se observa cuando existe gran cantidad de humo negro saliendo del sistema de escape de los vehículos.
- Óxidos de nitrógeno (NO_x): Se forma a altas temperaturas cuando se junta el nitrógeno y oxígeno que se encuentra en el ambiente, contribuye a la generación de lluvia ácida.

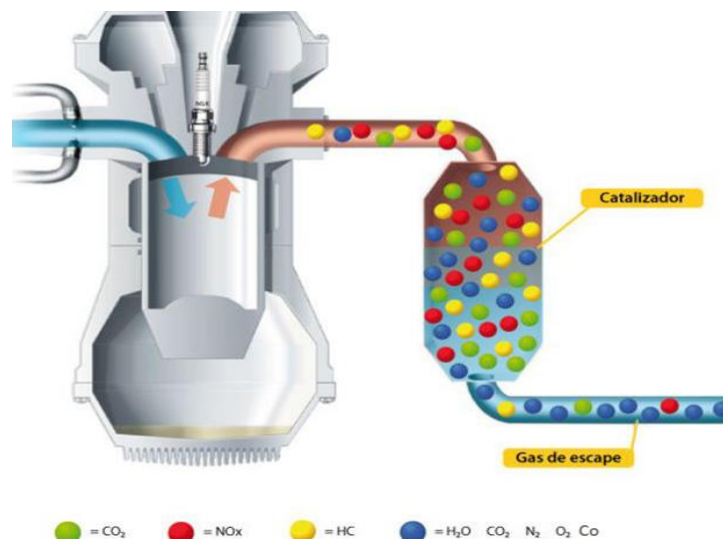
4.10.3 Gases secundarios

Estos se generan con reacciones químicas que se producen en el escape.

- Dióxido de azufre (SO₂): Tiene gran impacto en la generación de la lluvia ácida, se produce cuando se oxida el azufre que hay en el combustible durante la combustión del motor.
- Partículas sólidas: Son pequeñas partículas como el hollín y cenizas, son perjudiciales para la calidad del aire afectando el sistema respiratorio humano, son sólidos de carbono que se generan por una combustión incompleta.

Figura 12.

Gases producidos en la combustión.



Nota. Gases que se producen después de la combustión y salen por el sistema de escape del motor. Fuente: (Autofacil.es, 2020).

4.11 Hidrocarburos

Se caracterizan por ser compuestos orgánicos que contienen solo átomos de carbono e hidrogeno.

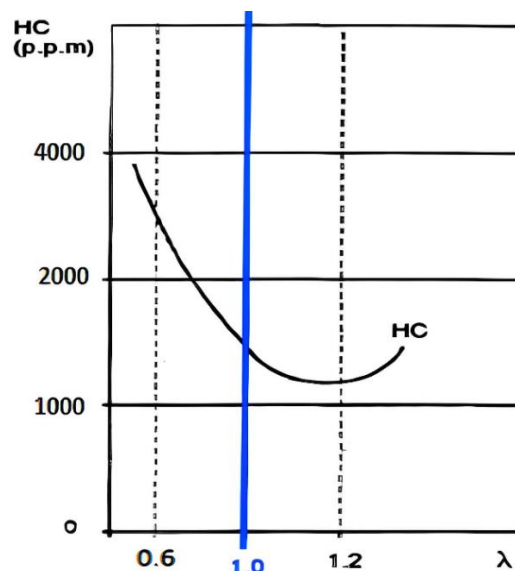
Estos compuestos son la base de los combustibles fósiles, como el petróleo, gas natural y el carbón que son usados en gran medida para propulsar automóviles, presentándose en estado líquido, sólido y gaseoso.

Se clasifican según su peso molecular que van desde los más ligeros como el metano, hasta los más pesados como el petróleo. La composición dentro de estos es imprescindible en un combustible ya que de estos va a depender principalmente el rendimiento de un motor y las emisiones contaminantes después de la combustión. La cantidad desproporcional de este elemento aumenta la producción de emisiones de óxidos nitrosos y otros contaminantes.

El problema principal por el que este compuesto se vuelve peligroso es la reactividad fotoquímica la cual produce compuestos oxidados, formados por una combustión incompleta o parcial, dan problemas al medio ambiente y es un compuesto muy nocivo para la salud, su emisión luego de ser combustionado depende directamente de la relación de la masa de aire y de combustible (AFR) con la que se alimenta.

Figura 13.

Emisión de hidrocarburos en base a lambda.



Nota. Emisión de hidrocarburos según la relación de aire y combustible conocido como factor lambda. Fuente: (Vazquez, s.f.).

4.12 Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono (CO) es crucialmente peligroso ya que es incoloro, inodoro, pero altamente tóxico y letal para la salud, se origina principalmente por la combustión incompleta de materiales orgánicos, tales como los combustibles fósiles y biomasa.

Al ser altamente tóxico causa graves problemas de salud ya que este al ingresar al cuerpo se une con la hemoglobina de la sangre, lo cual es altamente peligroso ya que inhibe el transporte de oxígeno a los órganos vitales.

Se produce cuando hay un exceso de combustible en la mezcla para combustionar o hay insuficiencia de oxígeno y no se puede oxidar de forma completa el carbono que hay en el combustible, la emisión de este gas depende de la relación aire y combustible, las condiciones con las que se encuentra funcionando el motor afectan a la emisión de este gas, si hay temperaturas bajas se puede generar CO debido a que el carbono es menos eficiente para oxidarse.

La emisión de este gas es regulada por normativas para reducir su impacto ambiental y en la salud humana, establecen los límites de emisión, la siguiente tabla demuestra la cantidad de impacto negativo en la salud.

Tabla 1.

Problemas de salud ocasionado por el monóxido de carbono (CO).

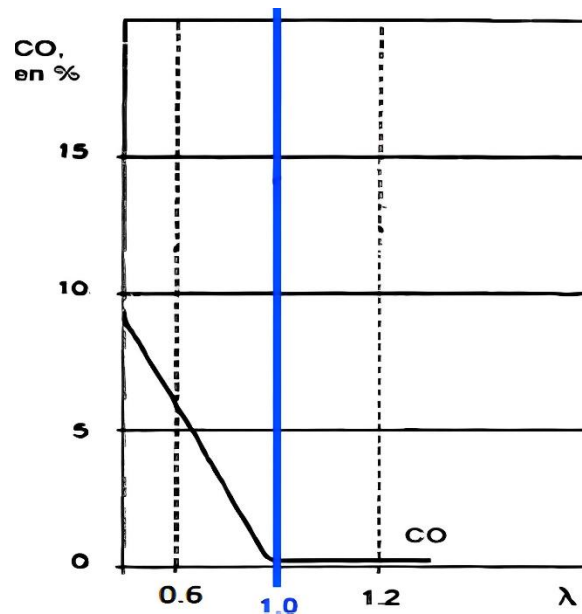
Concentración de CO	Carboxihemoglobina	Síntomas
Menos de 35 ppm.	5	Ninguno o cefalea suave.
50 ppm (0.005%)	10	Cefalea leve, vasodilatación, vértigo, alteraciones visuales.
100 ppm (0.01%)	20	Cefalea pulsátil, ángor de esfuerzo.
200 ppm (0.02%)	30	Cefalea severa, irritabilidad, fatiga, visión borrosa.
300 – 500 ppm (0.03% - 0.05%)	40 - 50	Náuseas, confusión, colapso, cefalea.
800 – 1200 ppm (0.08% - 0.12%)	60 – 70	Coma, convulsiones, fallas respiratorias y cardíacas.
1900 ppm (0.19%)	80	Muerte.

Nota. Información tomada de (Morera, 2017).

La mayor cantidad de monóxido de carbono que se produce se da cuando la mezcla es rica, por la cantidad de exceso de combustible.

Figura 14.

Emisión de monóxido de carbono (CO) en base al factor lambda.



Nota. Emisión de monóxido de carbono según la relación de aire y combustible conocido como factor lambda. Fuente: (Vazquez, s.f.).

4.13 Dióxido de Carbono

Es un gas incoloro, con la ventaja de que no es tóxico para el ser humano, es originado por procesos naturales y tan comunes como la respiración de organismos vivos y de composición de materia orgánica, pero también son producidos por la oxidación de los combustibles fósiles.

Este gas en concentraciones aceptables no representa ningún riesgo a la salud, sin embargo, en espacios cerrados y sin ventilación la presencia de este gas podría causar mareos, dolor de cabeza y dificultades en el sistema respiratorio.

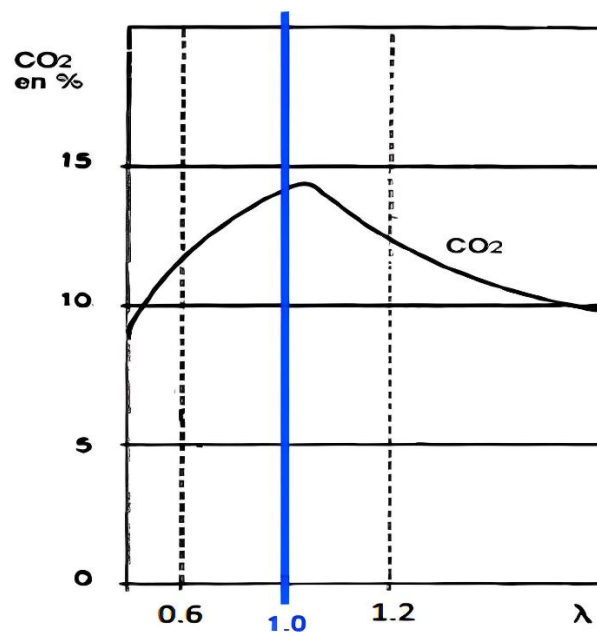
La desventaja de este gas radica en el impacto directo sobre el medio ambiente ya que es un gas de efecto invernadero, incidiendo sobre el calentamiento global y es uno de los

principales responsables del cambio climático, y este al ser disuelto en los océanos produce la acidificación de estos impactando negativamente en estos ecosistemas.

La emisión del dióxido de carbono varía según las condiciones de la mezcla aire y combustible, su mayor punto de emisión es cuando la mezcla es ligeramente pobre.

Figura 15.

Emisión de dióxido de carbono (CO₂) en base al factor lambda.



Nota. Emisión de dióxido de carbono según la relación de aire y combustible conocido como factor lambda. Fuente: (Vazquez, s.f.).

4.14 Sistema de escape

Este sistema es el encargado de expulsar los gases producidos en la combustión al exterior, también permite servir como un silenciador para la reducción del ruido que produce el motor, y como reductor de las emisiones contaminantes por parte del catalizador.

Figura 16.

Sistema de escape.



Nota. Elementos que conforman el sistema de escape de forma general. Fuente: (<http://umo.com.co/>, 2017)

Conformado por distintos elementos que tienen una función específica dentro del sistema, estos son:

4.14.1 Colector

Conductos implementados para cada cilindro del motor que tienen como finalidad conducir los gases producidos en la combustión hacia los diferentes elementos del sistema de escape, estos gases pueden alcanzar temperaturas de 400 a 800 °C, el material del colector comúnmente es de acero inoxidable.

Figura 17.

Colector de escape.



Nota. Colector de del sistema de escape fabricados en acero inoxidable. Fuente: (autorepuestospampanas.wordpress.com, s.f.).

4.14.2 Conductos

Transportan los gases desde el colector de escape con el sistema restante, están a una temperatura de 400 a 800 °C, puede ser de acero aluminizado o acero inoxidable, existen diferentes conductos en diferentes partes del sistema, al inicio, intermedio, y al final.

Figura 18.

Conductos del sistema de escape.



Nota. Conductos del sistema de escape fabricados en acero inoxidable. Fuente: (talleresadomicilio.com, s.f.).

4.14.3 Convertidor catalítico

Principal elemento para reducir las emisiones contaminantes al ambiente, su funcionamiento se basa en el uso de catalizadores para lograr reacciones químicas al interior, transforma los gases en compuestos menos nocivos, cuando estos gases ingresan al convertidor comienza una reacción de oxidación, se forma dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) con el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC) con el oxígeno (O_2) al interior del convertidor, también los óxidos nitrosos son convertidos en nitrógeno (N_2). La temperatura con la que se encuentra funcionando este elemento es de 200 a 800 °C, el material del sustrato es de cerámica o metal que es recubierto con platino, rodio, entre otros.

Figura 19.

Convertidor catalítico.



Nota. Convertidor catalítico y su estructura interna conformada por paneles cerámicos.

Fuente: (www.autofacil.es, s.f.).

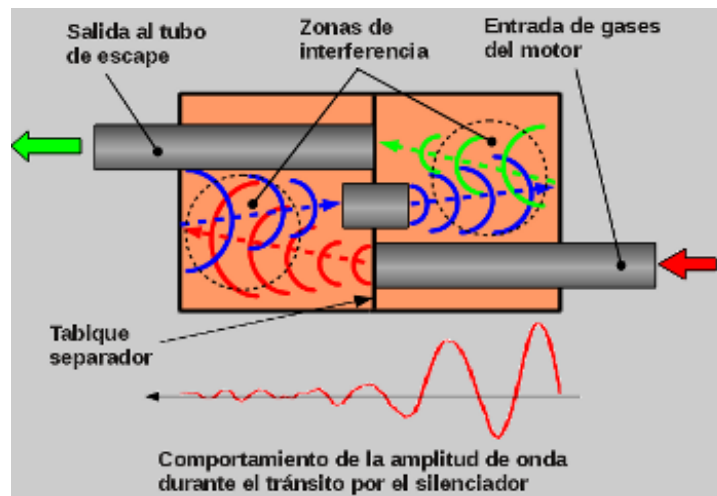
4.14.4 Silenciador

Tiene como función la reducción del ruido generado por el motor, tiene implementado internamente cámaras de paredes reflectoras que permiten el reflejo del sonido, las ondas que

se generan por el pulso de escape se dirigen a las paredes y son reflejadas por el silenciador en distintas direcciones y así se reduce la intensidad con la que se generan los ruidos, también se absorbe los sonidos por medio de fibras de vidrio.

Figura 20.

Esquema de funcionamiento del silenciador de escape.



Nota. Funcionamiento del silenciador de escape, la dispersión del sonido y la reducción de su intensidad. Fuente: (Sabelotodo.org, s.f.).

4.15 Inyección de aire en el múltiple de escape

Este sistema se implementa para reducir las emisiones contaminantes producidas en la combustión, su funcionamiento es simple, se inserta aire del ambiente al colector de escape cerca de las válvulas de escape con la finalidad que el oxígeno reaccione con los gases residuales, este sistema es objeto de investigaciones durante décadas.

Cuando se inserta aire fresco se da la oportunidad de que se realiza una post combustión, permitiendo una combustión más completa del monóxido de carbono. Además, con el oxígeno adicional se logra una oxidación de los hidrocarburos sobrantes, permite

elegir la temperatura del catalizador a su temperatura de funcionamiento en un menor tiempo, consigue que los hidrocarburos y el monóxido de carbono se emanen en baja cantidad.

Para implementar este sistema se colocan elementos que permitan un flujo controlado de aire hacia las válvulas de escape, cuando estas se abren para expulsar los gases contaminantes, el oxígeno adicional ingresa de forma sincronizada en el ciclo de escape del motor, al tener el control del flujo de aire adicional hacia el cilindro se generan reacciones químicas internas que reducen los gases contaminantes.

5. CAPITULO II: DESARROLLO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE AIRE

5.1 Implementación del sistema

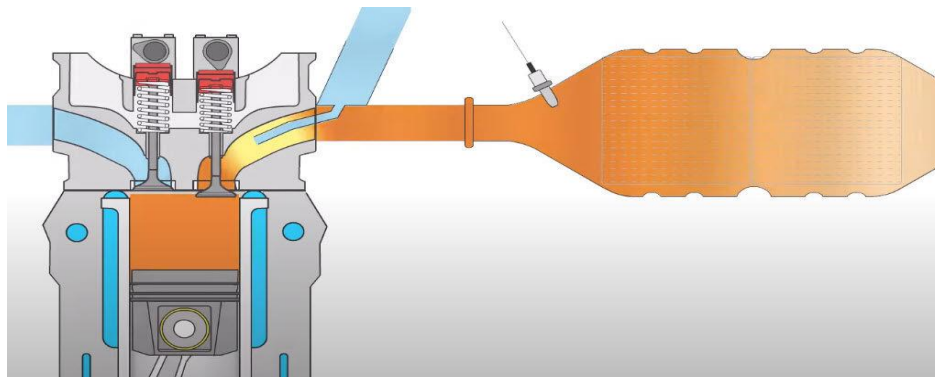
Este sistema funciona mediante acoples en el colector de escape, estos tendrán como función insertar el aire ambiente en dirección a las válvulas de escape mediante la presión de aire controlado a través de un regulador de presión, el aire pasa por unas válvulas check que sirven para controlar el flujo en una sola dirección.

Los elementos que se colocan para construir el sistema son altamente resistentes a las temperaturas altas, estos se acoplan al colector de escape mediante procesos mecanizados para su fijación, en el interior de este colector se encuentran tubos de cobre que servirán para direccionar el aire hacia las válvulas de escape.

En la fase de escape, el flujo de gases se dirige por las mangueras de alta temperatura debido a una nueva dirección de flujo provocada por la implementación de los tubos de cobre, sin embargo, estos gases son retenidos por la válvula check, cumpliendo dos funciones, retener los gases y direccionar el aire hacia el interior del colector de escape.

Figura 21.

Fase de escape, apertura de la válvula e ingreso de aire secundario.



Nota. Esquema de la implementación de un sistema de aire secundario por el múltiple de escape en la fase de escape. Fuente: (motorservice.com, s.f.).

5.2 Colector de escape

Para direccionar el flujo del aire se colocan tubos de cobre al interior del múltiple de escape y tubos de hierro en los exteriores para acoplar mangueras de alta temperatura, en este procedimiento se realiza una perforación con una dirección lineal entre los conductos de distancias iguales que comienza en el inicio de los conductos de escape salientes del motor hacia el catalizador.

La perforación se lo realiza con un diámetro de 5/8 de pulgada, las posiciones de estos agujeros se encuentran a distancias simétricas con respecto a cada conducto del colector de escape, con la finalidad de mantener un flujo idóneo para cada cilindro.

Figura 22.

Perforaciones realizadas en el colector de escape.



Nota. Perforación en los conductos del colector de escape de forma simétrica en cada salida de cilindro con una medida de 5/8. Fuente: Autores.

5.3 Codos de unión

Se inserta en la perforación realizada en el colector de escape, permite que el flujo entrante de aire se dirija hacia las válvulas de escape mediante acoples de tubo de hierro en el exterior y de cobre en el interior del colector, soporta las altas temperaturas que son provocados por los gases combustiónados, se realiza un proceso de soldadura para ajustarlo en el colector de escape, teniendo una salida en el interior de este y la otra salida en el exterior del colector.

Figura 23.

Codo de unión de 5/8 de pulgada.



Nota. Codo de unión de 5/8. Fuente: (octalacero.com, 2018).

5.4 Acoples de tubo de hierro

Se ubica en el exterior del colector de escape, se encuentra unido mediante soldadura al codo de unión, permitiendo que el flujo de aire tenga dirección hacia la válvula de escape, permite implementar un acople de manguera para ampliar las dimensiones en la longitud del sistema mediante mangueras de alta temperatura.

Figura 24.

Tubos de hierro para acople en el múltiple de escape de 9/16 de pulgada.



Nota. Tubo de hierro que es acoplado al codo de unión de 9/16. Fuente: (ferrimaxi.com, s.f.).

5.6 Acople para manguera

Necesario para realizar la conexión de la manguera de alta temperatura, se coloca en la parte superior de cada tubo de hierro acoplado en los conductos del colector de escape y en la salida de la válvula check, permite el flujo de aire por los elementos que componen el sistema, une los componentes a través de mangueras, su dimensión es de 5/16 de pulgada.

Figura 25.

Acople para manguera de 5/16 de pulgada.



Nota. Acople para las mangueras de alta temperatura con una medida de 5/16 de pulgada.

Fuente: (aliexpress.com, s.f.).

5.7 Mangueras de alta temperatura

El tubo de cobre que se encuentra en el interior de los conductos del colector de escape forma una vía alterna de salida para los gases combustionados, estos son retenidos por la válvula check, se mantiene una cierta cantidad de gases en las mangueras y en los diferentes elementos acoplados en el sistema, por lo que estas tienen la capacidad de soportar altas temperaturas y permite unir los tubos de hierro con la válvula check a través de los acoples, tienen una longitud de 25 cm y un diámetro interior de 8mm.

Figura 26.

Mangueras de alta temperatura.



Nota. Mangueras de alta temperatura que permiten unir el sistema del colector de escape con la válvula check. Fuente: Autores.

5.8 Válvulas check

Evitan que los gases producidos en la combustión salgan al exterior por la nueva vía de circulación, retiene los gases y permite que el flujo de aire circule en dirección a las válvulas de escape por los elementos que conforman el sistema la inyección de aire secundario, tiene una capacidad para soportar presiones que van desde 0.05 a 1.2 Mpa, es un componente importante para poder inyectar aire al sistema.

Figura 27.

Válvula check y acople de manguera de 1/8.



Nota. Válvula check con el acople de manguera. Fuente: Autores.

5.9 Tubo de cobre de alta temperatura

Se ubica en el interior de los conductos del colector de escape, el codo de unión se encuentra soldado a este tubo de cobre que es el encargado de direccionar el flujo de aire hacia las válvulas de escape, puede soportar altas temperaturas, los gases producidos en la

combustión que se dirigen al catalizador tienen una alta variabilidad de temperaturas, la dimensión de este tubo de cobre es de 5/8 de pulgada con una longitud de 10 mm.

Figura 28.

Tubo de cobre de 5/8 de pulgada.



Nota. Tubo de cobre que se coloca al interior de los conductos del colector de escape y direcciona el flujo de aire. Fuente: (homedepot.com.mx, s.f.)

5.10 Regulador de presión de aire

Permite regular el paso del aire que ingresa al sistema de escape, manteniendo la inyección de aire de forma controlada a través de presiones constantes, el flujo se obtiene de una toma de aire, las válvulas check permiten dar paso solo en la dirección por donde ingresa este flujo, tiene la capacidad de regular la presión de 0 a 10 bares, se acopla por mangueras.

Figura 29.

Regulador de presión de aire.



Nota. Regulador de presión con capacidad de variar la presión de 0 a 10 bares. Fuente: Autores.

5.11 Ensamble del sistema

La elaboración del sistema de inyección de aire comienza mediante la perforación del colector de escape, señalando la longitud para el punto de perforación en los cuatro conductos, posteriormente se utilizan diferentes medidas de brocas de acero al carbono para realizar los orificios ya que el colector de escape es hecho de fundición de hierro y es un material con alta dureza, las siguientes medidas son:

- Broca 1/16 de pulgada.
- Broca de 3/4 de pulgada.
- Broca de 5/8 de pulgada.

Figura 30.

Colocación de una broca de 3/4 de pulgada.



Nota. En esta figura se representa la utilización de una broca de 3/4 para la perforación del colector de escape. Fuente: Autores.

Posteriormente, se inserta el codo de unión de 5/8 de pulgada unido al tubo de cobre que tiene dirección a las válvulas de escape desde el interior de los conductos, este se coloca en la perforación de 5/8 del colector, para la inserción de este elemento se usa un tipo de solda autógena con bronce porque permite tener un menor riesgo de la deformación de los materiales, logra uniones con una alta resistencia mecánica, sólidas y duraderas.

Con la colocación del codo de unión, se ubica el tubo de hierro de 9/16 de pulgada en el cual se coloca el acople de manguera de 5/16 de pulgada, se realiza el mismo proceso de soldadura mediante solda autógena para que los elementos puedan tener altas características mecánicas y sellar las uniones de forma uniforme para evitar fugas de aire y de gases.

Figura 31.

Suelda autógena del tubo de hierro y el codo de unión.



Nota. Suelda autógena con bronce para unir el codo de unión con el tubo de hierro de 5/16 de pulgada. Fuente: Autores.

Se suelda los tubos de hierro con los acoples de mangueras, se lo coloca en los cuatro conductos del colector de escape corroborando que no exista orificios en el que se pueda ver afectado el flujo de aire.

Figura 32.

Ensamble de los elementos en el colector de escape.



Nota. Culminación de los elementos acoplados al colector de escape mediante solda autógena con bronce. Fuente: Autores.

Para el ingreso del aire al sistema, se requiere retener los gases y dar paso solo a una cantidad de aire, este va a ingresar mediante una toma de aire que será controlado por un regulador de presión, las válvulas check permitan el paso del aire en una sola dirección, se coloca con un acople de manguera de 1/8 de pulgada.

Figura 33.

Válvulas check con acoples para manguera de 1/8 de pulgada.



Nota. Unión del acople para mangueras en la válvula check. Fuente: Autores.

Con los elementos instalados y acoplados, se unen las válvulas check mediante uniones de manguera a los elementos soldados en el colector de escape con la utilización de mangueras de alta temperatura.

Figura 34.

Unión de las válvulas check al colector de escape.



Nota. Unión de las válvulas check con los elementos soldados en el colector de escape.

Fuente: Autores.

Con uniones de manguera de tipo "T" a la salida de cada válvula check, se realiza una instalación de ingreso de aire común, unidos mediante mangueras que se direccionaran al regulador de presión de aire, con esto se consigue que el flujo de circulación sea constante para todos conductos del colector de escape.

Figura 35.

Instalación del regulador de presión de aire.



Nota. Unión de las válvulas check con el regulador de presión de aire a través de acoples de tipo T y mangueras. Fuente: Autores.

5.12 Medición de gases contaminantes

Para realizar estos ensayos, se considera tomar datos antes de la implementación del sistema de inyección de aire y después de su colocación, de esta forma poder realizar un análisis comparativo, se toma datos del rpm y temperatura del motor mediante un scanner, al mismo tiempo se utiliza un analizador de gases.

La toma de datos de los gases contaminantes se lo realiza en la temperatura de funcionamiento del motor, posteriormente en 2500 rpm, según la norma NTE INEN 2203

que establece la determinación de los gases contaminantes en prueba estática mediante los siguientes procedimientos:

- Se establece un periodo de calentamiento de los equipos para la estabilización.
- Verificar que la sonda de prueba se encuentre libre de partículas contaminantes o agua que alteren los resultados de las mediciones.
- Colocar el vehículo en neutro y verificar que los accesorios del vehículo como las luces, aire acondicionado se encuentren apagados.
- Verificar que el sistema de escape se encuentre en buenas condiciones y no exista fugas de los gases por el sistema.
- El vehículo debe estar en posición horizontal y se debe revisar que el nivel de aceite este en el rango de lo establecido por el fabricante.
- Se comprueba que el motor se encuentre en temperatura de funcionamiento y se procede a medir los gases contaminantes en condiciones de ralentí y ralentí alto.

Considerando los procedimientos establecidos en la normativa ecuatoriana, se realizan distintos ensayos para un análisis comparativa de datos y comprobar si la inyección de aire reduce las emisiones con distintas presiones de aire, estos ensayos son:

- Primer ensayo: medición de gases sin la implementación del sistema de inyección de aire secundario.

Con la implementación del sistema de aire secundario al múltiple de escape.

- Segundo ensayo: medición de gases a 1 psi de presión de aire.
- Tercer ensayo: medición de gases a 3 psi de presión de aire.
- Cuarto ensayo: medición de gases a 5 psi de presión de aire.
- Quinto ensayo: medición de gases a 6 psi de presión de aire.

Figura 36.

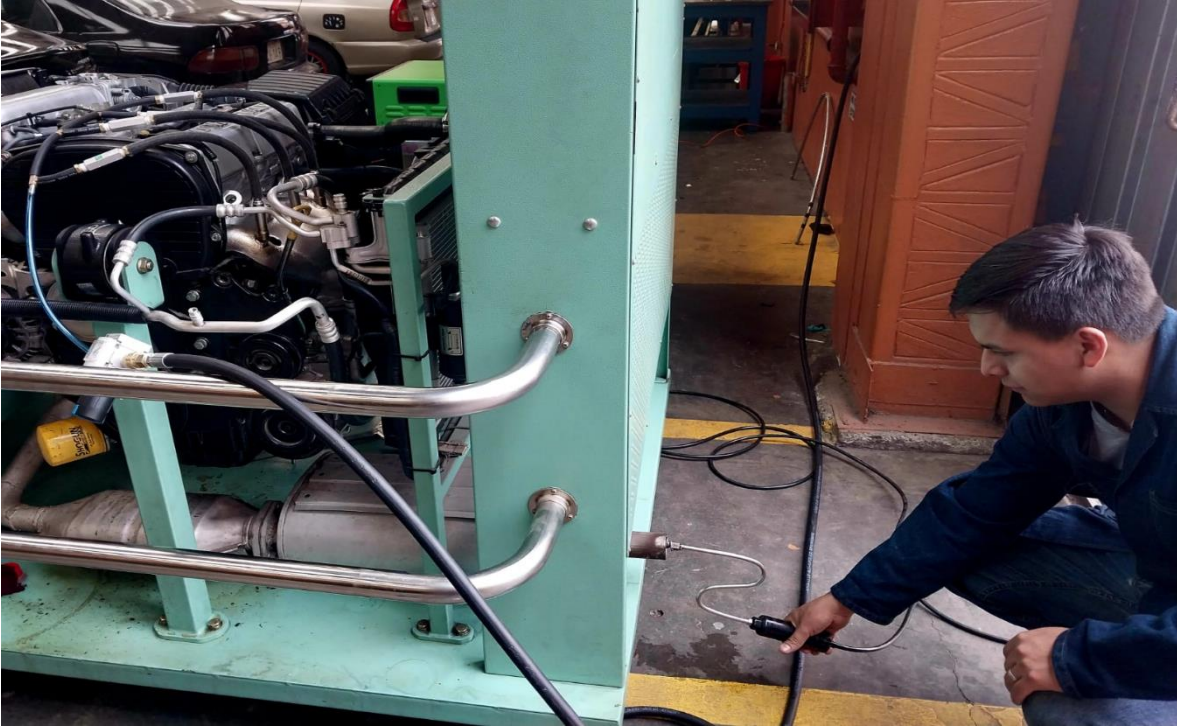
Preparación del analizador de gases.



Nota. Preparación del analizador de gases y del motor. Fuente: Autores.

Figura 37.

Colocación de la sonda de prueba.



Nota. Inicio de la medición de los gases contaminantes con la colocación de la sonda de prueba en un ensayo realizado. Fuente: Autores.

5.13 Resultados de la medición de los gases contaminantes

Tras el desarrollo de los ensayos, se obtienen los datos de los gases adquiridos en diferentes presiones de la inyección de aire al múltiple de escape, las siguientes tablas cuentan con los datos tabulados:

- Medición de gases sin la implementación del sistema:

Tabla 2.

Medición de gases en ralentí y a 2500 rpm sin el sistema de aire.

Temperatura de operación				
Ralentí (760 rpm)				
Temperatura (°C)	CO₂ %	CO %	HC (ppm)	O₂ (%)
96	14,1	0,34	404	0,61
95	14	0,29	404	0,62
95	14,1	0,27	400	0,63
95	14,1	0,24	396	0,63
94	14	0,25	414	0,61
93	14	0,25	400	0,52
93	14,2	0,23	400	0,51
92	14,2	0,23	404	0,50
91	13,4	0,21	403	0,59
93	14,4	0,31	405	0,37
2500 rpm				
Temperatura (°C)	CO₂ %	CO %	HC (ppm)	O₂ (%)
96	14,3	0,16	115	0,55
93	14,3	0,19	130	0,46
98	14,2	0,44	162	0,14
93	14,4	0,19	127	0,47
95	14,3	0,14	126	0,60
97	14,3	0,12	122	0,65
93	14,3	0,16	137	0,65
98	14,2	0,17	146	0,55
94	14,3	0,15	171	0,71
97	14,1	0,17	209	0,57

Nota. Estos datos son obtenidos mediante scanner y el analizador de gases. Fuente: Autores.

- Medición de gases con la implementación del sistema a una presión de aire de 1 psi.

Tabla 3.

Medición de gases a una presión de 1 psi de aire en condiciones de ralentí.

Ralentí (760 rpm)				
Temperatura (°C)	CO2 %	CO %	HC (ppm)	O2 (%)
91	14,3	0,81	405	0,75
95	13,3	0,83	404	0,74
97	14,1	0,94	388	0,73
97	14,3	0,92	398	0,61
96	14,1	0,89	393	0,70
95	14,3	0,86	392	0,73
93	14,3	0,83	395	0,71
95	13,6	0,97	373	0,68
97	13,9	0,87	376	0,78
95	13,8	0,80	378	0,81

Nota. Estos datos son obtenidos mediante scanner y analizador de gases. Fuente: Autores.

Tabla 4.

Medición de gases a una presión de 1 psi de aire en condiciones de 2500 rpm.

2500 rpm				
Temperatura (°C)	CO2 %	CO %	HC (ppm)	O2 (%)
93	15	0,23	127	1,03
97	15,2	0,27	128	0,84
98	14,9	0,23	127	1,03
97	15	0,25	120	1,03
95	14,5	0,28	112	0,98
96	15	0,29	126	1,14
98	15	0,23	126	1,02
95	15,1	0,26	130	0,97
93	15	0,28	148	0,99
97	14,6	0,32	177	1

Nota. Estos datos son obtenidos mediante scanner y analizador de gases. Fuente: Autores.

- Medición de gases con la implementación del sistema a una presión de aire de 3 psi.

Tabla 5.

Medición de gases a una presión de 3 psi de aire en condiciones de ralentí.

Ralentí (760 rpm)				
Temperatura (°C)	CO2 %	CO %	HC (ppm)	O2 (%)
97	12,7	0,47	300	3,37
92	12,8	0,44	310	3,5
92	11,9	0,37	276	3,47
94	12,2	0,43	296	3,35
95	12,8	0,45	308	3,32
96	12,6	0,47	304	3,24
97	12,9	0,54	307	3,1
97	12,1	0,44	299	3,29
92	12,3	0,45	309	3,28
95	12,1	0,43	291	3,51

Nota. Estos datos son obtenidos mediante scanner y analizador de gases. Fuente: Autores.

Tabla 6.

Medición de gases a una presión de 3 psi de aire en condiciones de 2500 rpm.

2500 rpm				
Temperatura (°C)	CO2 %	CO %	HC (ppm)	O2 (%)
97	13,4	0,18	182	1,95
95	14,5	0,16	127	1,97
92	14,5	0,15	117	1,92
95	13,3	0,15	102	1,84
97	13,4	0,13	96	1,94
95	14,4	0,14	98	2
92	14,6	0,14	99	1,78
94	14,5	0,2	99	1,66
97	14	0,3	92	1,21
97	14,4	0,29	102	1,23

Nota. Estos datos son obtenidos mediante scanner y analizador de gases. Fuente: Autores.

- Medición de gases con la implementación del sistema a una presión de aire de 5 psi.

Tabla 7.

Medición de gases a una presión de 5 psi de aire en condiciones de ralentí.

Ralentí (760 rpm)				
Temperatura (°C)	CO2 %	CO %	HC (ppm)	O2 (%)
96	11,4	0,1	166	5,66
97	11,5	0,1	163	5,94
96	11,4	0,08	170	5,92
92	11,2	0,06	150	5,64
92	11,2	0,05	140	5,77
94	11,1	0,04	135	5,65
95	10,8	0,04	126	5,61
97	10,9	0,04	26	5,46
98	11,3	0,03	130	5,78
96	11,4	0,03	135	5,74

Nota. Estos datos son obtenidos mediante scanner y analizador de gases. Fuente: Autores.

Tabla 8.

Medición de gases a una presión de 5 psi de aire en condiciones de 2500 rpm.

2500 rpm				
Temperatura (°C)	CO2 %	CO %	HC (ppm)	O2 (%)
95	14,1	0,04	70	2,37
97	13,2	0,19	54	2,8
92	12,6	0,42	62	2,68
95	12,4	0,39	65	2,82
95	13,4	0,39	69	2,76
97	13,6	0,11	66	2,54
95	13,4	0,11	51	2,24
96	14,4	0,13	54	1,93
98	14,5	0,13	52	1,21
95	14,8	0,86	52	0,49

Nota. Estos datos son obtenidos mediante scanner y analizador de gases. Fuente: Autores.

- Medición de gases con la implementación del sistema a una presión de aire de 6 psi.

Tabla 9.

Medición de gases a una presión de 6 psi de aire en condiciones de ralentí.

Ralentí (760 rpm)				
Temperatura (°C)	CO₂ %	CO %	HC (ppm)	O₂ (%)
94	7,4	0,03	70	10,88
95	6,4	0,02	64	11,18
96	6,6	0,02	70	11,18
97	6,5	0,02	51	11,28
97	6,3	0,02	82	11,28
94	7,1	0,02	88	11,12
94	6,6	0,02	76	11,2
95	6,8	0,02	80	10,92
96	6,9	0,02	82	10,74
97	7	0,03	69	10,78

Nota. Estos datos son obtenidos mediante scanner y analizador de gases. Fuente: Autores.

Tabla 10.

Medición de gases a una presión de 6 psi de aire a 2500 rpm.

Aproximación a 2500 rpm				
Temperatura (°C)	CO₂ %	CO %	HC (ppm)	O₂ (%)
94	11,1	0,24	67	5,62
96	10,7	0,34	46	5,52
95	10,8	0,28	40	5,47
94	11,5	0,22	44	5,32
96	11,5	0,1	29	5,12
97	11,9	0,08	29	4,94
95	11,6	0,06	24	5,04
94	12,2	0,05	24	5,6
97	12,3	0,04	22	4,67
95	11,6	0,03	18	4,72

Nota. Estos datos son obtenidos mediante scanner y analizador de gases. Fuente: Autores.

6. CAPITULO III: ANÁLISIS DE DATOS

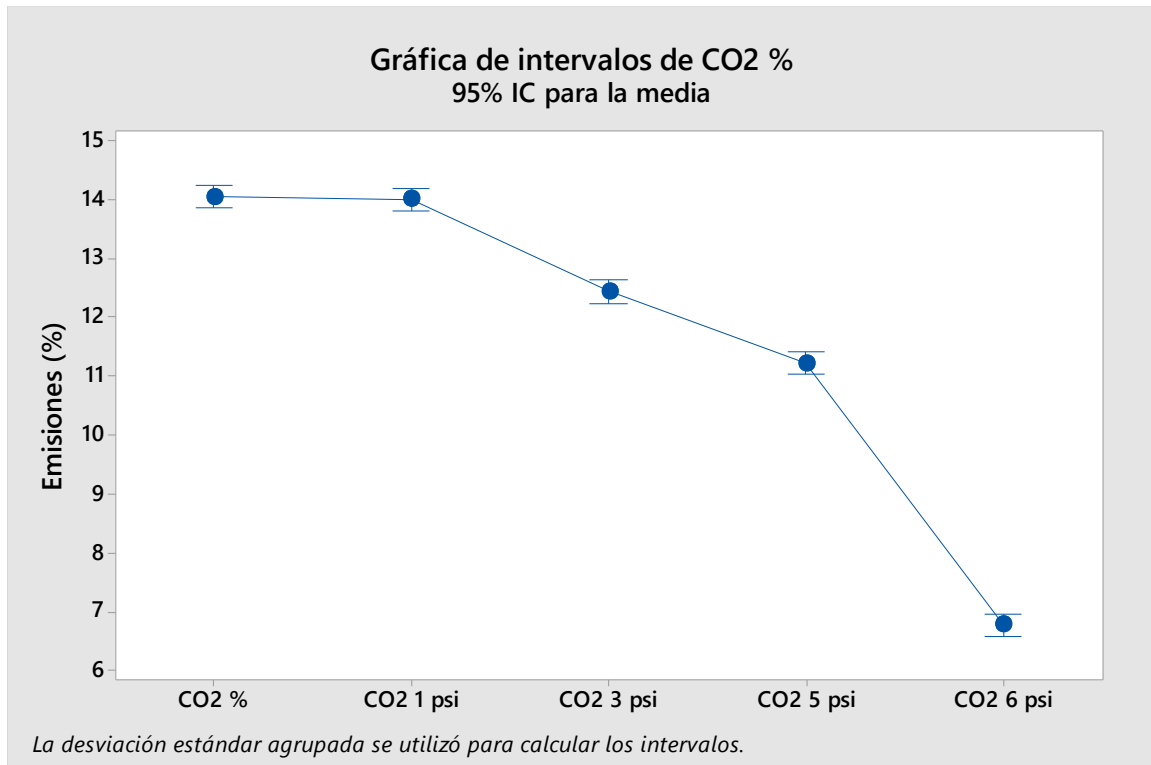
6.1 Comparación de emisiones en ralentí

Los datos obtenidos por el analizador de gases son tabulados e introducidos al programa de Minitab, se obtienen gráficas de análisis estadístico para realizar comparaciones con las diferentes presiones de aire introducidas al sistema de escape.

6.1.1 Análisis de CO₂

Figura 38.

Gráfica de intervalos en las emisiones de CO₂.



Nota. Intervalos de las emisiones de CO₂ sin y con el sistema de inyección de aire a diferentes presiones. Fuente: Autores.

Una lectura válida se obtiene cuando la cantidad de CO₂ más la cantidad de CO es superior al 11%, la inyección de aire a 6 psi tiene datos muy ineficientes por lo que se descarta cualquier comparación con respecto a las otras condiciones.

CO₂ % representa la condición en el cual no existe el sistema de inyección de aire, siendo este con la presión de aire de 1 psi los que mayor generan, mientras que con una presión de 5 psi es la más inferior y también es superior al 11%.

Figura 39.

Valores estadísticos obtenidos en Minitab para CO₂.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,312303	98,80%	98,69%	98,51%

Medias				
Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
CO ₂ %	10	14,0500	0,2593	(13,8511; 14,2489)
CO ₂ 1 psi	10	14,000	0,346	(13,801; 14,199)
CO ₂ 3 psi	10	12,440	0,360	(12,241; 12,639)
CO ₂ 5 psi	10	11,2200	0,2300	(11,0211; 11,4189)
CO ₂ 6psi	10	6,760	0,344	(6,561; 6,959)

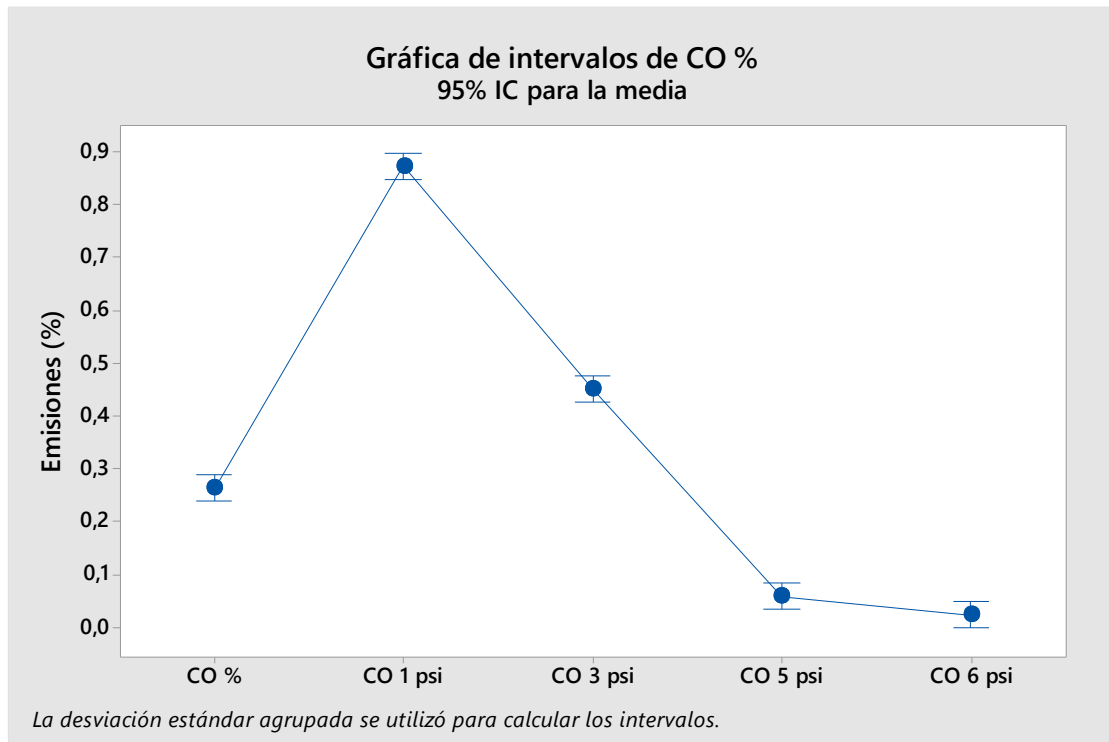
Nota. Valores estadísticos obtenidos mediante Minitab que sirven para realizar un análisis por las medias en las diferentes condiciones. Fuente: Autores.

Los valores de R-cuadrado permiten conocer como los valores se ajustan al programa, y su proyección de ajuste a una línea de regresión ajustada. Además, con un 95% de intervalo de confianza (IC de 95%) se obtienen las medias en cada condición de análisis, los intervalos representan los valores de los gases, siendo la condición de la presión de aire a 5 psi la que menor emisión promedio emite, con un valor de 11,22 %.

6.1.2 Análisis de CO

Figura 40.

Gráfica de intervalos en las emisiones de CO.



Nota. Rango de intervalos de las emisiones de CO sin y con el sistema de inyección de aire a diferentes presiones. Fuente: Autores.

La menor cantidad de CO se obtiene a una presión de aire de 6 psi, sin embargo, esta condición no se puede considerar debido a que el CO₂ más el CO no superan el 11%, siendo la presión de aire a 5 psi la que menores cantidades de CO emite.

Figura 41.

Valores estadísticos obtenidos en Minitab para CO.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0386954	98,62%	98,50%	98,30%

Medias				
Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
CO %	10	0,2620	0,0405	(0,2374; 0,2866)
CO 1 psi	10	0,8720	0,0573	(0,8474; 0,8966)
CO 3 psi	10	0,4490	0,0425	(0,4244; 0,4736)
CO 5 psi	10	0,05700	0,02710	(0,03235; 0,08165)
CO 6 psi	10	0,02200	0,00422	(-0,00265; 0,04665)

Nota. Valores estadísticos obtenidos mediante Minitab que sirven para realizar un análisis por las medias en las diferentes condiciones. Fuente: Autores.

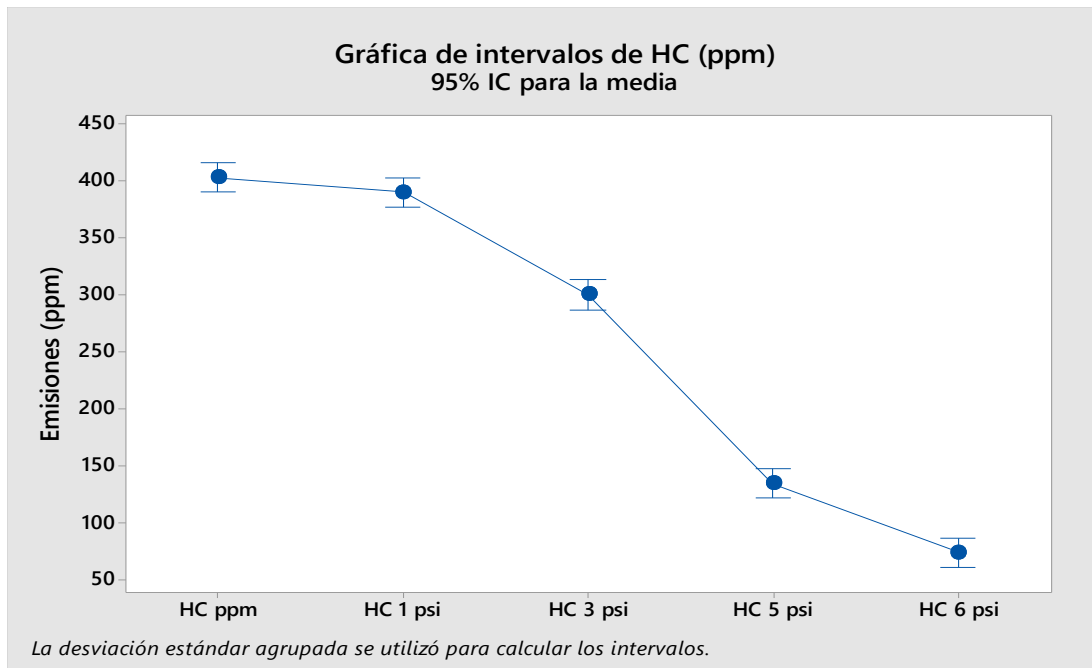
Contando con alto R-cuadrado y el IC de 95% se obtienen las medias de CO para cada condición, corroborando que la presión de aire a 5 psi genera menos emisiones de CO en promedio con un valor de 0,057%.

6.1.3 Análisis de HC.

Los intervalos de menor emisión se obtienen a una presión de aire 5 psi, siendo esta condición la que menor cantidad de emisiones contaminantes ha generado y se puede representar como una lectura válida. Además, se encuentran por debajo de las emisiones permitidas por la normativa ecuatoriana NTE INEN 2204, que expone que en las condiciones de ralentí las emisiones deben ser inferiores a 200 ppm de HC.

Figura 42.

Gráfica de intervalos en las emisiones de HC.



Nota. Rango de intervalos de las emisiones de HC sin y con el sistema de inyección de aire a diferentes presiones. Fuente: Autores.

La media de emisión de HC a una presión de 5 psi es de 134,1.

Figura 43.

Valores estadísticos obtenidos en Minitab para HC.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
20,3230	97,97%	97,79%	97,50%

Medias				
Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
HC ppm	10	403,00	4,76	(390,06; 415,94)
HC 1 psi	10	390,20	11,33	(377,26; 403,14)
HC 3 psi	10	300,00	10,46	(287,06; 312,94)
HC 5 psi	10	134,1	41,1	(121,2; 147,0)
HC 6 psi	10	73,20	10,77	(60,26; 86,14)

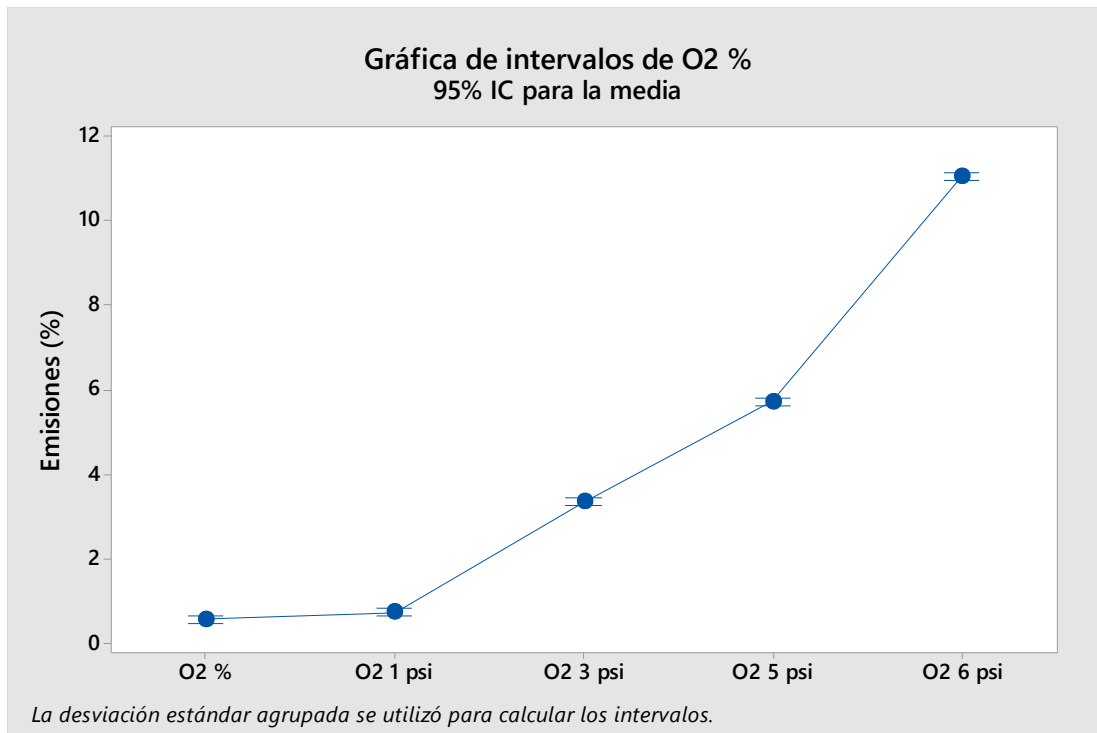
Nota. Valores estadísticos obtenidos mediante Minitab. Fuente: Autores.

6.1.4 Análisis de la emisión de O₂.

La emisión del O₂ no es letal ni contaminante, su medición se lo realiza porque en los análisis que se hacen en la Revisión Técnica Vehicular se considera un porcentaje máximo de O₂, siendo este valor de 4%, las condiciones de presión de aire de 5 psi y 6 psi son descartables, encontrándose el rango una presión de aire a 3 psi.

Figura 44.

Gráfica de intervalos en las emisiones de O₂.



Nota. Rango de intervalos de las emisiones de O₂ sin y con el sistema de inyección de aire a diferentes presiones. Fuente: Autores.

La media en emisión de O₂ a una presión de aire de 5 psi es de 5,71%, siendo este un valor muy superior al 4% permitido, mientras que existe un promedio de 3,34% a 3 psi.

Figura 45.

Valores estadísticos obtenidos en Minitab para O2.

	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
	0,133964	99,89%	99,88%	99,87%

Medias				
Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
O2 %	10	0,5590	0,0837	(0,4737; 0,6443)
O2 1 psi	10	0,7240	0,0550	(0,6387; 0,8093)
O2 3 psi	10	3,3430	0,1275	(3,2577; 3,4283)
O2 5 psi	10	5,7170	0,1451	(5,6317; 5,8023)
O2 6 psi	10	11,0560	0,2059	(10,9707; 11,1413)

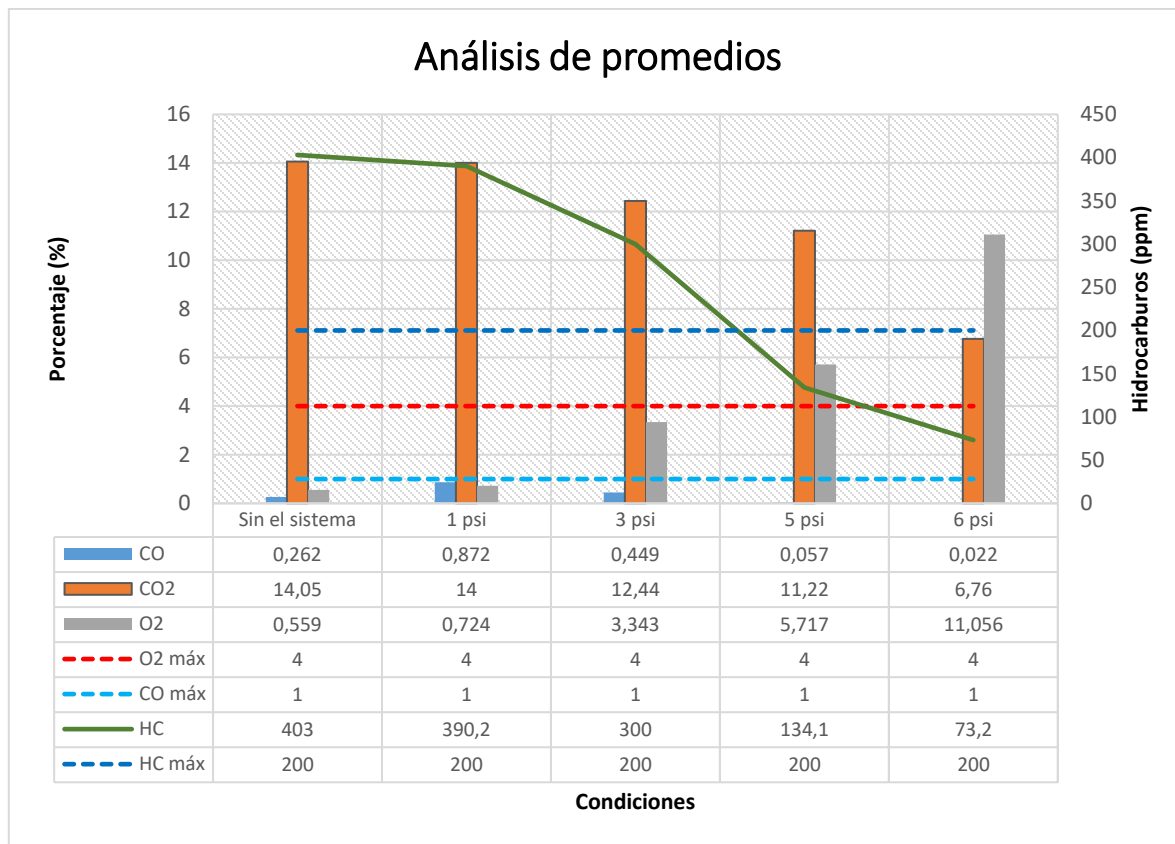
Nota. Valores estadísticos obtenidos mediante Minitab para realizar comparaciones. Fuente: Autores.

6.1.5 Análisis de las emisiones general en ralentí

Los datos de los valores promedios de emisiones contaminantes obtenidos en Minitab se tabulan en Excel para representar una figura comparativa, se considera el valor máximo para la cantidad de O2, descartando las condiciones de presión de aire de 5 psi y 6 psi, siendo la condición de 3 psi la que menores emisiones genera y supera el 11 % de CO2 más CO para considerar una lectura válida.

Figura 46.

Análisis de las medias de las emisiones con las diferentes condiciones de ensayo.



Nota. En esta figura se representa los valores promedios en porcentaje y ppm para HC con el valor máximo de O2 para su análisis. Fuente: Autores.

Con respecto a las emisiones de CO, las tres condiciones se encuentran inferior al 1% permitido por la normativa ecuatoriana, cuando no se aplica el sistema de inyección de aire se tiene una emisión inferior en comparación a la presión de aire de 1 psi y 3 psi, mientras que para CO2 y HC, se tienen emisiones inferiores con 3 psi de presión.

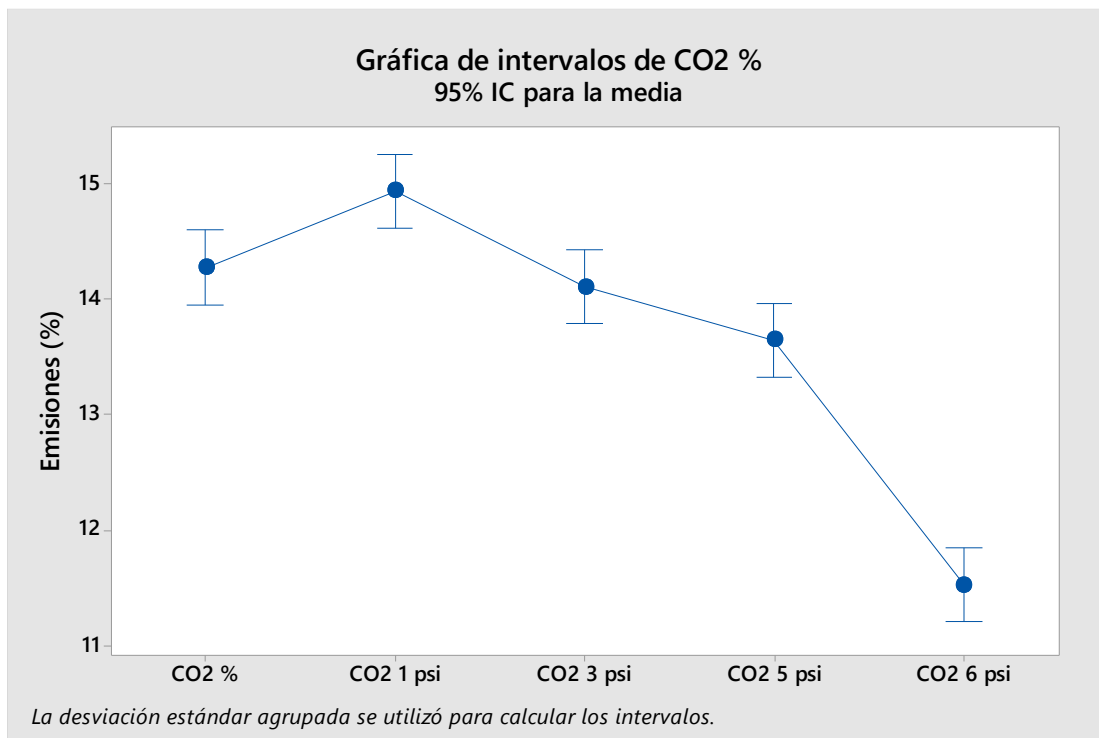
6.2 Comparación de emisiones a 2500 rpm.

6.2.1 Análisis de CO2

La inyección de aire con una presión de aire a 6 psi ya proporciona valores aceptables, por lo que esta condición se puede utilizar para realizar una comparación ya que el CO2 más CO supera el 11 %.

Figura 47.

Gráfica de intervalos en las emisiones de CO2 a 2500 rpm.



Nota. Intervalos de las emisiones de CO2 a 2500 rpm sin y con el sistema de inyección de aire a diferentes presiones de aire. Fuente: Autores.

Se obtiene un menor rango de emisiones a una presión de aire a 6 psi, existe una mayor cantidad de emisiones en condición de 1 psi, mediante Minitab con el intervalo de

confianza de 95% (IC de 95%) y con R-cuadrado superior a 80 % se obtienen los valores de las medias.

Figura 48.

Valores estadísticos obtenidos en Minitab para CO2 a 2500 rpm.

	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
	0,503808	85,53%	84,25%	82,14%

Medias				
Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
CO2 %	10	14,2700	0,0823	(13,9491; 14,5909)
CO2 1 psi	10	14,9300	0,2163	(14,6091; 15,2509)
CO2 3 psi	10	14,100	0,531	(13,779; 14,421)
CO2 5 psi	10	13,640	0,803	(13,319; 13,961)
CO2 6 psi	10	11,520	0,537	(11,199; 11,841)

Nota. Valores estadísticos obtenidos mediante Minitab para realizar comparaciones. Fuente: Autores.

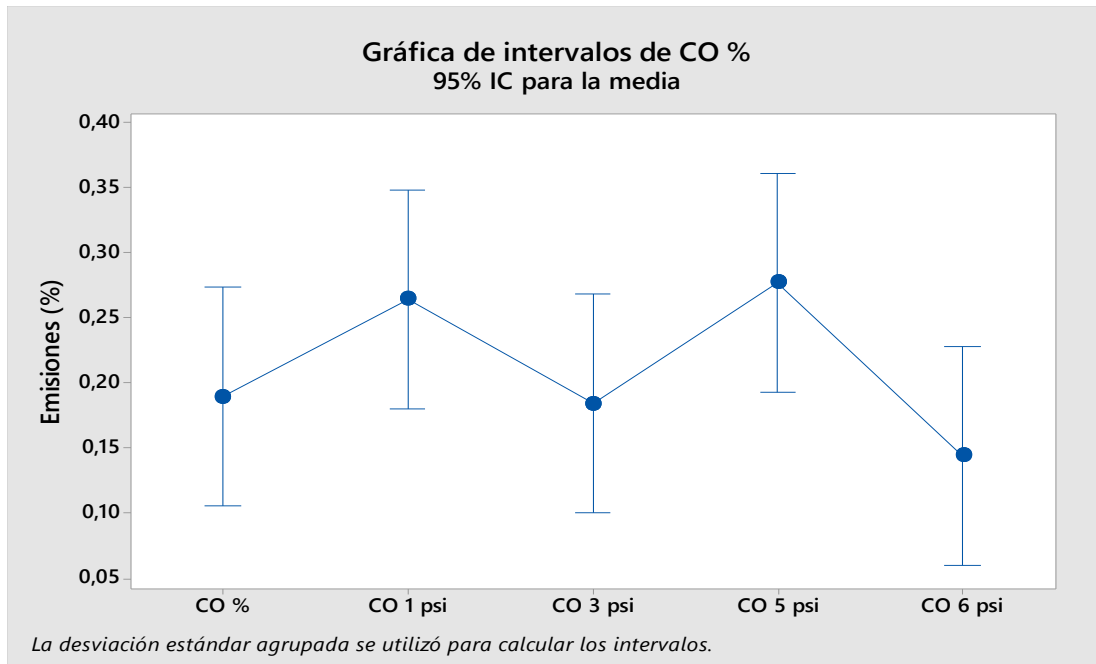
El menor valor promedio es de 11,52 % a una presión de aire 6 psi, a excepción de la condición de 1 psi, todos los valores son inferiores al valor de emisión sin el sistema de aire.

6.2.2 Análisis de CO

El rango de las emisiones en comparación a la medición sin la aplicación del sistema de inyección de aire no difiere en cantidad con la condición de 3 psi, sus valores son similares, mientras que cuando se inyecta aire a 1 psi y 5 psi de presión, la cantidad de CO es superior a la condición normal, se tiene el valor mínimo de CO a 6 psi.

Figura 49.

Gráfica de intervalos en las emisiones de CO a 2500 rpm.



Nota. Intervalos de las emisiones de CO a 2500 rpm sin y con el sistema de inyección de aire a diferentes presiones. Fuente: Autores.

En las emisiones promedios se comprueba que la mayor diferencia se da cuando el CO incrementa a 3 psi y 5 psi, mientras que hay una variación inferior a 6 psi en comparación al CO resultante sin la aplicación del sistema de inyección de aire.

Figura 50.

Valores estadísticos obtenidos en Minitab para CO a 2500 rpm.

Resumen del modelo				
	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
	0,131911	14,11%	6,48%	0,00%
Medias				
Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
CO %	10	0,1890	0,0907	(0,1050; 0,2730)
CO 1 psi	10	0,26400	0,02989	(0,17998; 0,34802)
CO 3 psi	10	0,1840	0,0620	(0,1000; 0,2680)
CO 5 psi	10	0,2770	0,2469	(0,1930; 0,3610)
CO 6 psi	10	0,1440	0,1143	(0,0600; 0,2280)

Nota. Valores estadísticos obtenidos con CO mediante Minitab para realizar comparaciones.

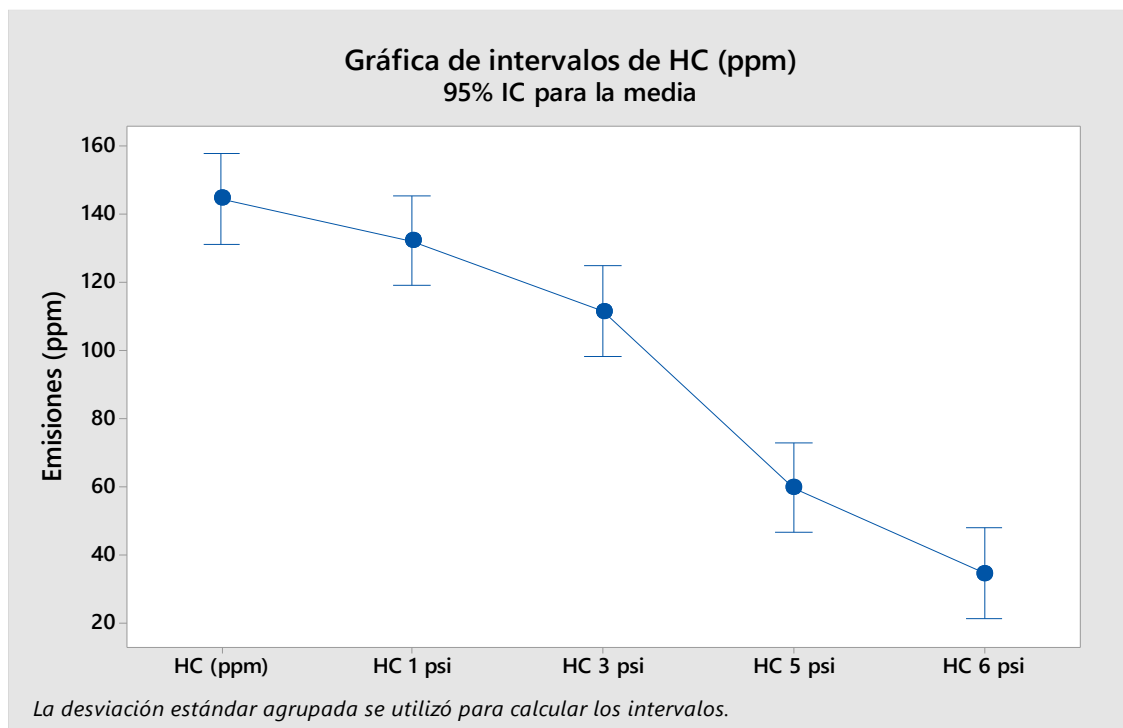
Fuente: Autores.

6.2.3 Análisis de HC

Existe una gran reducción de hidrocarburos a una presión de aire de 5 psi y 6 psi, se mantiene como valor máximo cuando no se aplica el sistema de inyección secundario.

Figura 51.

Gráfica de intervalos en las emisiones de HC a 2500 rpm.



Nota. Intervalos las emisiones de HC a 2500 rpm sin y con el sistema de inyección de aire a diferentes presiones. Fuente: Autores.

Se tiene una gran diferencia con el promedio de las emisiones registradas, todas las mediciones se encuentran a valores inferiores permitidos por la normativa ecuatoriana, incluyendo el CO.

Figura 52.

Valores estadísticos obtenidos en Minitab para HC a 2500 rpm.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
20,8211	82,24%	80,66%	78,07%

Medias				
Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
HC (ppm)	10	144,50	28,80	(131,24; 157,76)
HC 1 psi	10	132,10	18,16	(118,84; 145,36)
HC 3 psi	10	111,40	26,95	(98,14; 124,66)
HC 5 psi	10	59,50	7,63	(46,24; 72,76)
HC 6 psi	10	34,30	14,97	(21,04; 47,56)

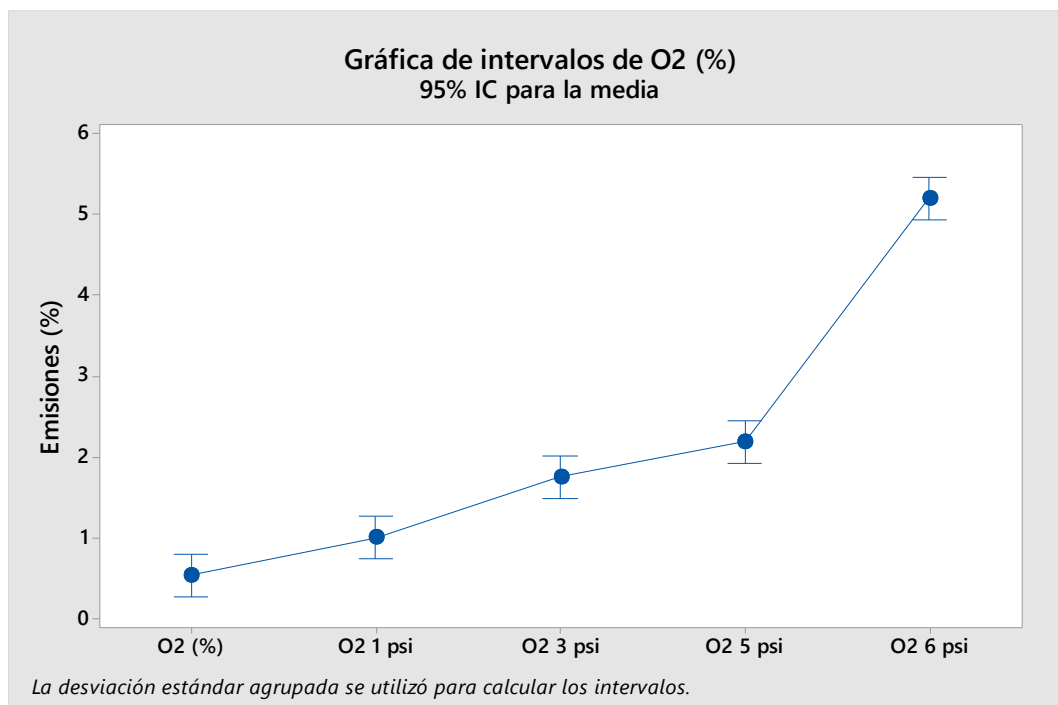
Nota. Valores estadísticos obtenidos de HC mediante Minitab para realizar comparaciones.

Fuente: Autores.

6.2.4 Análisis de O₂

Figura 53.

Gráfica de intervalos en las emisiones de O₂ a 2500 rpm.



Nota. Intervalos de las emisiones de O2 sin y con el sistema de inyección de aire a diferentes presiones. Fuente: Autores.

En todas las condiciones de prueba a excepción de la presión de aire a 6 psi se encuentran inferiores al 4% permitido de O2, el promedio de los demás se encuentran por debajo de este valor, por lo que sus valores de emisiones se los puede considerar para realizar un análisis.

Figura 54.

Valores estadísticos obtenidos en Minitab para O2 a 2500 rpm.

	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
	0,411487	94,62%	94,14%	93,36%
Medias				
Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
O2 (%)	10	0,5350	0,1595	(0,2729; 0,7971)
O2 1 psi	10	1,0030	0,0742	(0,7409; 1,2651)
O2 3 psi	10	1,7500	0,2972	(1,4879; 2,0121)
O2 5 psi	10	2,184	0,775	(1,922; 2,446)
O2 6 psi	10	5,202	0,355	(4,940; 5,464)

Nota. Valores estadísticos obtenidos de O2 mediante Minitab para realizar comparaciones.

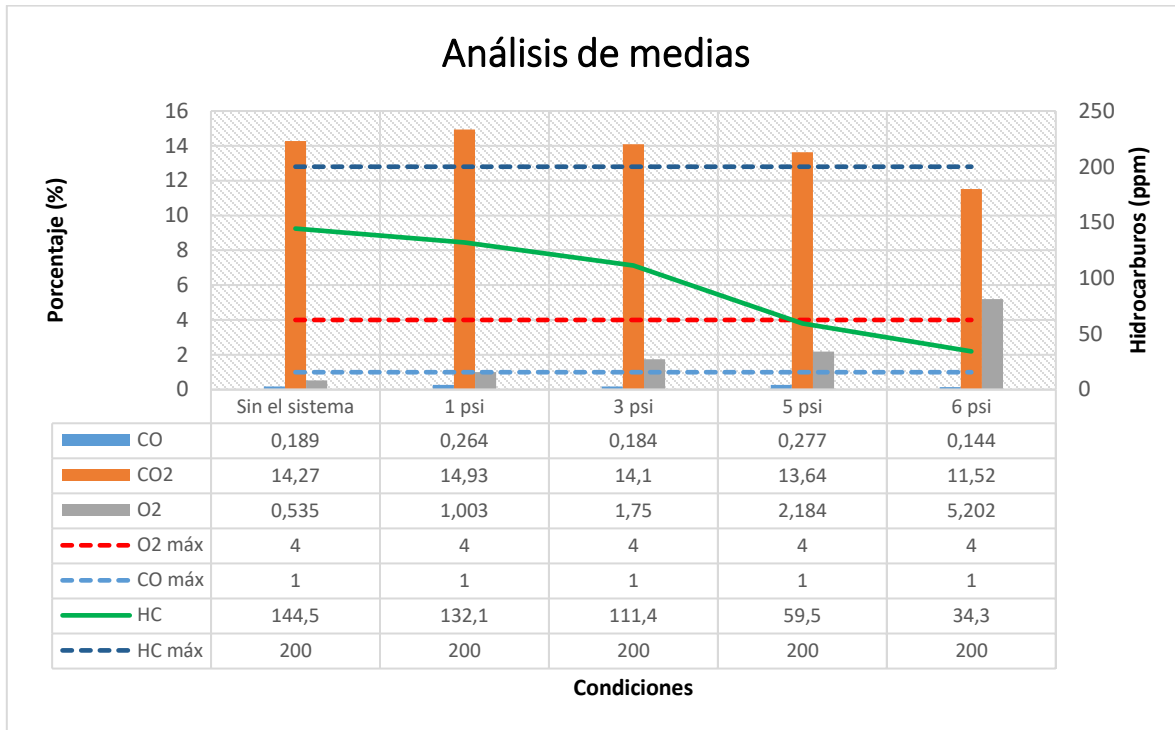
Fuente: Autores.

6.2.5 Análisis de las emisiones general a 2500 rpm

La condición de presión de aire a 6 psi es descartable, supera el 4 % de O2 permitido, a 5 psi se tiene la menor emisión de hidrocarburos (HC), la emisión promedio de CO es similar al medido antes de aplicar el sistema de inyección secundario, los HC se proyectan a emitir una menor cantidad cuando se inyecta aire al sistema de escape, se encuentran por debajo de lo permitido en la normativa ecuatoriana.

Figura 55.

Análisis de las medias de las emisiones con las diferentes condiciones de ensayo a 2500 rpm.



Nota. En esta figura se representa los valores promedios en porcentaje y ppm para HC con el valor máximo de O2 para su análisis. Fuente: Autores.

7. CONCLUSIONES

La inyección de aire secundario permite oxidar los gases que no fueron combustionados, cuando ingresa aire fresco al sistema de escape se realiza una combustión más completa de cualquier combustible remanente sobrante, este sistema también permite elevar la temperatura del catalizador en un menor tiempo a su condición de funcionamiento ideal, consiguiendo reducir la cantidad de hidrocarburos, monóxido de carbono y dióxido de carbono cumpliendo con la normativa nacional vigente.

Con los procedimientos establecidos por la normativa ecuatoriana NTE INEN 2203, se realizó la medición de los gases contaminantes aplicando presiones de aire de 1, 3, 5 y 6 psi al sistema de escape, se tomaron 10 mediciones por cada condición con la finalidad de obtener datos que permitan hacer un análisis sobre la presión más eficiente que se encuentre en los parámetros que emite la normativa NTE INEN 2204 en cuanto a emisiones contaminantes.

En la etapa de ralentí, al inyectar aire a una presión de 3 psi, se reduce en 100 ppm los hidrocarburos no combustionados, el CO aumenta un 0.18%, el CO₂ se reduce en un 1.61% y el oxígeno se eleva en un 2.78%, no superando el 4% permitido, mientras que, a 2500 rpm, el sistema es eficiente con una presión de inyección de 5 psi, se disminuye los hidrocarburos a 59.5 ppm, para mantener el rango de emisiones permitido en la Revisión Técnica Vehicular, considerando no superar el 4% de O₂, manteniendo una buena lectura de datos donde CO₂ más CO debe ser superior a 11% y tener una presión de aire constante, la condición de inyección a 3 psi es funcional.

8. REFERENCIAS

(s.f.). Obtenido de mundodelmotor.net: <https://www.mundodelmotor.net/sistema-de-escape/>

(s.f.). Obtenido de ferrimaxi.com: <https://www.ferrimaxi.com/product/tubo-galvanizado-1-1-2x6m-iso-2/>

(23 de Junio de 2020). Obtenido de Autofacil.es: <https://www.autofacil.es/tecnica/componentes-forman-sistema-anticontaminacion/176453.html>

(Septiembre de 2020). Obtenido de Ingenieriy mecanicaautomotriz.com: <https://www.ingenieriy mecanicaautomotriz.com/que-es-el-convertidor-catalitico-catalizador-y-como-funciona/>

aliexpress.com. (s.f.). Obtenido de <https://es.aliexpress.com/item/32766294131.html>

Autingo.es. (15 de Abril de 2015). Obtenido de <https://blog.atingo.es/2015/04/15/mezcladora-y-mezcla-pobre/>

Autocasion.com. (2022). Obtenido de <https://www.autocasion.com/diccionario/ciclo-otto>

autorepuestospampanas.wordpress.com. (s.f.). Obtenido de <https://autorepuestospampanas.wordpress.com/2014/06/23/el-colector-de-escape-que-es-y-peligros-de-su-deterioro-y-rotura/>

Benz, M. (s.f.). *group.mercedes-benz.com.* Obtenido de group.mercedes-benz.com

Bueno, D. A. (2017). *upcommons.upc.edu.*

- Cazorla, J. P. (2013). *Blogmecanicos.com*. Obtenido de <http://www.blogmecanicos.com/2013/10/como-funciona-motorizaciones-fiat-con.html>
- EMOV EP. (2021). */ierse.uazuay.edu.ec*. Obtenido de https://ierse.uazuay.edu.ec/proyectos/links_doc_contaminantes/Informes-Calidad-Aire/Informe_Calidad_Aire_Cuenca_2021.pdf
- EPA. (Junio de 22). *www.epa.gov*. Obtenido de <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>
- Esperon, J. L. (2015). *Historia Diseño Industrial*. Obtenido de <http://historia-disenio-industrial.blogspot.com/2015/02/ford-t.html?q=modelo+T>
- EU. (Enero de 2020). Obtenido de [climate.ec.europa.eu: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en)
- homedepot.com.mx*. (s.f.). Obtenido de <https://www.homedepot.com.mx/plomeria/tuberias-y-conexiones/hidraulica/tubo-de-cobre-tipo-m-para-agua-3-4-1m-739335>
- Kuhlgatz, K.-H. D. (2015). *link.springer.com*. Obtenido de https://doi.org/10.1007/978-3-658-03964-6_1
- Luis, J. (Febrero de 2015). *Historia del Diseño Industrial*. Obtenido de <http://historia-disenio-industrial.blogspot.com/2015/02/ford-t.html>

MAATE. (2017). *www.ambiente.gob.ec*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/el-trafico-vehicular-en-cuenca-es-la-fuente-de-emision-mas-contaminante-del-aire/>

Maps, G. (s.f.). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/?hl=es>

Morera, P. B. (2017). Obtenido de Scielo.sa.cr: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152017000100137

Motorgiga.com. (s.f.). Obtenido de <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/inyeccion-definicion-significado/gmx-niv15-con194509.htm>

motorservice.com. (s.f.). Obtenido de <https://www.motorservice.com/es/tecnipedia/post/sistema-de-aire-secundario-fundamentos/>

octalacero.com. (2018). Obtenido de <https://www.octalacero.com/codo-de-acero-al-carbon-y-inoxidable>

Sarla, G. S. (septiembre de 2019). *www.scielo.sa.cr*. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/mlcr/v37n1/2215-5287-mlcr-37-01-33.pdf>

Vazquez, F. (s.f.). Obtenido de Taringa.net: https://www.taringa.net/+autos_motos/gases-de-escape-y-sistemas-anticontaminacion-1er-parte_xbu5z

www.autofacil.es. (s.f.). Obtenido de <https://www.autofacil.es/tecnica/catalizador-o-convertidor-catalitico/194645.html>

x-engineer.org. (s.f.). Obtenido de <https://x-engineer.org/air-fuel-ratio/>