



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO**

**“ANÁLISIS DE EVOLUCIÓN DE LA NORMATIVA EMISIONES
VEHICULARES EN ECUADOR ASOCIADO AL AVANCE
TECNOLÓGICO DE SISTEMAS DE INYECCIÓN DE MOTORES DE
ENCENDIDO PROVOCADO”**



AUTOR: Diego Javier Mora Armas

DIRECTOR: Ing. Ramiro Andrés Rosero Añazco MSc.

Ibarra-Ecuador

2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004611172		
APELLIDOS Y NOMBRES:	MORA ARMAS DIEGO JAVIER		
DIRECCIÓN:	JACÍNTO COLLAHUAZO 3ERA ETAPA OTAVALO		
EMAIL:	djmoraa@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062927214	TELF. MÓVIL	0994776326
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	ANÁLISIS DE EVOLUCIÓN DE LA NORMATIVA EMISIONES VEHICULARES EN ECUADOR ASOCIADO AL AVANCE TECNOLÓGICO DE SISTEMAS DE INYECCIÓN DE MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO.		
AUTOR (ES):	MORA ARMAS DIEGO JAVIER		
FECHA:	10/02/2025		
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN			
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO		
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO AUTOMOTRIZ		
DIRECTOR:	ING. RAMIRO ANDRÉS ROSERO AÑAZCO MSc.		

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Diego Javier Mora Armas, con cédula de identidad Nro. 1004611172, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 10 días, del mes de febrero del 2025

EL AUTOR:



.....
Nombre: Diego Javier Mora Armas

CONSTANCIAS

El autor manifiesta de la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días, del mes de febrero del 2025

EL AUTOR:



.....
Nombre: Diego Mora

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 10 de febrero de 2025

Ing. Ramiro Rosero MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f) 

Ing. Ramiro Rosero MSc.

C.C.: 1718193616

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “ANÁLISIS DE EVOLUCIÓN DE LA NORMATIVA EMISIONES VEHICULARES EN ECUADOR ASOCIADO AL AVANCE TECNOLÓGICO DE SISTEMAS DE INYECCIÓN DE MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO.” elaborado por Diego Javier Mora Armas, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f): 

Ing. Ramiro Rosero MSc.

C.C.: 1718193616

(f): 

PhD. Zamir Mera

C.C.: 1003184478

DEDICATORIA

A mi padre, Roberto Mora, quien con su valentía, sabiduría y consejos ha sido un ejemplo de vida para mí. Te admiro profundamente por enseñarme con tu fortaleza y determinación a enfrentar cada desafío con integridad y esfuerzo. Gracias por forjar en mí los valores que hoy me definen y me han permitido llegar hasta este momento.

A mi madre, Lolita Armas, quien fue mi mayor motivación y refugio durante este proceso. Tus palabras llenas de paciencia y tu amor incondicional fueron la guía que me orientó cuando más lo necesitaba. Gracias por ser mi inspiración diaria, por tu fe en mí y por mostrarme siempre el camino correcto.

A mi hermana, Karen Mora, por ser mi apoyo inquebrantable. Siempre estuviste ahí, sin importar el momento, brindándome tu ayuda, cariño y aliento. Gracias por tu compañía y por ser un pilar fundamental en mi vida. Tu presencia me dio la fuerza para seguir adelante.

A mis abuelitos y a Cristian, quienes con su amor, apoyo y ánimo constante fueron una parte esencial en la culminación de este logro. Cada palabra de aliento y gesto de confianza que me brindaron estuvo siempre presente, recordándome que este esfuerzo también es suyo.

Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo a ustedes.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, quien con su infinita bondad ha sido mi guía y fortaleza cada día. Sin Su luz y apoyo incondicional, este logro no habría sido posible.

A mis padres y a mi hermana, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo diario. Gracias por ser mi motivación constante y por estar siempre a mi lado en cada paso de este camino.

Al ingeniero Fidel Villamarín, mi amigo y jefe, por su generosidad al permitirme utilizar sus equipos de taller para las pruebas necesarias para mi trabajo. Su apoyo, confianza y amistad han sido fundamentales durante este proceso, y por ello estoy profundamente agradecido.

Al ingeniero Ramiro Rosero, quien con su paciencia, guía y vasta sabiduría hizo posible que esta investigación se llevara a cabo. Su orientación fue clave para superar los retos de este proyecto y alcanzar este objetivo.

Y finalmente, a Nicole Ruiz, por su amor, comprensión y apoyo constante. Su compañía en este proceso me brindó la motivación y la alegría necesarias para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Índice de Contenidos

RESUMEN	xviii
ABSTRAC	xx
INTRODUCCIÓN	1
Problema de Investigación.....	1
Justificación	2
Objetivos.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos	3
Alcance	4
CAPÍTULO I	5
1. Marco Teórico	5
1.1 Motores de Encendido Provocado.....	5
1.1.1 Ciclo Termodinámico Otto.....	5
1.1.2 Eficiencia Térmica.....	5
1.1.3 Rendimiento	7
1.1.4 Combustión Real vs. Combustión Ideal	8
1.1.5 Ciclo de Combustión.	9
1.1.6 Combustibles en Ecuador	9
1.2 Sistemas de inyección de un motor de encendido provocado	10
1.2.1 Carburador	10
1.2.2 Inyección Monopunto.....	13
1.2.3 Inyección Multipunto	18
1.2.4 Inyección Directa.....	21
1.3 Evaluación de Emisiones Contaminantes.....	24
1.3.1 Emisiones de CO	24
1.3.2 Emisión de HC	24
1.3.3 Tipos de Mediciones.....	25

1.3.4 Gases de Efecto Invernadero.	30
1.3.5 Principio de Funcionamiento de un Analizador de Gases.....	31
1.3.6 Lambda	33
1.4 Normativas de emisiones vehiculares.	33
1.4.1 Historia del control de emisiones vehiculares	34
1.4.2 Normativas EE.UU.....	34
1.4.3 Normativa Europea.....	36
1.4.4 Normativa Asiática.....	38
1.4.5 Normativas de América Latina.....	38
1.4.6 Normativa Ecuatoriana	41
CAPÍTULO II.....	43
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
2.1 Análisis de la Normativa	44
2.1.1 Normativas Estadounidenses.....	44
2.1.2 Normativas EURO.....	44
2.1.3 Normativa Asiática	45
2.1.4 Normativas Latinoamericanas	46
2.1.5 Evolución de la Normativa Ecuatoriana.....	49
2.2 Análisis de Tecnologías.....	50
2.3 Campaña y Caracterización de vehículos.....	52
2.3.1 Datos recolectados en pruebas de mediciones.....	53
2.4 Metodología de Medición.....	53
2.4.1 Herramientas y equipos de medición de gases en pruebas estáticas.	53
2.5 Diagrama de flujo	54
2.6 Propuesta Normativa	55
2.7 Análisis Vida Útil y Análisis de costo de mantenimiento.....	55
2.7.1 Costos de mantenimiento y consumo de combustible.....	55
2.8 Análisis subsidio del combustible	57
2.8.1 Vehículos de combustión interna	57

CAPÍTULO III	58
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
3.1 Normativa vs Tecnología.....	58
3.2 Campaña Experimental.....	59
3.2.1 Vehículos con tecnología a Carburador.....	59
3.2.2 Vehículos con tecnología Monopunto.....	65
3.2.3 Vehículos con tecnología de Inyección Multipunto.....	71
3.2.4 Vehículos con tecnología de Inyección Directa.....	76
3.3 Propuesta de actualización de Normativa.....	81
3.4 Análisis de vida útil de un vehículo categoría M1.....	83
3.5 Análisis subsidio de combustible.....	85
3.5.1 Vehículos seleccionados por categorías de cilindrajes.....	86
3.5.2 Subsidio de combustible en Ecuador.....	87
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
4.1 Conclusiones.....	93
4.2 Recomendaciones.....	94
Referencias Bibliográficas.....	96
Anexos.....	106

Índice de Figuras

Figura 1.1 Esquema del ciclo real de otto superpuesto con el ideal.....	7
Figura 1.2 Esquema de un carburador.....	12
Figura 1.3 Sistema de inyección monopunto	16
Figura 1.4 Componentes Básicos en el funcionamiento del sistema Monopunto.....	17
Figura 1.5 Partes del inyector.....	17
Figura 1.6 Componentes de un sistema de inyección multipunto indirecta.....	19
Figura 1.7 Bobina del sistema multipunto.....	20
Figura 1.8 Diferencia entre sistema de inyección directa e indirecta.....	22
Figura 1.9 Diagrama prueba Dinámica	29
Figura 1.10 Emisiones de gases vehiculares	30
Figura 2.1 Proceso de investigación.....	43
Figura. 2.2 Analizador de gases para pruebas estáticas.....	53
Figura 2.3 Diagrama de flujo.	54
Figura 3.1 Tecnología vs Normativa.....	58
Figura 3.2 Cilindraje vs año tecnología a carburador en hidrocarburos.....	60
Figura 3.3 Cilindraje vs año tecnología a carburador en monóxido de carbono.	62
Figura 3.4 Cilindraje vs año tecnología a carburador en oxígeno.....	64
Figura 3.5 Cilindraje vs año tecnología monopunto en hidrocarburos	66
Figura 3.6 Cilindraje vs año tecnología monopunto en monóxido de carbono.....	68
Figura 3.7 Cilindraje vs año tecnología monopunto en oxígeno.....	70
Figura 3.8 Cilindraje vs año con tecnología multipunto en hidrocarburos	72
Figura 3.9 Cilindraje vs año con tecnología multipunto monóxido de carbono.	74

Figura 3.10 Cilindraje vs año con tecnología multipunto en oxígeno.....	75
Figura 3.11 Cilindraje vs año con tecnología de inyección directa en hidrocarburos.....	77
Figura 3.12 Cilindraje vs año con tecnología de inyección directa en monóxido de carbono .	79
Figura 3.13 Cilindraje vs año con tecnología de inyección directa en oxígeno	80
Figura 3.15 Diagrama radial de criterio de análisis en subsidio de combustible.	85
Figura 3.16 Desarrollo de sostenibilidad y transporte.....	91

Índice de Tablas

Figura 1.1 Esquema del ciclo real de otto superpuesto con el ideal.....	7
Figura 1.2 Esquema de un carburador.....	12
Figura 1.3 Sistema de inyección monopunto	16
Figura 1.4 Componentes Básicos en el funcionamiento del sistema Monopunto.....	17
Figura 1.5 Partes del inyector.....	17
Figura 1.6 Componentes de un sistema de inyección multipunto indirecta.....	19
Figura 1.7 Bobina del sistema multipunto.....	20
Figura 1.8 Diferencia entre sistema de inyección directa e indirecta.....	22
Figura 1.9 Diagrama prueba Dinámica	29
Figura 1.10 Emisiones de gases vehiculares	30
Figura 2.1 Proceso de investigación.....	43
Figura. 2.2 Analizador de gases para pruebas estáticas.....	53
Figura 2.3 Diagrama de flujo.	54
Figura 3.1 Tecnología vs Normativa.....	58
Figura 3.2 Cilindraje vs año tecnología a carburador en hidrocarburos.....	60
Figura 3.3 Cilindraje vs año tecnología a carburador en monóxido de carbono.	62
Figura 3.4 Cilindraje vs año tecnología a carburador en oxígeno.....	64
Figura 3.5 Cilindraje vs año tecnología monopunto en hidrocarburos	66
Figura 3.6 Cilindraje vs año tecnología monopunto en monóxido de carbono.....	68
Figura 3.7 Cilindraje vs año tecnología monopunto en oxígeno.....	70
Figura 3.8 Cilindraje vs año con tecnología multipunto en hidrocarburos	72
Figura 3.9 Cilindraje vs año con tecnología multipunto monóxido de carbono.	74

Figura 3.10 Cilindraje vs año con tecnología multipunto en oxígeno.....	75
Figura 3.11 Cilindraje vs año con tecnología de inyección directa en hidrocarburos.....	77
Figura 3.12 Cilindraje vs año con tecnología de inyección directa en monóxido de carbono .	79
Figura 3.13 Cilindraje vs año con tecnología de inyección directa en oxígeno	80
Figura 3.15 Diagrama radial de criterio de análisis en subsidio de combustible.	85
Figura 3.16 Desarrollo de sostenibilidad y transporte.....	91

Índice de Ecuaciones

Ecuación [1]. Real vs Ideal.....	8
Ecuación [2] Real vs Ideal.....	8
Ecuación [3] Gases ideales	9
Ecuación [4] Lambda.....	33
Ecuación [5] Tamaño de población.....	52
Ecuación [6] TCO.....	56
Ecuación [7] Consumo de combustible	56
Ecuación [8] Consumo por kilómetro	57
Ecuación [9] Emisiones de CO.....	57
Ecuación [10] Consumo de combustible anual auto nuevo.....	90
Ecuación [11] Consumo de combustible anual auto antiguo	90

Índice de Anexos

Anexo 1. Campaña de medición.....	106
--	------------

Glosario de términos

COP: Coil On Plug

MAP: Manifold Absolute Pressure Sensor

IAT: Intake Air Temperature Sensor

MAF: Mass Air Flow Sensor

IAC: Idle Air Control

ETC: Electronic Throttle Control

TPS: Throttle Position Sensor

FPS: Fuel Pressure Sensor

TWC: Three Way Catalitic Converter

EGT: Exhaust Gas Temperature

RESUMEN

El estudio realizado se centra en los motores de encendido provocado y los sistemas de inyección que estos utilizan, abarcando tecnologías como el carburador, la inyección monopunto, multipunto y la inyección directa. Se analizan las características técnicas y funcionamiento de cada sistema, destacando su influencia en el rendimiento del motor, el consumo de combustible y las emisiones contaminantes. Además, el trabajo incluye una evaluación detallada de los principales gases emitidos por estos motores: hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y oxígeno residual (O₂). Estos gases representan los principales indicadores de impacto ambiental y de eficiencia de combustión en los vehículos.

La investigación también examina la evolución de la normativa de emisiones vehiculares en diferentes regiones del mundo, incluyendo Latinoamérica, Estados Unidos, Europa y Japón. Este análisis permite comprender cómo las regulaciones han influido en el desarrollo de tecnologías más limpias y eficientes. Se identifican las diferencias en los estándares y la rapidez con la que cada región ha adoptado medidas para reducir las emisiones contaminantes. En el contexto nacional, el estudio propone una actualización de la normativa vigente de emisiones de gases, tomando como referencia las mejores prácticas internacionales. Adicionalmente, se planteó una revisión del subsidio a los combustibles, argumentando que dicha política debe estar alineada con incentivos para la adopción de tecnologías más limpias.

Para respaldar estas propuestas, se llevó a cabo una campaña experimental de medición de emisiones en un grupo de 170 vehículos clasificados en cuatro categorías: carburador, monopunto, multipunto e inyección directa. Esta campaña permitió evaluar el desempeño ambiental de cada tecnología bajo condiciones reales de operación, mediante pruebas de análisis de gases en método estático, bajo un registro de 70 vehículos de ReviPlus y 100 vehículos analizados de manera independiente bajo un analizador de gases con el fin de proponer una actualización de la normativa que se desglosa en 4 categorías en base a su año de fabricación y cilindraje del mismo, generando datos concretos sobre las emisiones de cada tipo de sistema de inyección. Los resultados obtenidos proporcionan un fundamento sólido para las

recomendaciones realizadas en el estudio, orientadas a mejorar la calidad del aire y promover un transporte más sostenible en el país.

ABSTRAC

The study focuses on spark-ignition engines and the injection systems they use, covering technologies such as carburetors, single-point injection, multi-point injection, and direct injection. The technical characteristics and operation of each system are analyzed, highlighting their influence on engine performance, fuel consumption, and pollutant emissions. Additionally, the work includes a detailed evaluation of the main gases emitted by these engines: hydrocarbons (HC), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), nitrogen oxides (NO_x), and residual oxygen (O₂). These gases represent the main indicators of environmental impact and combustion efficiency in vehicles.

The research also examines the evolution of vehicle emission regulations in different regions of the world, including Latin America, the United States, Europe, and Japan. This analysis provides insight into how regulations have influenced the development of cleaner and more efficient technologies. Differences in standards and the speed at which each region has adopted measures to reduce pollutant emissions are identified. At the national level, the study proposes an update to the current gas emission regulations, taking the best international practices as a reference. Additionally, it suggests a review of fuel subsidies, arguing that such policies should align with incentives for the adoption of cleaner technologies.

To support these proposals, an experimental emissions measurement campaign was carried out on a group of 170 vehicles classified into four categories: carburetor, single-point, multi-point and direct injection. This campaign allowed the environmental performance of each technology to be evaluated under real operating conditions, through static gas analysis tests, under a registry of 70 ReviPlus vehicles and 100 vehicles independently analyzed under a gas analyzer in order to propose an update to the regulations that is broken down into 4 categories based on their year of manufacture and cylinder capacity, generating specific data on the emissions of each type of injection system. The results obtained provide a solid foundation for the recommendations made in the study, aimed at improving air quality and promoting more sustainable transportation in the country.

Keywords: Hydrocarbons, carbon monoxide, carbon dioxide, residual oxygen, carburetor, single-point injection, multi-point injection, direct injection

INTRODUCCIÓN

Problema de investigación

A nivel nacional no se ha realizado un estudio que estime la propagación de gases contaminantes expuestos por el parque automotor, en vehículos con motores de encendido provocado relacionándolo con la normativa aplicada en los centros de revisión vehicular regulados por los gobiernos autónomos Descentralizados (GAD).

La normativa señala que un automotor se puede presentar con un límite de cuatro revisiones técnicas con el fin de aprobar el proceso, lo que genera controversia en cuanto a una desactualización en la normalización de regulación de gases contaminantes, según Ecuavisa, de un total de 242 466 revisiones técnicas vehiculares que se han realizado en los siete centros del Distrito Metropolitano de Quito desde julio hasta octubre del 2022, un 30% del parque automotor no logra aprobar la revisión técnica vehicular por el factor de contaminación ambiental [1].

Un factor prescindible para la presente investigación es la evasión de los usuarios de registrarse a una revisión técnica vehicular, evitando estas inspecciones técnicas como es las emisiones de gases contaminantes. Usuarios que evaden las revisiones técnicas vehiculares debido a los desperfectos en los motores de vehículos de modelos posteriores, con el fin de obtener una “aprobación” técnica vehicular y circular libremente por su GAD competente [2].

En 147 municipios y mancomunidades se están realizando procesos de matriculación completamente irregulares, 110 000 vehículos que han realizado este proceso de matriculación con el fin de evadir impuestos generando un costo adicional al estado por el tema de subsidios de combustible y la evasión de una revisión técnica vehicular por automotores con desperfectos mecánicos que generan un alto índice de emisión de gases contaminantes sin regulación alguna.

Según NTE INEN 2204, el límite aceptable para vehículos del año 1999 y posteriores es de 1000 ppm de hidrocarburos y 6,5% de Monóxido de carbono [3].

Lo que provoca un alto índice de contaminación ambiental y genera un costo adicional en subsidio a estos vehículos que mantienen una tecnología desactualizada en su sistema de inyección.

Justificación

El Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025 "Toda una Vida", en su objetivo 12, busca promover modelos de desarrollo sostenibles mediante la implementación de medidas para adaptarse y mitigar el Cambio Climático. En su política 12.3, se propone poner en práctica mejores prácticas ambientales con responsabilidad social y económica, que impulsen la sensibilización, así como la producción y el consumo sostenible, a través de la investigación, la innovación y la transferencia de tecnología [4].

La realización de un estudio del límite permisible que acepta la normativa aplicada en los centros de revisión vehicular que favorece al alto índice de contaminación ambiental, lo que genera la iniciativa de proponer una actualización de la normativa presente de emisiones vehiculares en Ecuador [5].

Por ende, el objetivo es garantizar los derechos de la naturaleza y promover la vialidad para evitar producir menos emisiones contaminantes y aliviar la calidad del aire presente en todo el parque automotor, cumpliendo las normas establecidas vigentes regulados por entes calificados que rigen las normas aplicadas en nuestro país [6].

Este proyecto de investigación está enfocado en plantear una alternativa viable como la actualización de la normativa vigente en los centros de revisión vehicular como una solución ante de las mayores fuentes de contaminación del medio ambiente como son las emisiones vehiculares expuestas por el parque automotor, mediante el estudio y comparación de la normativa aplicada en los centros de revisión vehicular en el país [7].

Según a la base de datos de la RTV (Revisión Técnica Vehicular) en nuestro país, a inicios del año 1996 se comenzó a generalizar todo lo referente a sistemas de inspección de emisiones contaminantes con el plan de eliminación del plomo de los combustibles, consecuentemente de acuerdo con la normativa NTE INEN 2204 Y 2207 creadas para regular las emisiones vehiculares se establecieron los límites aceptables para motores a gasolina y diésel [8].

Límites permisibles en vehículos automotores que sobrepasan lo aceptable, dando como resultado un alto índice de contaminación.

Al realizar un estudio de vida útil del vehículo automotor puesto a prueba, basado en sus costos de mantenimiento reparación y consumo de combustible, se prevé proponer a consideración una actualización de sistema, con la finalidad de reducir el límite permisible de emisiones vehiculares en los centros de revisión vehicular.

Esta propuesta también va dirigida a usuarios que descuidan el mantenimiento preventivo de sus vehículos automotores, realizando una campaña de recolección de datos dando a conocer los valores expuestos de los vehículos mediante una prueba estática, brindando al usuario la información técnica del estado del motor de su vehículo, relacionando al límite aceptable en la norma aplicada actualmente en la revisión técnica vehicular y en normas técnicas vehiculares aplicadas en países de primer mundo [9].

Los usuarios y dueños de vehículos automotores, desconocen el límite de aceptación por parte de la normativa en emisiones de gases contaminantes, lo que provoca un desinterés en enfocar el mantenimiento preventivo en sus vehículos, llegando a presenciar altos niveles de contaminación ambiental expuestos por determinado grupo del parque automotor.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la evolución de la normativa emisiones vehiculares en el Ecuador asociado al cambio en la tecnología de sistemas de inyección de combustible de motores de encendido provocado.

Objetivos Específicos

- Analizar la evolución de la normativa de control de emisiones vehiculares a nivel nacional y comparar los valores con distintas tecnologías de inyección de combustible mediante un estudio bibliográfico con el objeto de proponer una actualización en la normativa vigente.
- Desarrollar una campaña de recolección de datos de emisiones vehiculares mediante una prueba estática para definir una línea base de emisiones los diferentes sistemas de inyección existentes a nivel local.
- Elaborar un análisis de vida útil de vehículos de categoría M1 basado en costos de mantenimiento, reparación y consumo de combustible con el objetivo de determinar su relación con el subsidio de combustible y el nivel de emisiones.

Alcance

En el presente proyecto se realiza una investigación sobre el índice de emisiones contaminantes expuestas por vehículos automotores de categoría M1, de sistemas de inyección como carburador, Monopunto, multipunto e inyección directa, con el fin de comparar los análisis obtenidos mediante una muestra representativa con la normativa de emisiones vehiculares presente en la revisión técnica vehicular de Ecuador. Con el fin de proponer una actualización de la misma.

Para efectuar esta investigación, se prevé llevar a cabo muestras representativas de emisiones de gases contaminantes por sistema de inyección, el porcentaje de monóxido de carbono, partes por millón de Hidrocarburos no combustionados, porcentaje dióxido de carbono y nivel de oxígeno bajo una prueba estática mediante pruebas con previo mantenimiento preventivo como cambio de aceite de motor, cambio de filtros de combustible y aire.

Las pruebas se llevarán a cabo en vehículos representativos más comunes a la zona de estudio de cada categoría de sistema de inyección, en factores como tecnología, kilometraje, cilindraje, mantenimiento preventivo y modelo.

CAPÍTULO I

1. Marco Teórico

1.1. Motores de encendido provocado

Según [10] Los motores de encendido provocado funcionan con trabajos térmicos, a lo que refiere que son motores que cambian la energía calórica en energía mecánica. Su funcionamiento se basa en que cuando el combustible suministrado se combustiona se genera gran cantidad de calor más conocida como energía calórica y una mutación de gases. El calor generado crea una agrandar el volumen de dichos gases, un aumento de volumen involucra un aumento de presión, ya que la combustión se produce en una cámara cerrada. La fuerza causada por esta presión es la que se emplea para mover, mediante diversos mecanismos partes del motor tales como: émbolos, bielas, cigüeñal de motor [10].

1.1.1. Ciclo termodinámico Otto

El ciclo termodinámico Otto (motor de encendido provocado) que simula al motor de encendido provocado consiste en 4 movimientos del motor de partes como el pistón, y empieza con una compresión rápida de la mezcla aire-combustible, pronto la mezcla se pone en ignición y sucede la combustión tan apresuradamente que el volumen se mantiene casi constante y se eleva la presión, el restante de la combustión y el peso se expanden, la temperatura y la presión decrece [11].

1.1.2. Eficiencia térmica

La eficiencia térmica de un motor de combustión interna está determinada por la relación entre el trabajo útil realizado y el calor total suministrado al motor, la eficiencia térmica se maximiza en motores que logran aprovechar de manera óptima la energía contenida en el combustible, reduciendo al mínimo las pérdidas de energía por fricción, transferencia de calor a las paredes del cilindro, y escape de gases no completamente quemados [12]. En el ciclo Otto, la eficiencia térmica se calcula mediante la relación de compresión y la relación entre el calor suministrado y el trabajo efectivo, la cual es afectada por la mezcla de aire-combustible y las condiciones de operación del motor. Para alcanzar una mayor eficiencia térmica, se deben optimizar parámetros como la relación de compresión, la temperatura de entrada del aire y el tiempo de ignición, lo que a su vez se traduce en un menor consumo de combustible y una reducción de las emisiones

contaminantes, en motores de gasolina tradicionales, la eficiencia térmica generalmente se encuentra entre el 20% y el 30%, lo que significa que entre el 70% y el 80% de la energía del combustible se pierde en forma de calor. En motores Diesel, esta cifra puede llegar hasta el 40%, debido a su mayor eficiencia en la conversión de energía [13].

Para comprender la eficiencia térmica de un ciclo térmico de un motor de combustión interna Otto, se toma en consideración los siguientes procesos reversibles [12].

- **Compresión adiabática:** La mezcla de aire y combustible es comprimida en el cilindro sin intercambiar calor con el exterior, aumentando su presión y temperatura, lo que mejora la eficiencia térmica del motor, en un proceso de compresión adiabática se produce un aumento de la temperatura del sistema [14].
- **Calentamiento isométrico (isocórico):** La mezcla se quema rápidamente tras la chispa de la bujía, liberando energía en forma de calor y aumentando la presión mientras el volumen permanece constante [14].
- **Expansión adiabática:** Los gases de combustión se expanden al mover el pistón hacia abajo, transformando la energía térmica en trabajo mecánico sin intercambiar calor con el entorno, es un proceso en el que un sistema, normalmente un gas o un vapor, se expande sin que se produzca transferencia de calor con su entorno [15].
- **Enfriamiento isométrico (isocórico):** El gas enfriado libera calor al ambiente mientras el volumen permanece constante, reduciendo la presión y preparando el cilindro para el siguiente ciclo [15].

Según [16] El motor de encendido provocado es un motor térmico que convierte la energía química en energía mecánica, generalmente disponible en un eje de salida rotatorio. La energía química contenida en el combustible suministrado se transforma inicialmente en energía térmica a través del proceso de combustión u oxidación con el aire dentro del motor. Al finalizar la combustión, los productos resultantes se convierten en sustancias como dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y monóxido de carbono (CO). Esta energía térmica incrementa la presión y la temperatura de los gases en el interior del motor, y los gases a alta presión se desplazan hacia los componentes mecánicos del motor [16].

1.1.3. Rendimiento

El rendimiento se basa en el trabajo efectivo disponible en el embrague en relación con el trabajo indicado, la diferencia entre el trabajo indicado y el trabajo efectivo disponible se debe a las pérdidas mecánicas, principalmente lo perdido por fricción del motor y de los órganos de control para el cambio de gases, así como las pérdidas en el accionamiento de la bomba de aceite, agua y carburante [17].

Todo el trabajo que se realiza en este proceso conlleva ventaja positiva, debido a que recorre en sentido horario, los movimientos se transmiten en orden de pistón, biela y cigüeñal, y finalmente este movimiento se transmite a las ruedas, generando así el trabajo, el rendimiento del ciclo otto como de cualquier otra maquina termina viene dado por la relación entre trabajo total realizado durante el ciclo y el calor suministrado al fluido del trabajo [18].

En la fig.1.1 se representa un esquema del ciclo real de otto superpuesto con el ideal, analizado con las secciones anteriores.

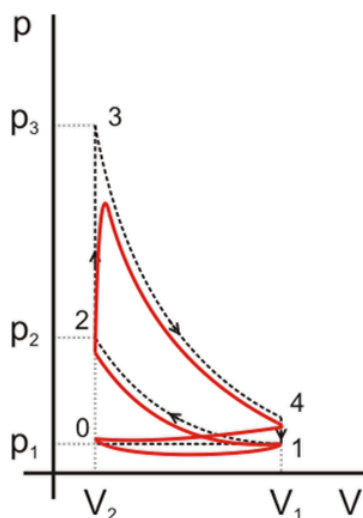


Figura 1.1 Esquema del ciclo real de otto superpuesto con el ideal

Fuente: [12].

1.1.3.1. Rendimiento volumétrico

Según [19] Se refiere al proceso de llenado del cilindro durante la carrera de admisión en los motores de combustión interna. En este momento, el cilindro no se llena por completo debido a un fenómeno conocido como rarefacción, que es lo opuesto a la compresión.

1.1.3.2. Rendimiento Mecánico

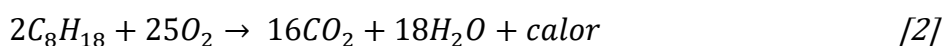
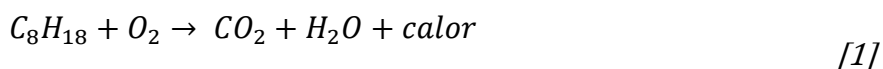
En cuanto al rendimiento mecánico, este se refiere a las cargas que actúan sobre el motor, ya sea por fricción entre los cilindros y los anillos del pistón, el contacto de los ejes con las bancadas, o por el arrastre de accesorios a través de la correa. De esta forma, el motor acciona diversos sistemas como la bomba de agua, la bomba de aceite, el compresor del aire acondicionado y el motor de arranque. Todas estas cargas impactan en el rendimiento del motor, lo que explica por qué no alcanza un rendimiento del 100% [20].

1.1.3.3. Rendimiento térmico

El rendimiento térmico está relacionado con la relación de compresión, ya que, al incrementarla, se aumenta la compresión dentro del cilindro, lo que eleva la temperatura. Esto provoca un mayor poder calorífico, que, con la ayuda de la chispa de la bujía, hace que la combustión dentro del cilindro sea más intensa. Como resultado, se genera una mayor presión media efectiva, lo que se traduce en más trabajo, mayor torque y, en consecuencia, mayor potencia [19].

1.1.4. Combustión Real vs. Combustión Ideal

Según [13]. En el análisis de la combustión ideal, se considera un proceso teórico en el cual el combustible se quema completamente con la proporción exacta de oxígeno, siguiendo la relación estequiométrica de 14.7 partes de aire por cada parte de combustible en peso para los motores de gasolina.



Este escenario ideal supone una mezcla homogénea y condiciones perfectas que aseguran la formación exclusiva de dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O) como productos de la reacción,

sin la generación de subproductos nocivos como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) o hidrocarburos no quemados (HC). Este comportamiento ideal puede describirse mediante la ecuación de los gases ideales [22].

$$PV = nRT \quad [3]$$

donde la presión (P), el volumen (V), la cantidad de sustancia (n), la constante universal de los gases (R), y la temperatura (T) se relacionan para caracterizar el comportamiento de un gas en condiciones ideales [21].

1.1.5. Ciclo de Combustión

El proceso de combustión en estos motores comienza con el avance de un frente de llama que recorre la cámara de combustión, iniciando desde la bujía de encendido. Este proceso mantiene siempre dos áreas claramente diferenciadas: una con gases frescos y otra con gases quemados [21].

Según [17] La primera reacción térmica que se origina entre el aporte de la energía de encendido de la chispa y la reacción exotérmica de la mezcla aire/combustible, la “fase de inflamación”, es casi constante en el tiempo y depende de la composición de la mezcla. Esto sobrelleva a un retardo del encendido que incrementa a medida que aumenta el número de revoluciones por minuto del motor y cambia la razón de aire, a medida que incrementa el número de revoluciones del motor y la razón de aire, se ha de adelantar el momento de encendido.

1.1.6. Combustibles en Ecuador

En Ecuador, los tipos de gasolina disponibles en el mercado se distinguen principalmente por su octanaje, que es un indicador de la capacidad del combustible para resistir la detonación espontánea en el motor. Actualmente, se comercializan gasolinas con octanajes de 85 (Extra), 87 (Ecopaís) y 92 (Súper), lo cual limita el desempeño de los motores de alta compresión, diseñados para utilizar combustibles con octanajes superiores a 95 [23]. El uso de gasolina de bajo octanaje en motores que requieren combustibles de mayor calidad provoca una combustión incompleta, preignición y golpeteo del motor, lo que a su vez disminuye la eficiencia térmica y aumenta las emisiones de contaminantes, la baja calidad del combustible se ve reflejada en un mayor contenido de compuestos aromáticos y una menor eficiencia energética, lo que

incrementa el consumo de combustible y la frecuencia de mantenimiento, es fundamental considerar la implementación de regulaciones más estrictas sobre la calidad del combustible en el país para asegurar una mayor eficiencia de los motores y una reducción de las emisiones de gases contaminantes [23].

1.2. Sistemas de inyección de un motor de encendido provocado

En los motores de encendido provocado históricamente se ha propuesto alcanzar a la mezcla ideal entre aire y combustible para así obtener la máxima eficiencia posible, y de paso disminuir las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera, principalmente el Dióxido de carbono (CO_2), en casi un siglo el encargado de realizar dicha mezcla fue el sistema de carburador, que radicaba en un sistema de inyección de combustible en toda su totalidad mecánico, manejado por principios físicos de flujo de aire [24].

1.2.1. Carburador

El carburador es un componente mecánico clave en los motores de encendido provocado, encargado de combinar aire y combustible en las proporciones necesarias para garantizar una combustión eficiente y un desempeño óptimo del motor, este dispositivo, ampliamente utilizado antes de la generalización de los sistemas de inyección electrónica, se basa en principios físicos simples pero efectivos para cumplir su función, entre ellos, el efecto Venturi es el fundamento principal que regula la mezcla de combustible y aire [25].

El efecto Venturi se produce dentro de un tubo llamado difusor, que está diseñado con una sección variable que se estrecha gradualmente en un punto, creando una zona de baja presión. A medida que el aire fluye a través del tubo y alcanza esta sección estrecha, la velocidad del flujo aumenta y la presión disminuye, lo que genera una succión que extrae el combustible desde la cuba o depósito. Este combustible es pulverizado y mezclado con el aire de manera homogénea antes de ser enviado a los cilindros para la combustión. La forma específica del difusor y el tamaño de los conductos están diseñados para optimizar la atomización del combustible y adaptarse a las diferentes necesidades de los motores [26].

1.2.1.1. Partes del carburador

A diferencia de otros sistemas de inyección, el carburador contiene un gran número de componentes, los cuales producen la inyección del combustible (gasolina) dentro del múltiple de admisión de una manera poco eficiente [27]. Entre los más relevantes se obtienen:

- **Cuba o cubeta:** Es el depósito donde se almacena temporalmente el combustible antes de ser mezclado con el aire. La cuba está diseñada para mantener un nivel constante de gasolina mediante un flotador y una válvula de aguja, lo que garantiza una mezcla precisa en todas las condiciones de funcionamiento [28]
- **Chimeneas:** Su misión no es otra más que preparar la alimentación necesaria para que el motor funcione correctamente, es decir regula la cantidad de aire combustible en función de la demanda enviada por el pedal [29].
- **Cuerpo del carburador:** Es la estructura principal que alberga todos los componentes internos del carburador. Fabricado generalmente de aluminio o aleaciones ligeras, contiene los conductos y orificios por donde fluyen el aire y el combustible, asegurando que la mezcla se distribuya correctamente hacia el motor [30].
- **Campana:** Es una pieza móvil que regula el flujo de aire que pasa a través del carburador. Su movimiento ascendente o descendente crea una diferencia de presión en el Venturi, lo que determina la cantidad de aire que se mezcla con el combustible [30].
- **Aguja:** Un componente cónico que regula el flujo de combustible desde la cuba hacia el motor. Está conectado al flotador, de modo que se abre o cierra según el nivel de gasolina en la cuba, permitiendo un control preciso de la cantidad de combustible que entra en la mezcla [31].
- **Tornillo regulador:** Este tornillo permite realizar ajustes finos en la mezcla aire-combustible o en el ralentí del motor. El tornillo controla la cantidad de aire o combustible que fluye en condiciones específicas, optimizando el rendimiento y la eficiencia del motor [27].

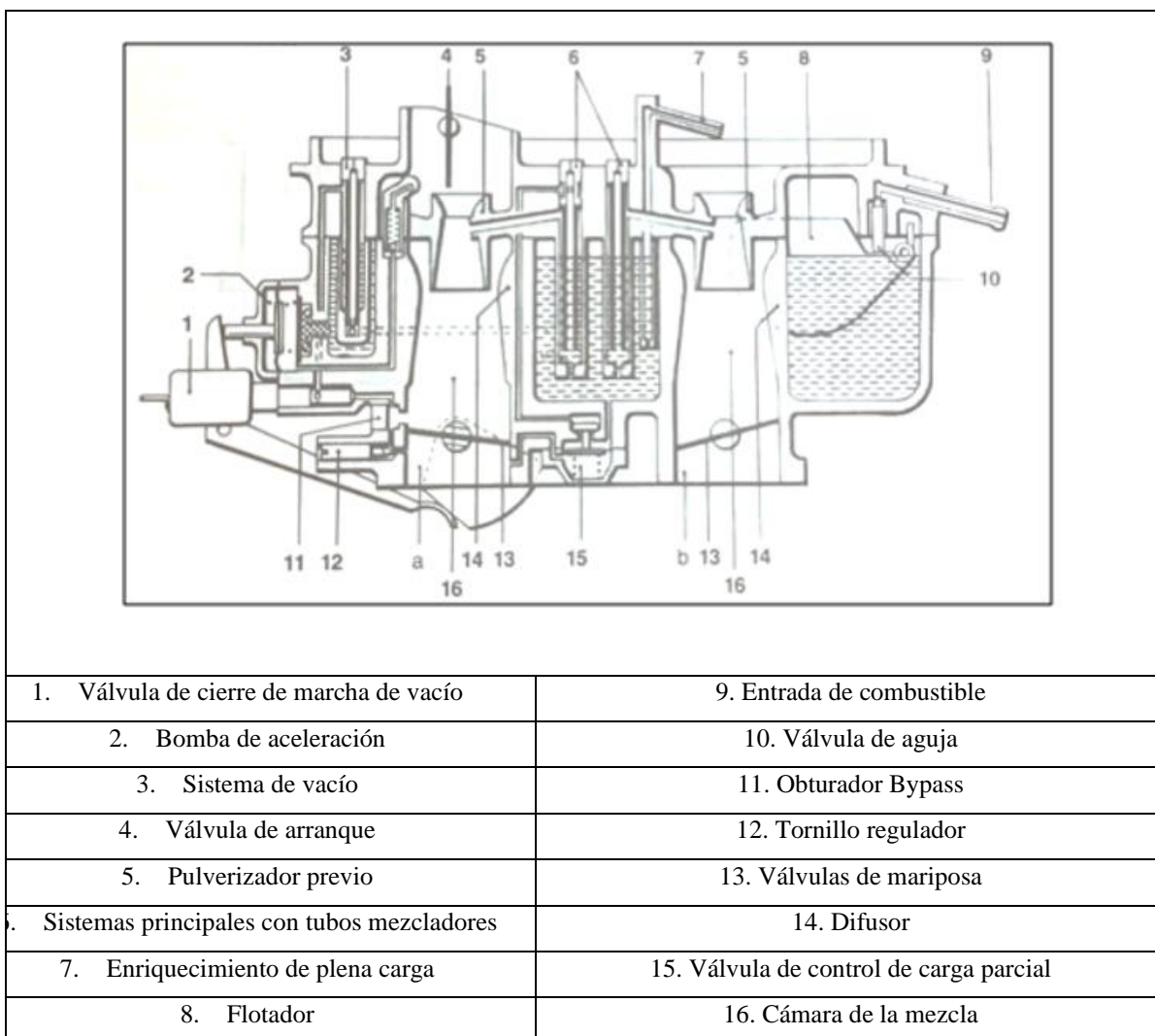


Figura 1.2 Esquema de un carburador

Fuente: [17].

1.2.1.2. Funcionamiento del carburador

A medida que el aire entra al difusor, su densidad disminuye gradualmente para llegar a la parte más estrecha del Venturi, donde la velocidad aumenta y la presión se reduce por debajo de la presión atmosférica. En el sistema de carburador, este fenómeno se utiliza para introducir el combustible en el Venturi (difusor). La diferencia de presión, que es inferior a la presión atmosférica, extrae el combustible de la cuba, el cual se mezcla con el aire y luego se envía al motor a través del múltiple de admisión [25].

La cantidad de gasolina que se envía a la cuba del carburador se ajusta mediante un componente denominado flotante, que está asociado a una válvula de aguja. Para controlar la cantidad de

mezcla que el motor recibe, se emplea una válvula mariposa, la cual se regula según su apertura, dependiendo de la velocidad del motor [32].

1.2.1.3. Dosificación de combustible

El incremento de cantidad de aire suministrada dentro del cilindro del motor bajo sistema a carburador se regula mediante una válvula de aceleración ubicada en la sección estrangulamiento de la tobera. Al regular la posición de la válvula, varía la cantidad de aire suministrado según el incremento de las revoluciones del motor, para establecer el volumen de aire suministrado en el motor, en primera instancia se debe identificar la eficiencia volumétrica del motor a un determinado régimen de revoluciones por minuto de dicho motor [33]. La presión promedio a la que trabaja un carburador varía entre 1.5 a 2 bares, manteniendo una presión de trabajo poco eficiente en la inyección de combustible [34].

1.2.1.4. Sistema de encendido convencional

El carburador emplea un sistema de encendido convencional con punto de interrupción. Según [35], un sistema de encendido automotriz se divide en dos circuitos eléctricos: el primario y el secundario. El circuito primario opera a voltaje bajo, funcionando únicamente con la corriente de la batería y siendo controlado por los puntos de interrupción y el interruptor de encendido. Al encender la llave del vehículo, una corriente de bajo voltaje fluye desde la batería a través de los devanados primarios de la bobina de encendido, pasando por los puntos de interrupción y regresando a la batería. Este flujo de corriente genera un campo magnético alrededor de la bobina. El circuito secundario se maneja en los devanados secundarios de la bobina, con el conductor de alto voltaje entre el distribuidor y la bobina, los distribuidores de bobina externos, la tapa del distribuidor, el rotor, los cables de bujías y las bujías [35].

1.2.2. Inyección Monopunto

Según [36] La inyección monopunto TBI (Throttle Body Injection) fue una tecnología desarrollada como respuesta a la necesidad de modernizar los sistemas de suministro de combustible en los motores de combustión interna, reemplazando al carburador en vehículos de bajo costo durante los años 90. Este sistema surgió como una alternativa económica frente a la inyección multipunto, con el objetivo de cumplir con normativas de emisiones cada vez más estrictas y mejorar la eficiencia de los motores sin aumentar significativamente los costos de

producción, ya que presenta un monoinyector en la parte superior del colector de admisión el cual inyecta el combustible de manera indirecta bajo cierto orden de encendido acorde al sistema [37].

El sistema incluye otros componentes clave, como sensores de temperatura del aire (IAT), de posición del acelerador (TPS) y de presión del colector (MAP), que proporcionan datos en tiempo real a la ECU, con esta información, la ECU ajusta el tiempo de inyección y la cantidad de combustible necesaria para diferentes condiciones operativas, como ralentí, aceleración y carga variable, logrando un mejor rendimiento del motor y una reducción en el consumo de combustible [36].

La inyección monopunto también se caracteriza por su simplicidad mecánica y facilidad de mantenimiento, lo que la hizo popular en vehículos económicos. Sin embargo, sus limitaciones, como la distribución menos precisa del combustible en comparación con la inyección multipunto, llevaron a que su uso fuera reemplazado progresivamente a medida que los sistemas multipunto se volvieron más accesibles y eficientes, a pesar de ello, la inyección monopunto representó un avance significativo en la evolución de la tecnología automotriz, marcando un punto intermedio entre los carburadores tradicionales y los sistemas de inyección modernos [38].

En la tabla 1.1, se describe los diferentes sistemas de inyección y su actualización en el sistema Monopunto, con sus diferentes categorías que desglosa a una actualización de la tecnología en inyección monopunto.

Tabla 1.1 Sistemas de inyección monopunto

Sistemas	Descripción
Mono-Jetronic.	Según [17] Es un sistema de inyección Monopunto de baja presión regulado electrónicamente para motores de encendido provocado de 4 cilindros con un inyector electromagnético situado en el centro, el componente primordial de este sistema es el elemento de inyección, que dosifica el aire absorbido de manera más efectiva con la válvula de la mariposa e inyecta el combustible con el inyector de forma intermitente por encima de la válvula de la mariposa [39].
K-Jetronic	Este sistema trabaja sin propulsión e inyecta el combustible continuamente, la masa de combustible inyectado no es determinada por el inyector, esta viene especificada por un distribuidor de combustible, mejor conocido como un sistema mecánico sin propulsión, a razón con la bomba de inyección accionada por el motor de encendido provocado, en el que se regula continuamente el combustible dependiendo de la cantidad de aire absorbido por el motor [17].
KE-Jetronic	Se basa en el sistema base mecánico del sistema K-Jetronic, regula el control electrónico de funciones suministradas mediante la detección de señales de servicio más concretos, para adaptar con exactitud el caudal de combustible en la inyección a los diferentes estados de servicio del motor. Representa un perfecto funcionamiento para incrementar la flexibilidad y para intercalar más funciones, se complementa con una computadora (ECU) [40].
L- Jetronic	Este sistema de inyección es controlado electrónicamente ya que inyectan combustible con inyectores accionados electromagnéticamente de forma intermitente. La masa de combustible suministrada se regula por el tiempo de apertura de la válvula. Unifica las ventajas de la medición directa de cantidad de aire con las posibilidades especiales del sistema electrónico, abastece una técnica análoga y una gama de funciones mucho más amplia [41].
LH-Jetronic	La diferencia de este sistema de inyección se radica en la detección de conjunto de aire absorbido por el motor, que en este caso se obtiene mediante un medidor de masa de aire aspirado de hilo caliente, suministrado por el sensor MAF, que mide la masa de aire aspirado por el motor, el resultado de la medición no tiene relación con la densidad del aire, que estos dependen de la temperatura y presión [42].

Fuente: [42]

1.2.2.1. Partes de un sistema con inyección Monopunto

En la fig. 1.3 presenta un esquema en bloques sobre un sistema de inyección Monopunto

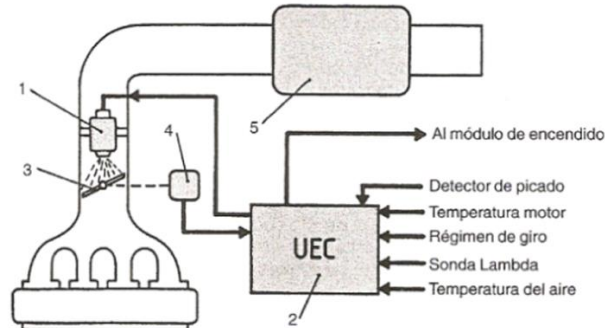


Figura 1.3 Sistema de inyección monopunto

Fuente: [36].

El elemento primordial es el mono inyector, la electrobomba, el filtro y el regulador de presión de combustible, el mono inyector recibe las señales de apertura de acuerdo a la corriente que envía a su bobinado la unidad de control (ECU) [36].

Según [43], los componentes principales que contemplan este sistema de inyección son los siguientes:

- Mono inyector
- Mariposa
- Regulador de presión de gasolina
- Regulador en ralentí
- IAT (Sensor de Temperatura de Aire de Admisión)
- TPS (Sensor de Posición de la Mariposa)
- Caudalímetro de aire (en algunos casos)

1.2.2.2. Funcionamiento

La unidad de control (ECU) recibe señales de los sensores de manera continua, pero la información esencial sobre los tiempos de inyección proviene únicamente de la posición angular de la válvula de la mariposa. Esta posición se detecta mediante un potenciómetro en la válvula de mariposa, que envía constantemente la señal de su ángulo a la unidad de control (ECU). Así,

este módulo electrónico deduce la carga del colector y, con ello, determina las necesidades de inyección de combustible [44].

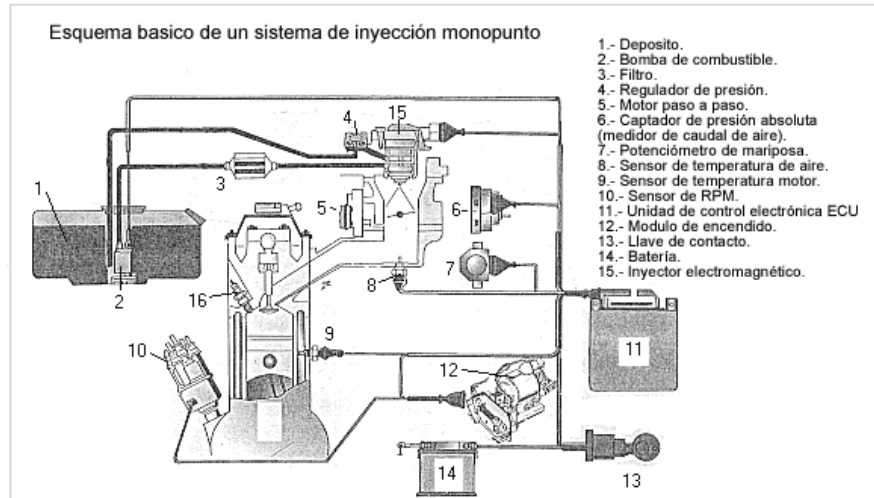


Figura 1.4 Componentes Básicos en el funcionamiento del sistema Monopunto

Fuente: [45].

En los sistemas de inyección Monopunto, el mono inyector recibe una señal la unidad de control (ECU) que indica el tiempo de inyección, a base de medidas previamente proporcionados por sensores y actuadores que envían señales de voltaje a la misma [46].

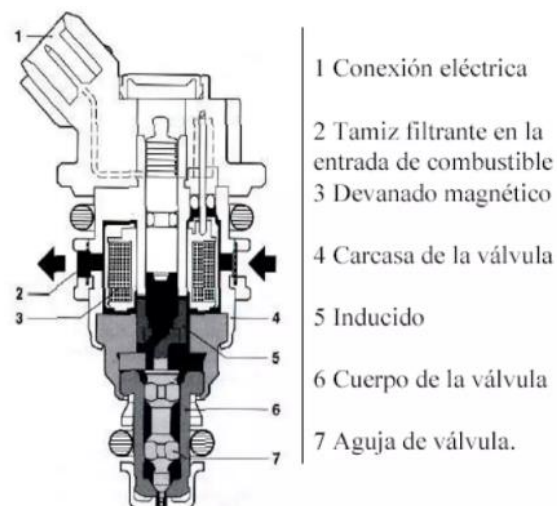


Figura 1.5 Partes del inyector

Fuente: [45].

1.2.2.3. Dosificación de Combustible

Debido a que solo existe un punto de inyección para abastecer todo el motor, la distribución del combustible puede ser menos precisa y eficaz, esto puede dar como resultado en una mezcla aire-combustible poco eficiente en algunas condiciones de funcionamiento del motor [45]. La presión de inyección en un sistema monopunto generalmente está en el rango de 2 a 3 bares (aproximadamente 30 a 45 psi), similar a lo que ocurre en los sistemas de inyección multipunto, aunque puede variar dependiendo del diseño específico del motor y del fabricante [47].

1.2.2.4. Sistema de encendido

Este sistema utiliza un sistema de encendido por distribuidor, el cual contiene una armadura con 4 tomas para cada uno de los cilindros, los motores de encendido provocado más nuevos apenas utilizan distribuidores para distribuir la chispa a cada uno de los cilindros, pues se han ido innovando por sistemas de encendido electrónicos que son completamente estáticos o sin piezas móviles [48].

Este sistema de distribuidor está compuesto por distintos componentes tales como: tapa y dedo, ruptor, condensador, distribuidor de alta tensión y sistema de accionamiento.

En este sistema de encendido, el transformador o bobina de encendido es el que eleva esta tensión a niveles mucho más altos en el circuito secundario. En este circuito secundario, la tensión puede alcanzar entre 12,000 y 45,000 voltios (o incluso más, dependiendo del diseño del sistema) para generar una chispa lo suficientemente potente como para encender la mezcla de aire y combustible en los cilindros, el cuerpo del distribuidor generalmente es metálico o en varias ocasiones de material aluminio [48].

1.2.3. Inyección multipunto

Este sistema de inyección de combustible distribuye una válvula de inyección independiente para cada cilindro del motor, también llamado inyector indirecto, ubicados en fila respectivamente la flauta de combustible, las cuales son reguladas y accionadas desde la unidad de control (ECU), el mayor aporte que brinda este sistema de inyección de combustible se basa en que a comparación del sistema de carburador y Monopunto, gracias a su inyector indirecto, este brinda un suministro de combustible equitativo a cada uno de los cilindros del motor, con mejor precisión y dosificación de combustible [49].

1.2.3.1. Partes del sistema de inyección multipunto

El sistema de inyección multipunto a diferencia del sistema de inyección Monopunto se resalta por su número de inyectores indirectos, que están ubicados bajo el riel de combustible en la admisión del motor[50].

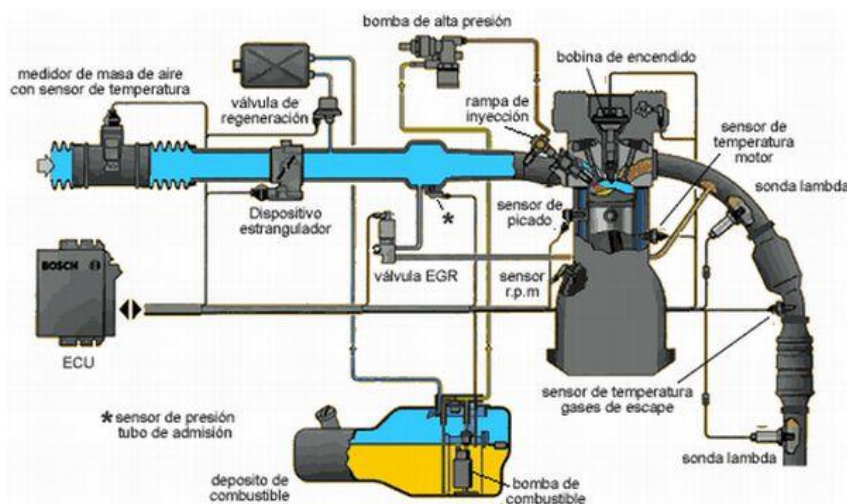


Figura 1.6 Componentes de un sistema de inyección multipunto indirecta

Fuente: [50].

1.2.3.2. Funcionamiento del sistema de inyección Multipunto

El objetivo de este sistema de inyección es hacerlo más funcional y eficiente al trabajo del motor de encendido provocado ya que los inyectores son manejados mediante una programación desde la unidad de control que envía pulsos de voltaje independientemente para cada inyector según su orden de encendido que esté presente [44].

En este sistema de inyección indirecta, el combustible ingresa en la admisión. Para esto la bomba de combustible eléctrica envía el combustible hacia los inyectores a una presión que el sistema tiene especificado. Cada cilindro contiene su propio inyector indirecto, con el fin de que inyecte el combustible de manera intermitente y eficaz en la admisión o en el ducto de admisión delante de las válvulas de admisión [50].

1.2.3.3. Dosificación de Combustible

Debido a la inyección individualizada por cilindro, el sistema multipunto puede regular mejor la cantidad de combustible suministrado a cada cilindro del motor en cargo de las necesidades específicas de carga y velocidad del motor, esto mejora la eficacia del proceso de la combustión

y reduce considerablemente el desperdicio de combustible en el motor, por ende, sus emisiones [44].

En un sistema de inyección multipunto (MPI, por sus siglas en inglés), la presión con la que se inyecta el combustible varía dependiendo del tipo de motor y de la tecnología específica utilizada, pero generalmente, la presión de inyección está en un rango de 2 a 4 bares (aproximadamente 30 a 60 psi) en la mayoría de los motores de gasolina [47].

1.2.3.4. Sistema de encendido

En este sistema de inyección, se actualizó la tecnología situando un sistema de encendido por bobina DIS, que entrega la chispa de encendido por cada dos cilindros, dependiendo el modelo de vehículo, este tipo de encendido se descarta el sistema de distribuidor, reduciendo los desgastes o averías a todo elemento móvil, en este sistema una sola bobina puede distribuir a dos cilindros específicamente; estas bobinas se componen de un arrollamiento secundario los cuales 2 extremos permanecen conectados a los 2 bornes de salida de alta tensión, por ende, la chispa de encendido se distribuye en 2 bujías a la vez[51].

En la fig.1.7 Se muestra una bobina de encendido DIS, también conocida como bobina de chispa perdida, que trabaja con un salto de chispa por cada dos cilindros.

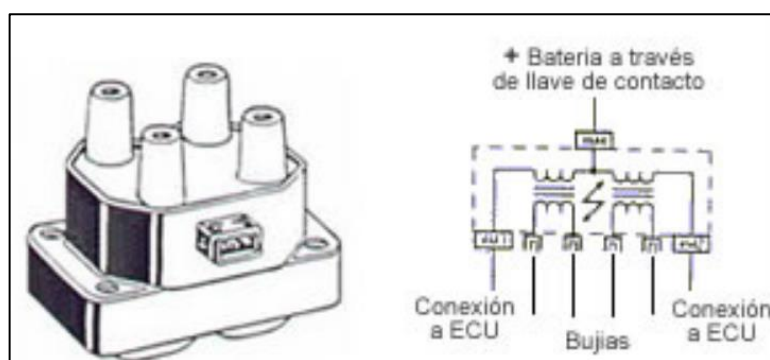


Figura 1.7 Bobina del sistema multipunto

Fuente: [50].

El sistema de encendido por bobina DIS, también conocido como "chispa perdida", optimiza el proceso de generación de chispa al eliminar componentes móviles como el distribuidor. Este sistema opera mediante una bobina compartida entre dos cilindros, donde uno de ellos recibe la

chispa durante la carrera de compresión, mientras que el otro, en la carrera de escape, no utiliza la chispa generada, lo que da origen al término "chispa perdida".

1.2.4. Inyección directa

Según [50], los sistemas de inyección directa de gasolina se distinguen por inyectar el combustible directamente en la cámara de combustión, a una presión muy diferente a la del sistema de inyección multipunto. Similar a un motor diésel, la mezcla de aire y combustible se forma dentro de la cámara de combustión.

El sistema es mucho más exacto a diferencia del sistema multipunto, ya que otorga una mayor regulación de la mezcla, por ende, del funcionamiento del motor. Por el contrario, los inyectores trabajan con una presión mayor, de 150-200 bar, con el consiguiente mayor coste y mantenimiento de los mismos inyectores [52].

Este sistema se ajusta a través de la unidad de control (ECU), y el encendido del motor se modifica según los tres modos de funcionamiento del motor: inactivo, óptimo y carga completa. Si el motor puede operar con una mezcla pobre, se reducirá el consumo de gasolina, no porque se inyecte menos combustible, que sería una cantidad similar, sino porque la mariposa estará más abierta que en condiciones normales, permitiendo la entrada de más aire. Cuanto más abierta esté la mariposa, mejor será el rendimiento del motor [53].

1.2.4.1. Partes de un sistema de inyección directa

En la fig.1.8 se muestra un diagrama del funcionamiento de un sistema de inyección directa, que a diferencia del sistema de inyección multipunto (indirecta), presenta al inyector situado dentro de la cámara de combustión, generando la mezcla aire/combustible dentro de la cámara de la cámara de combustión.

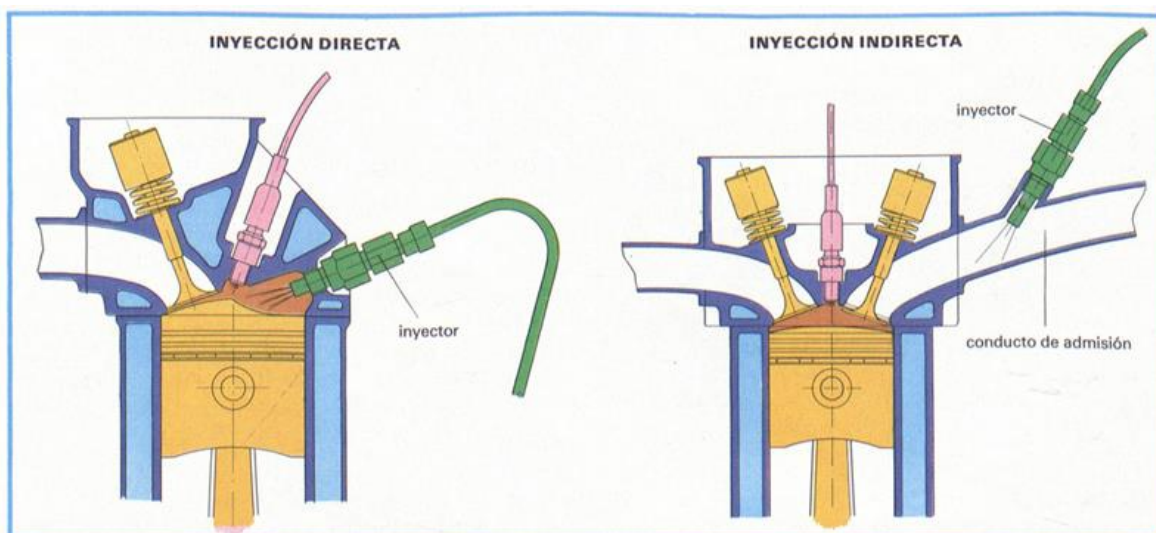


Figura 1.8 Diferencia entre sistema de inyección directa e indirecta

Fuente: [50].

1.2.4.2. Funcionamiento de un sistema de inyección directa

En un motor de inyección directa de gasolina, la mezcla de aire y combustible se forma directamente dentro del cilindro. Durante el ciclo de admisión, solo el aire de combustión pasa a través de la válvula de admisión abierta, mientras que la gasolina es inyectada por los inyectores de alta presión dentro del cilindro. La dosificación, preparación y distribución del aire/combustible se realiza de manera mucho más precisa, lo que contribuye a reducir el consumo de combustible y disminuir las emisiones de gases contaminantes [54].

Este sistema de inyección se diferencia por su tiempo de apertura de la válvula de mariposa, la cual se mantiene abierta la mayoría de tiempo de funcionamiento para ajustar el caudal que ingresa al motor para con esto controlar la mezcla aire-combustible, de la misma manera minimizar la restricción al flujo de aire permitiendo una mejor respuesta del motor y mayor rendimiento en todo el rango de revoluciones [55].

La mariposa juega un papel crucial en el control de la cantidad de aire que ingresa al motor y su cierre excesivo puede causar pérdida de eficiencia debido a la estrangulación del flujo de aire, es decir, una limitación del paso de aire hacia el motor, este sistema es más eficiente en cuanto al control de combustión, lo que permite que la válvula de mariposa se mantenga en una posición abierta durante ciertas fases del ciclo, reduciendo este efecto de estrangulación [56].

Cuenta con un circuito de combustible a alta presión, el cual es proporcionado por la bomba de alta presión que comprime el combustible hasta el nivel requerido por el riel. Este nivel puede variar entre 3000 kPa en ralentí y 17500 kPa en condiciones de máxima carga, después de que el motor se ha calentado. Los inyectores están situados en el riel de combustible que, mediante señales desde la unidad de control, dosifican y atomizan al combustible de forma extremadamente rápida y a una alta presión con el fin de permitir el paso de una mezcla más efectiva dentro de la cámara de combustión [54].

1.2.4.3. Dosificación de combustible

Según [57] La cantidad de combustible inyectado en los cilindros se dosifica exactamente al aire fresco en una relación estequiométrica de 14,7:1. En este sistema de inyección directa, el combustible es inyectado por los inyectores de alta presión durante la carrera de inducción de modo que brinde suficiente tiempo para homogeneizar toda la mezcla. Con el objetivo de resguardar el catalizador o agrandar la potencia a plena carga, el motor también se acciona con un ligero exceso de combustible.

Lo que caracteriza de este sistema, es su alta eficiencia y la sincronización que existe entre la apertura de las válvulas, la inyección del combustible y la caracterización del pistón dentro de la cámara de combustión [57].

1.2.4.4. Sistema de encendido

Según [58], a medida que la tecnología avanza, también lo hace la búsqueda de una mayor eficiencia en los motores de combustión interna. Con la bobina COP (coil on plug), se consigue una mejor combustión, lo que reduce el consumo de combustible y, como objetivo principal, disminuye considerablemente las emisiones. Este sistema fue diseñado para la gestión electrónica de la inyección directa de combustible.

Según [59] las bobinas COP mantienen las siguientes características importantes:

- Intervalo de temperatura de -40 °C a +180 °C
- Tensión de 45.000 V
- Corriente primaria de 6 a 20 A
- Energía de la chispa de 10 mJ a aproximadamente 100 mJ
- Intervalo de vibraciones hasta 55 g

- Resistencia a la gasolina, el aceite y el líquido de frenos

Este sistema fue diseñado para mejorar la eficiencia de la combustión, incrementando la energía de la chispa y prolongando su duración. Se basa en una bobina COP, que se conecta a un transistor y a un circuito de control de disparo previo. El sistema recibe la señal de la unidad de control, el contacto positivo y la masa de la carrocería/motor [58].

1.3. Evaluación de emisiones contaminantes

Las evaluaciones de emisiones contaminantes son procesos que miden la cantidad y el tipo de gases y partículas liberados por fuentes como vehículos, industrias y actividades humanas. En el caso de los automóviles, estas evaluaciones permiten determinar su impacto ambiental y verificar su cumplimiento con normativas [61].

1.3.1. Emisiones de CO

En el margen rico (con falta de aire), la emisión de monóxido de Carbono (CO) se prevé casi linealmente de la relación de aire/combustible. En el margen pobre (con exceso de aire), la emisión de Monóxido de Carbono (CO) es relativamente baja y casi independiente de la relación de aire/combustible, en el margen alrededor del punto estequiométrico con un coeficiente de aire $\lambda=1$, la emisión de Monóxido de Carbono (CO) se determina por la distribución homogénea del combustible entre los distintos cilindros del motor. [60] Si bien, algunos cilindros del motor funcionan con una mezcla rica y otros con una mezcla pobre, resulta por término promedio una emisión de Monóxido de Carbono (CO) mayor que si todos los cilindros funcionan con el mismo coeficiente de aire λ [61].

1.3.2. Emisión de HC

Al igual que la emisión de CO, la emisión de Hidrocarburos (HC) disminuye también en el margen de la mezcla rica al aumentar el coeficiente de aire. Pero en el margen de la mezcla pobre nuevamente aumenta la emisión de Hidrocarburos (HC), el valor mínimo de la emisión de Hidrocarburos (HC) esta aproximadamente con λ igual a 1,1...1,2, con mezclas muy pobres además de este efecto, se producen combustiones arrastradas hasta incluso fallos del encendido, lo cual conlleva a un aumento drástico de emisiones de Hidrocarburos (HC) [60].

1.3.3. Tipos de mediciones

Las pruebas de medición de gases se dividen en pruebas estáticas y dinámicas para vehículos a gasolina, son métodos utilizados para evaluar las emisiones contaminantes generadas por el motor. Estas pruebas se realizan para asegurar que los vehículos cumplan con las normativas ambientales y estándares de calidad del aire [62].

Tabla 1.2 Análisis de emisiones de gases prueba estática

Prueba Estática	
Características	El vehículo permanece en reposo, generalmente en neutro o estacionario, y el motor opera a una velocidad específica (ralentí o un régimen fijo).
Objetivo	Medir los gases emitidos (como monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados y óxidos de nitrógeno) en condiciones de baja demanda del motor.
Ventaja	Es simple y rápida de realizar, adecuada para evaluaciones básicas.
Limitaciones	No refleja las emisiones reales bajo condiciones de conducción
Unidades de medición	CO y CO ₂ : porcentaje (%) O ₂ : porcentaje (%) HC: partes por millón (ppm)

Fuente: [62].

Tabla 1.3 Análisis de emisiones de gases prueba dinámica

Prueba Estática Transitorio	
Características	El motor o vehículo permanece estacionario, como en una prueba estática, se introduce un ciclo transitorio que implica variaciones en la carga y velocidad del motor, simulando aceleraciones, desaceleraciones o cambios en el régimen.
Objetivo	Evaluar cómo varían las emisiones de gases durante los cambios rápidos en las condiciones de operación del motor.
Ventaja	En lugar de medir a un régimen fijo, se aplica un ciclo programado de operación, como aumentar y reducir la velocidad o carga del motor según un perfil predefinido.
Limitaciones	Aunque incluye transiciones en velocidad o carga, no simula completamente las condiciones reales de conducción (como resistencia aerodinámica, fricción del tren motriz o variaciones en pendientes y terreno).
Unidades de medición:	CO y CO ₂ : porcentaje (%) O ₂ : porcentaje (%) HC: partes por millón (ppm) NOx: partes por millón (ppm)

Fuente: [62].

En la tabla 1.4 se detalla la evaluación de pruebas estáticas refleja resultados en estado de reposo del motor, lo que aporta resultados sobre una baja demanda de carga sobre el mismo.

Tabla 1.4 Prueba dinámica de emisiones de gases

Prueba Dinámica	
Características	Se simulan condiciones de conducción en un dinamómetro, donde se reproduce la carga y velocidad de un vehículo en movimiento
Objetivo	Medir las emisiones bajo condiciones más realistas, evaluando cómo el motor responde a distintas demandas, como aceleración, desaceleración y velocidad constante.
Ventaja	Proporciona una imagen más precisa del comportamiento del vehículo en carretera.
Limitaciones	Es más compleja, requiere equipo especializado y toma más tiempo.
Unidades de medición:	Unidad de actividad: gr/km o gr/kWh

Fuente: [62].

1.3.3.1. Procedimiento para realizar mediciones dinámicas

En la tabla 1.5, se explica el procedimiento para una prueba de mediciones dinámicas, con cargas sometidas en el motor para un resultado más realista en lo que expone a contaminación de diversos gases expuestos [63].

Tabla 1.5 Proceso para la realización de una prueba de emisiones de gases dinámica

Instalación de sensores	Simulación de conducción	Registro de datos	Análisis de resultados
<p>Un analizador de gases se conecta al tubo de escape para medir las emisiones de gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x).</p> <p>En algunos casos, también se colocan sensores para medir la presión, temperatura y flujo de los gases de escape.</p>	<p>Se programa un ciclo de prueba estandarizado (por ejemplo, el ciclo FTP-75 o WLTP) que incluye diversas fases como aceleración, frenado, conducción constante y ralentí.</p> <p>El dinamómetro ajusta la resistencia para simular la carga que experimentaría el vehículo en condiciones reales de carretera.</p>	<p>Durante la prueba, el equipo de medición captura los datos de emisiones en tiempo real.</p> <p>Se analiza cómo varían las emisiones en función de las diferentes condiciones de carga y velocidad.</p>	<p>Los datos se comparan con los límites establecidos por las normativas ambientales para determinar si el vehículo cumple con los estándares.</p>

Fuente: [63].

Las pruebas dinámicas suelen seguir estándares internacionales, como los ciclos FTP-75 (usado en EE. UU.) o WLTP (aplicable en Europa y otros países), para garantizar uniformidad en los resultados [63].

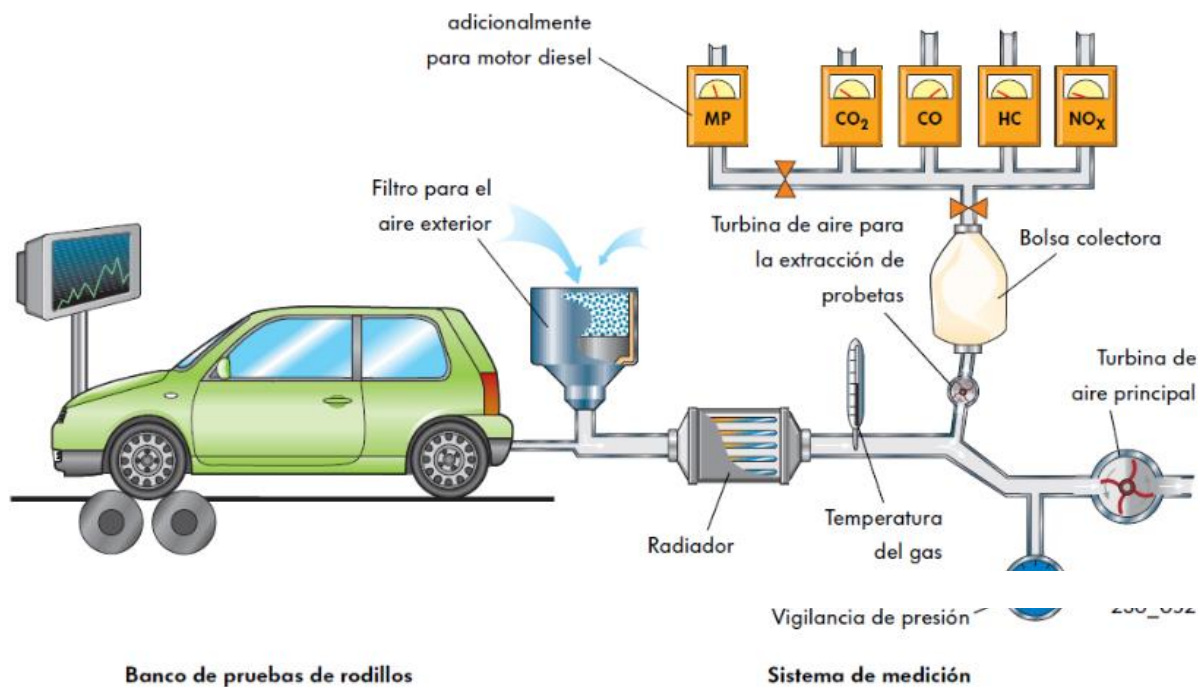


Figura 1.9 Diagrama prueba Dinámica

Fuente: [93].

En la figura 1.10 se indica el índice de contaminación de cada gas expuesto por el motor en relación a lambda mayor a 1 y lambda menor a 1, con % de medición y ppm en el caso de hidrocarburos.

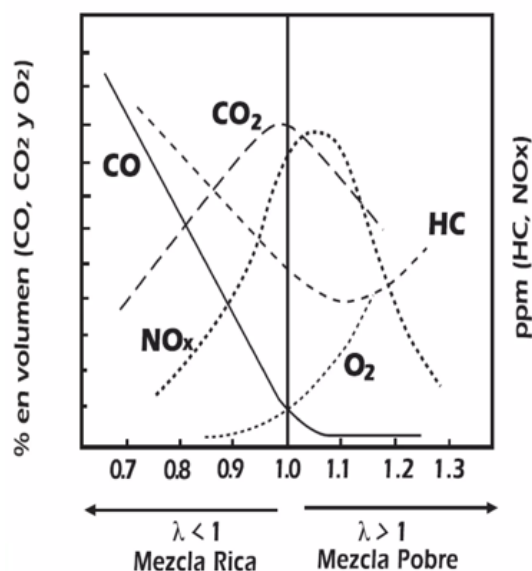


Figura 1.10 Emisiones de gases vehiculares

Fuente: [47].

1.3.4. Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) en el sector automotriz son emisiones producidas por los vehículos que favorecen el calentamiento global y el cambio climático. Estos gases retienen el calor en la atmósfera, elevando la temperatura del planeta. Los principales GEI asociados con los automóviles son el dióxido de carbono (CO₂) y los óxidos de nitrógeno. [65].

1.3.4.1. Emisión de NO_x

La dependencia de la emisión de NO_x, respecto al coeficiente del aire (lambda), es precisamente inversa. En el margen de la mezcla rica resulta un aumento con el coeficiente de aire creciente, como consecuencia de la concentración de oxígeno también creciente. En el margen de la mezcla pobre disminuye otra vez la emisión de NO_x al aumentar el coeficiente del aire, ya que un empobrecimiento creciente reduce la temperatura en la cámara de combustión [60].

Según [67] durante la combustión, las temperaturas en la cámara pueden superar los 1,400 °C. A estas temperaturas, el nitrógeno (N₂), que forma parte del aire (aproximadamente un 78%),

se combina químicamente con el oxígeno (O_2) presente en el mismo aire para formar compuestos de óxidos de nitrógeno, como el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2).

1.3.4.2. Emisiones de CO_2

El dióxido de carbono se libera a la atmósfera mediante la quema de combustibles fósiles (como carbón, gas natural y petróleo), residuos sólidos, árboles y otros materiales orgánicos, así como por algunas reacciones químicas específicas [68].

Es el principal gas emitido por los vehículos con motores de combustión interna. Se genera por la quema de combustibles fósiles como la gasolina y el diésel. La cantidad de CO_2 liberada está directamente relacionada con el consumo de combustible [65].

1.3.5. Principio de funcionamiento de un analizador de gases

El analizador de gases permite medir el contenido de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), hidrocarburos (HC) y oxígeno (O_2) en los gases provenientes de vehículos de encendido provocado, ya sea con gasolina o super, con o sin catalizador. La medición de los niveles de CO, CO_2 y HC se realiza mediante una técnica que emplea infrarrojos no dispersivos. El gas pasa a través de una cámara de medición, donde en cada extremo se encuentran tres detectores y tres emisores de infrarrojos. Cada emisor emite una longitud de onda específica, asociada a uno de los tres gases [69].

El analizador de gases de uso automotriz para pruebas estáticas, ejecuta una preinspección para vehículos que utilizan gasolina y diésel, también es un equipo manejable para su movilización, concede examinar múltiples gases provenientes del sistema de escape de cierto tipo de vehículo: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), hidrocarburos (HC), oxígenos (O_2), óxido de nitrógeno (NO_x) y lambda (λ) [61].

Equipo el cual su funcionamiento se fundamenta en el principio de absorción de radiación infrarroja no dispersa, para diagnosticar los gases en motores de encendido provocado.

1.3.5.1. Fases de preparación para acondicionar la maquina antes de la medición

Para iniciar con la medición de gases en una prueba estática se lleva a cabo una calibración del analizador de gases, que comprende las fases de auto cero y comprobación de estanqueidad de la misma [69].

1.3.5.2. Auto cero

Descontaminación automática, por la entrada de aire ambiente filtrado al sistema, para llevar los valores de HC, CO, CO₂ a cero, acorde a lo descrito en el manual [69].

1.3.5.3. Prueba de estanqueidad

La prueba de estanqueidad se encarga de medir la presión en el sistema para con esto detectar fugas. La prueba de estanqueidad se realiza generalmente después de una prueba de estabilización de la temperatura. Quiere decir que se verifica que no exista ninguna fuga en todo el sistema de medición del equipo, desde la sonda que sale del medidor de gases hasta la pinza que ingresa por el tubo de escape del vehículo a medir [69].

1.3.5.4. Análisis y medición

La calibración automática dura 50 segundos. Durante este tiempo, la bomba se activa y en la pantalla LED aparece el mensaje "CERO EN CURSO". Al finalizar este periodo, la pantalla LCD muestra "MEDICIÓN EN CURSO" y los resultados de cada medición se muestran en las pantallas. El sistema está entonces preparado para realizar una medición. Las concentraciones deben ser similares a las del aire: 0% para CO, 0 ppm vol. para los HC, y 20.9% para O₂ [69].

Meter la sonda de toma de muestra tan hondamente como este se permita en el tubo de salida de gases de escape. La profundidad mínima es de 30 cm.

1.3.5.5. Medición

- Cuando el motor alcance su temperatura adecuada de trabajo y en condición de marcha mínima, ingresar la sonda en al final del sistema de escape, garantizando que la sonda permanezca fija y no se salga durante la prueba de medición.
- Tomar un tiempo de consideración en respuesta a los resultados arrojados por el quipo.
- Imprimir los datos obtenidos del analizador de gases.
- Si, por diseño, el vehículo tiene doble sistema de escape, medir por separado cada salida. El valor del resultado final será la mayor lectura registrada [70].

1.3.6. Lambda

El factor lambda (λ) es un parámetro clave en el ámbito automotriz que mide la relación entre la cantidad de aire realmente suministrada a un motor de combustión interna y la cantidad de aire necesaria para una combustión estequiométrica perfecta[71]. Se calcula como:

$$\lambda = \frac{\text{Aire real suministrado}}{\text{Aire requerido estequiométrico}} \quad [4]$$

Según [72] la interpretación del factor lambda se describe en la tabla 1.6:

Tabla 1.6 Interpretación del factor lambda

$\lambda=1$	La mezcla aire-combustible es estequiométrica, lo que significa que hay exactamente suficiente aire para quemar todo el combustible sin excedentes ni deficiencias [66].
$\lambda>1$	La mezcla es pobre (exceso de aire). Esto ocurre cuando hay más aire del necesario para la combustión, lo que puede mejorar la eficiencia del motor y reducir ciertas emisiones como el monóxido de carbono (CO), pero aumenta las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO _x) [73]
$\lambda<1$	La mezcla es rica (exceso de combustible). En este caso, no hay suficiente aire para quemar todo el combustible, lo que puede generar más emisiones de hidrocarburos no quemados (HC) y CO, pero reduce la formación de NO _x [73].

Fuente: [72].

1.4. Normativas de emisiones vehiculares

Según [74] Las normativas de emisiones vehiculares son un conjunto de regulaciones que establecen los límites permitidos de emisiones de gases provenientes del escape de los vehículos de encendido provocado, estas normas se están volviendo cada vez más estrictas y deben ser aplicadas tanto a los vehículos en circulación como a los fabricantes de vehículos de carretera impulsados por combustibles fósiles.

Las emisiones de gases provenientes de vehículos de motor de encendido provocado se pueden controlar de manera más efectiva diseñando vehículos que tengan bajas emisiones desde el principio de su fabricación y diseño, los controles avanzados de emisiones pueden reducir las

emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono en más del 95% y las emisiones de óxidos de nitrógeno en un 80% o más en comparación con los niveles de emisiones que no son regulados, debido a que estos controles incrementan considerablemente el costo y la complejidad del diseño, varios fabricantes de los vehículos necesitan incentivos para diseñarlos y producirlos [74].

El primer país en establecer medidas para reducir la contaminación causada por los vehículos con motor de encendido provocado fue Estados Unidos, en 1963, con la implementación de la Ley del Aire Limpio (Clean Air Act, CAA). Esta ley permitió establecer estándares de control de la calidad del aire a nivel mundial. Como resultado de esta legislación, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) implementó acciones para proteger la salud humana frente a los contaminantes del aire. Los países que han jugado un papel clave en la legislación para el control de emisiones han sido Estados Unidos y la Unión Europea [75].

1.4.1. Historia del control de emisiones vehiculares

Al principio del auge de la industria automotriz, no se consideró adecuadamente el grave peligro que representan las emisiones generadas por la combustión en los motores, este problema comenzó en 1950 en California, Estados Unidos, cuando aumentó la compra de vehículos privados, y las emisiones de los automóviles se convirtieron en un factor importante de la contaminación del aire, los primeros estándares de emisiones de gases de escape para vehículos nuevos se establecieron en 1968, y a partir de entonces, los requisitos para las emisiones de los motores se volvieron más estrictos cada dos años hasta principios de los años ochenta, esta situación obligó a los fabricantes de vehículos a innovar progresivamente en sus tecnologías para la fabricación de motores de encendido provocado, con el objetivo de reducir de manera continua las emisiones de gases contaminantes [76].

1.4.2. Normativas EE.UU.

Cada país ha optado por regirse a diferentes regulaciones de emisiones de gases en el parque automotor, todas con la finalidad de regular estas emisiones para compensar la contaminación ambiental, factores de salud, entre otro [77].

Las restricciones legales más significativas en las emisiones de los gases de escape de los vehículos automotores son:

- La regulación CARB (*California Air Resources Board*, Junta de Recursos del Aire de California).
- La regulación EPA (*Environmental Protection Agency*, Agencia de Protección del Medio Ambiente) de EUA [77].

1.4.2.1. Normativa CARB

Según [64], la California Air Resources Board (CARB) es una entidad pública de Estados Unidos, ubicada en California, que forma parte de la Environmental Protection Agency de California (CAL/EPA) y fue fundada en 1967. Su misión es mantener la calidad del aire en niveles óptimos para la salud pública en todo el estado. Su objetivo es desarrollar políticas y medidas que regulen la contaminación del aire. California es el único estado que tiene permitido contar con una agencia de este tipo y establecer sus propios estándares para el control de la contaminación del aire. Otros estados pueden seguir los estándares de CARB, siempre que no sean inferiores a los establecidos a nivel federal, pero no pueden crear sus propios estándares [64].

Para su ejecución se han determinado diferentes clases de gases, en cargo de valores de emisión de NMOG (Non-Methane Organic Gases), CO, NO_x y partículas, las cuales son las siguientes:

- LEV (*Low Emission Vehicle*/Vehículo e baja emisión).
- ULEV (*Ultra Low Emission Vehicle*/Vehículo de ultra bajas emisiones).
- SULEV (*Super Ultra Low Emission Vehicle*/ Vehículo súper bajo de emisiones).
- ZEV (*Zero- Emission Vehicle*/Vehículo cero emisiones, como son vehículos eléctricos).

En la tabla 1.7, se muestra los límites permitidos por la normativa CARB, mostrado en % y ppm.

Tabla 1.7 Límites de emisiones para vehículos pasajeros

Año	HC (ppm)	CO (% vol.)	CO ₂ (% vol.)
2001 y posteriores	≤ 70	0,10 - 0,15	≥ 12,5

Fuente: [75].

1.4.2.2. Normativa EPA

La Agencia de Protección Ambiental (EPA), representante de resguardar el bienestar del pueblo y salvaguardar el medio ambiente en sus componentes, fundó el nombramiento “Bin” para la legislación de vehículos ligeros. Los términos de la normativa para vehículos de pasajeros, que describe los límites de emisiones contaminantes para vehículos ligeros que utilizan gasolina y diésel [76].

En la tabla 1.8, se presenta los límites de emisiones para vehículos de pasajeros (automóviles y motocicletas).

Tabla 1.8 Límites de emisiones para vehículos pasajeros

Año	HC (ppm)	CO (% vol.)	CO ₂ (% vol.)
2010 y posteriores	≤ 150	≤ 0,20	≥ 12,5

Fuente: [75].

1.4.3. Normativa Europea

La normativa EURO establece límites progresivamente más estrictos a las emisiones de contaminantes de los vehículos (CO, NO_x, HC, PM y CO₂) para reducir la contaminación del aire y proteger la salud pública. Desde su inicio en 1992 con EURO 1 hasta la propuesta EURO 7 para 2025, estas regulaciones han impulsado tecnologías como convertidores catalíticos, filtros de partículas y sistemas de reducción de NO_x, promoviendo vehículos más limpios y eficientes en Europa y sirviendo como referencia global para otros estándares de emisiones [78].

1.4.3.1. Límites de emisiones según la norma EURO

En la tabla 1.9 se muestra el límite máximo permisibles de emisiones de gases según la norma EURO, que si rige a base de su año de fabricación considerando al dióxido de carbono con un límite establecido.

Tabla 1.9 Límite máximo permisible de emisiones de gases según la norma EURO

Normativa	Año	HC (ppm)	CO (% vol.)	CO2 (% vol.)
EURO 3	2000 y posteriores	≤ 200	≤ 4,5	≥ 12,5
EURO 5	2009 y posteriores	≤ 150	≤ 0,8	≥ 12,5
EURO 6	2014 y posteriores	≤ 50	≤ 0,20	≥ 12,5

Fuente: [79].

Esta Legislación ha incitado la disposición de algunos manuales en los vehículos que utilizan gasolina y diésel. Como dicho caso de la Normativa EURO 1 del año 1992 que exige la instalación de catalizadores para disminuir la emisión de gases [80].

Entre 1992 y 2005, la normativa EURO evolucionó con la implementación de las EURO 2, EURO 3 y EURO 4, volviéndose progresivamente más estricta en cuanto a las emisiones vehiculares. Durante este período, se redujo el tamaño del motor para disminuir el consumo de combustible y se añadieron más marchas a las transmisiones de los vehículos para generar menos monóxido de carbono. Con la introducción de la EURO 5 en 2009, se hizo obligatorio el uso de filtros antipartículas en los vehículos diésel, los cuales capturan las partículas más sólidas en suspensión [80].

En la tabla 1.10 se muestra la cronología de las normas euro a lo largo del tiempo, desde su aparición en el año 1992 hasta su última actualización en el año 2014.

Tabla 1.10 Normas Euro a lo largo del tiempo

Norma	Mes	Año
Euro 1	Julio	1992
Euro 2	Enero	1996
Euro 3	Enero	2000
Euro 4	Enero	2005
Euro 5	Septiembre	2009
Euro 6	Septiembre	2014

Fuente: [80].

1.4.4. Normativa Asiática

En Japón los valores límites de emisiones vehiculares concretos fueron sustituidos a finales del año 2002 por valores límites más severos. Unos vehículos hasta 10 personas nueva reducción de los valores límites está programada para el 2005 [64].

Tabla 1.11 Límites máximos en la normativa japonesa

Año	HC (ppm)	CO (% vol.)	CO ₂ (% vol.)
2010 y posteriores	≤ 200	≤ 0,50	≥ 12

Fuente: [64].

En Japón se proyectan medidas para la disminución de las emisiones de dióxido de carbono de vehículos de turismo. Una propuesta prevé la fijación del consumo promedio de combustible de toda la flota de turismos a 33,5 millas/galón (14,2 km/litro) para el año 2010. En otra propuesta, este valor se orienta al peso del vehículo [81].

1.4.5. Normativas de América Latina

Son varias normativas que han sido adoptadas en diferentes países de América latina, basados en legislaciones existentes con límites ya establecidos, cada país con diferente regulación enfocados a la misma normativa adoptada. Cada país con un menor índice de exposición de gases de uso automotriz, además de diferenciarse por la calidad de combustible que cada país suministra a su parque automotor [82].

1.4.5.1. Normativa Mexicana

Según [83] En la actualidad, en México existen 3 legislaciones primordiales que instauran los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes de proveniencia automotriz. Una de ellas emplea a los vehículos que ya se encuentran en circulación (NOM-041-SEMARNAT), otra es la correspondiente a vehículos nuevos de encendido provocado (NOM-042-SEMARNAT) y por último para vehículos de motor de encendido por compresión, incluyendo lo que están en circulación [83].

La NOM-041-SEMARNAT establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes de los escapes de los vehículos en circulación que usan gasolina como combustible. Su primera versión se emitió en 2006 y la última en 2015, en la que se actualizaron los valores de las emisiones contaminantes. El objetivo de esta norma es fijar los

límites máximos de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, oxígeno y óxido de nitrógeno, así como los niveles mínimo y máximo de la combinación de monóxido y dióxido de carbono [83].

1.4.5.2. Límites máximos permisibles de emisión del método estático

En la Tabla 1.12, se muestra los límites máximo permisibles en las mediciones de pruebas de gases estáticas mediante la legislación de México, para vehículos [84].

Tabla 1.12 Valores máximos permisibles en la legislación mexicana

Año	Prueba	HC (PPM)	CO (% vol.)	O ₂ (% vol.)
1993 y posteriores	Estática	400	3	2
1993 - 2008	Estática	100	0,5	2
2008 en adelante	Estática	80	0,4	0,4

Fuente: [84].

1.4.5.3. Normativa Chilena

Esta normativa en Chile se basa en un procedimiento estandarizado por la Environmental Protection Agency (EPA) de los EE.UU. Artículo 1.- Establece la legislación sobre las emisiones de NO, HC y CO para el control de los óxidos de nitrógeno (NO_x) en vehículos de encendido provocado en uso, los cuales cumplen con las normas de emisión estipuladas en el D.S. N.º 211 de 1991 y el D.S. N.º 54 de 1994, ambos del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. El propósito de esta normativa es, en defensa del medio ambiente, regular los límites máximos permitidos de emisiones de NO, HC y CO en todos los vehículos livianos y medianos con motor de encendido provocado, con el objetivo de reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) [85].

En la tabla 1.13, se muestra los límites máximos permisibles en las mediciones de pruebas de gases estáticas mediante la legislación de Chile, para vehículos del año 1998 y anteriores.

Tabla 1.13 Valores máximos permisibles en la legislación chilena

Año	Prueba	HC (PPM)	CO (% vol.)	NOx (PPM)
1998 y anteriores	Estática	359	3,26	4591
1998 y posteriores	Estática	97	0,54	681

Fuente: [85].

1.4.5.4. Normativa Colombiana

En Colombia, existe una resolución que establece los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes para las fuentes móviles terrestres, regulando los requisitos y certificaciones a los que deben ajustarse los vehículos, ya sean importados o de fabricación nacional. Para la revisión técnica vehicular, estos límites máximos permitidos se basan obligatoriamente en la Resolución Número 910 del 5 de julio de 2008, emitida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [86].

En la tabla 1.14, se establece los límites máximos de emisión permisibles para vehículos accionados con gasolina en velocidad de cruceo y en condición de marcha mínima, ralentí o prueba estática.

Tabla 1.14 Valores máximos permisibles en la legislación colombiana

Año modelo	CO (%)	HC (ppm)
1970 y anterior	5,0	800
1971-1984	4,0	650
1985-1997	3,0	400
1998 y posterior	1,0	200

Fuente: [86].

1.4.5.5. El Salvador

La república de El Salvador se basa en la “NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA: EMISIONES ATMOSFÉRICAS FUENTES MÓVILES. NSO: 13.11.03: 01”. Esta norma es adaptable en todo el territorio nacional, en lo relativo a la prevención y control de la

contaminación atmosférica generada por las emisiones en cualquier estado de agregación de la materia, provocada por fuentes móviles [87].

En la tabla 1.15, se establece los términos máximos de emisión permisibles para vehículos que utilizan gasolina en velocidad de crucero y en ralentí bajo la prueba estática para la normativa nombrada [87].

Tabla 1.15 Valores máximos permisibles en la legislación salvadoreña

Año	HC (ppm)	CO (% vol.)	CO2 (% vol.)
1998 y anteriores	≤ 600	$\leq 4,5$	$\geq 10,5$
Superiores a 1998	≤ 125	$\leq 0,5$	$\geq 12,0$

Fuente: [87].

1.4.6. Normativa Ecuatoriana

Actualmente en Ecuador preexiste una norma que regula los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes provenientes del parque automotor, la cual es la NTE INEN 2204:2002, que se denomina como “GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHICULOS AUTOMOTORES. LIMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA”. Su primera revisión fue en el año 2002 hasta la presente fecha [88].

1.4.6.1. La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204 en cuanto a las pruebas para motores a gasolina

Cualquier vehículo con motor de encendido provocado, cuando esté en marcha mínima y a temperatura de funcionamiento adecuada, no debe emitir monóxido de carbono (CO) ni hidrocarburos (HC) en cantidades que superen los límites establecidos en la normativa.

En la tabla 1.16, se indica los valores máximos de acuerdo al año del vehículo en emisiones de gases según la normativa [88].

Tabla 1.16 Valores máximos permisibles en la legislación ecuatoriana

Año modelo	%CO 0-1500	%CO 1500-3000	ppm HC 0-1500	ppm HC 1500-300
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1000	1200

Fuente: [85].

1.4.6.2. Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE-IEN 017:2008

El Reglamento 017 de Ecuador establece las normativas para el control de emisiones vehiculares con el objetivo de reducir la contaminación ambiental y garantizar un aire más limpio en el país. Este reglamento regula los límites permisibles de emisiones para vehículos que circulan en el territorio ecuatoriano, tanto para automóviles livianos como para vehículos pesados, de acuerdo con sus características y tecnologías [89].

1.4.6.3. Categoría de vehículos M1

Vehículos motorizados con capacidad no mayor a ocho plazas, sin contar el asiento del conductor. La categoría M1 de la normativa NTE INEN 2656, establece a vehículos a vehículos diseñados y construidos principalmente para el transporte de personas, este tipo de vehículos incluye automóviles, SUV, y algunos tipos de vans o minibuses pequeños.

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En base a la investigación bibliográfica se estableció múltiples variables para compararlas entre sí, con la finalidad de diferenciar su eficiencia, consumo y reducción en emisiones de gases de los diferentes sistemas de inyección.

En la figura 2.1 se analiza el proceso a realizar con 7 fases independientes con la finalidad desglosar sus variables para demostrar y cumplir con los objetivos planteados.

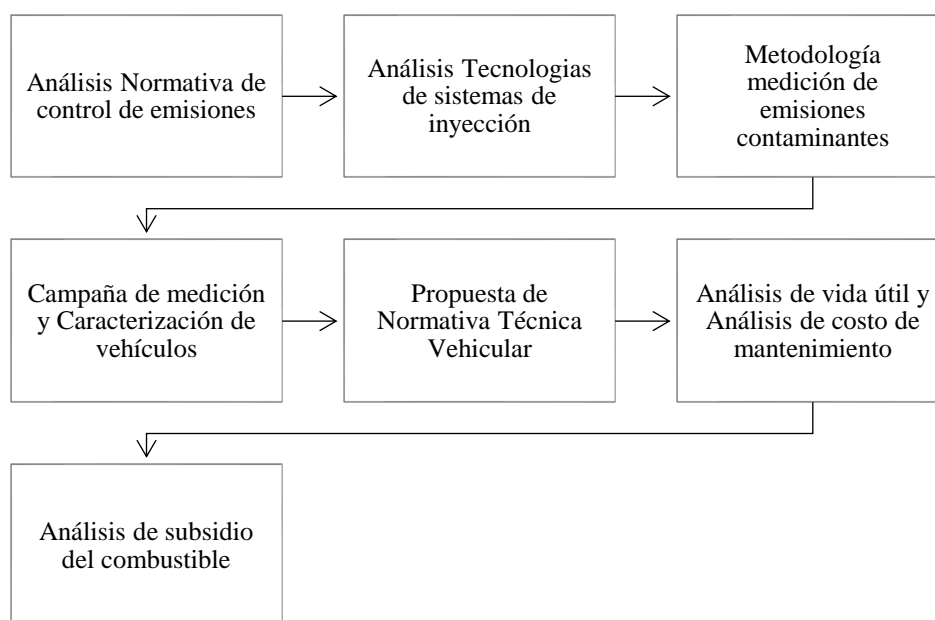


Figura 2.1 Proceso de investigación.

2.1. Análisis de la Normativa

En la tabla 2.1, se indica los límites permitidos de acuerdo a las diferentes normativas de emisiones de gases analizadas, cada una mantiene límites diferentes, la California Air Resources Board (CARB) y la Environmental Protection Agency (EPA) son dos entidades clave en la regulación de emisiones contaminantes en Estados Unidos.

2.1.1. Normativas Estadounidenses

Tabla 2.1 Normativa CARB.

CARB	HC (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)	NO _x (ppm)	Tipo	Vigencia
	≤ 70	0,10 - 0,15	≥ 12,5	≤ 300	Estático Transitorio	2000-2018
EPA	HC (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)	NO _x (ppm)	Tipo	Vigencia
	≤ 150	≤ 0,20	≥ 12,5	≤ 380	Estático Transitorio	2000-2013

Se evidenció en la tabla 2.1, que la normativa CARB presenta valores límite más estrictos que en la normativa EPA, debido a que su enfoque está diseñado para abordar los problemas únicos de contaminación del aire en California, que históricamente ha enfrentado desafíos graves debido a su geografía, alta densidad poblacional y gran cantidad de vehículos.

La normativa de emisiones de la Junta de Recursos del Aire de California (CARB) es conocida por ser más estricta que las regulaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). CARB establece estándares más rigurosos para reducir las emisiones de gases contaminantes, incluyendo límites más bajos para óxidos de nitrógeno (NO_x).

2.1.2. Normativas EURO

Esta norma presenta actualizaciones más frecuentes entre sus lanzamientos, debido a que mantiene una relación con la innovación tecnológica de los vehículos, lo que lleva a ser una normativa más exigente con el paso de los años, priorizando así la disminución progresiva en la contaminación ambiental.

Tabla 2.2 Normativa Europea

	HC (ppm)	CO (%)	CO₂ (%)	Tipo	Vigencia
EURO 3	≤ 200	≤ 4,5	≥ 12,5	Estático Transitorio	< 2000
EURO 5	≤ 150	≤ 0,80	≥ 12,5	Estático Transitorio	2000 - 2009
EURO 6	≤ 50	≤ 0,20	≥ 12,5	Estático Transitorio	2000-2014

Las normativas de emisiones EURO 3, EURO 4 y EURO 5 representan niveles progresivamente más estrictos en la regulación de gases contaminantes emitidos por vehículos en Europa. EURO 3, implementada en 2000, introdujo límites básicos para partículas e hidrocarburos. EURO 4, en vigor desde 2005, redujo considerablemente estos límites, exigiendo tecnologías más avanzadas como filtros de partículas. Finalmente, EURO 5, implementada en 2009, endureció aún más las restricciones, especialmente en partículas, obligando a los fabricantes a adoptar sistemas de filtrado más eficientes y mejorar la tecnología de los motores. Estas normativas reflejan un compromiso creciente con la reducción de la contaminación y la mejora de la calidad del aire.

2.1.3. Normativa Asiática

Esta normativa presenta valores límites más rigurosos, que se muestran en la tabla 2.3, debido a que en el país su parque automotor presenta mejores tecnologías en sus vehículos, priorizando así el menor consumo de combustible y, por ende, una menor emanación de gases contaminantes al ambiente.

Tabla 2.3 Normativa Japonesa

	HC (ppm)	CO (%)	CO₂ (%)	Tipo	Vigencia
Japón	≤ 150	≤ 0,50	≥ 12,5	Estático Transitorio	2000-2017

Las normativas de emisiones en Japón, conocidas como los estándares "Post Nuevos Términos", han evolucionado para establecer límites cada vez más estrictos sobre los contaminantes emitidos por los vehículos. En 2000, se introdujeron regulaciones que limitaron las emisiones de partículas e hidrocarburos para fomentar tecnologías más limpias.

Posteriormente, en 2005 y 2009, se endurecieron estos estándares, exigiendo mejoras significativas en los sistemas de filtrado de partículas y eficiencia de los motores. Japón, conocido por su enfoque proactivo en sostenibilidad, ha utilizado estas normativas para reducir la contaminación urbana y avanzar hacia una movilidad más ecológica.

2.1.4. Normativas Latinoamericanas

Estas normativas fueron actualizadas independientemente de cada país, con la finalidad de someter al parque automotor a permanecer con un bajo índice de contaminación, lo que evidencio que cada país considera de diferente manera su análisis en medición de gases.

En México se reformo 3 normativas actualmente, cada una más rigurosa acorde a su actualización, con la finalidad de mantener los índices de contaminación por debajo de los límites, estas normativas se mantienen bajo pruebas estáticas, considerando al CO₂ en la normativa, sin tomar en cuenta al oxígeno en sus mediciones.

Tabla 2.4 Normativas Mexicanas

	HC (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)	Tipo	Vigencia
NOM-042-SEMARNAT-2003	≤ 400	≤ 3	≥ 12	Estático Transitorio	< 1993
NOM-167-SEMARNAT-2017	≤ 100	≤ 0,5	≥ 12	Estático Transitorio	1993 – 2008
NOM-044-SEMARNAT-2017	≤ 80	≤ 0,4	≥ 12	Estático Transitorio	2008 - 2021

En Chile se evidencio la medición de NO_x en sus pruebas, considerando a este país como el más riguroso de la región, esto debido a que el combustible del país presenta un mejor nivel de octanaje, lo que favorece al parque automotor mantenerse por debajo de los límites establecidos por la normativa como se registró en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Normativa Chilena

Chile	HC (ppm)	CO (%)	NOx (%)	Tipo	Vigencia
(NCh 3280/2) – 2011	≤ 359	≤ 3,96	≤ 499	Estático Transitorio	< 1998
Norma de Calidad del Aire (NCh 382/1) – 2015	≤ 97	≤ 0,54	≥ 399	Estático Transitorio	1998 - 2016

En el país vecino de Colombia, difiere en bajo porcentaje a la normativa ecuatoriana, manteniendo pruebas de gases en estado transitorio, previo a su última actualización en el decreto 1076 del 2015 que se muestra en la tabla 2.6, que ofreció valores mucho más rigurosos para el parque automotor, siendo así un país que busca disminuir considerablemente la contaminación ambiental.

Tabla 2.6 Normativa Colombiana

Colombia				
	HC (ppm)	CO (%)	Tipo	Vigencia
Decreto 1791 de 2007	≤ 800	≤ 5,0	Estático Transitorio	< 1970
Norma Técnica Colombiana NTC 5360	≤ 650	≤ 4,0	Estático Transitorio	1971-1984
Resolución 910 de 2008	≤ 400	≤ 3,0	Estático Transitorio	1985-2008
Decreto 1076 de 2015	≤ 200	≤ 1,0	Estático Transitorio	2008 - 2015

En el país de El Salvador, se mantienen por debajo del decreto N.40 como especifica la tabla 2.7, que, a pesar de no mantener bastantes actualizaciones, se evidencio un límite bastante riguroso para el parque automotor de dicho país.

Tabla 2.7 Normativa de El Salvador

El Salvador	HC (ppm)	CO (%)	Tipo	Vigencia
Decreto N.40	≤ 600	≤ 4,5	Estático Transitorio	< 1998
	≤ 125	≤ 0,5	Estático Transitorio	1998 - 2016

La evolución de las normativas de emisiones en Latinoamérica ha sido heterogénea, reflejando las prioridades ambientales y capacidades económicas de cada país. México ha adoptado estándares más estrictos, como equivalentes a EURO 5, impulsados por su relación con mercados como el de Estados Unidos. Colombia y Chile han avanzado hacia regulaciones EURO 4 y EURO 5, promovidas por preocupaciones ambientales y programas de modernización vehicular. En contraste, El Salvador se encuentra en etapas iniciales, con normativas menos estrictas y basadas en estándares anteriores, debido a limitaciones en infraestructura y tecnología. Esta disparidad evidencia el reto regional de armonizar políticas ambientales frente a contextos diversos.

Finalmente se obtuvo la tabla 2.8 la cual indica los valores máximos que ofrece la normativa ecuatoriana, que se mantiene por muy debajo en relación a normativas internacionales, mediante pruebas de gases de tipo estático transitorio, Ecuador es uno de los países con un límite bastante amplio en el parque automotor.

Tabla 2.8 Normativa Ecuatoriana

Ecuador					
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204:2017	HC (ppm)	CO (%)	O ₂ (%)	Tipo	Vigencia
	≤ 1200	≤ 5,5	≤ 6.9	Estático Transitorio	< 1989
	≤ 750	≤ 3,5	≥ 5.9	Estático Transitorio	1990 - 1999
	≤ 200	≤ 1,0	≥ 1.9	Estático Transitorio	>2000

En Ecuador, la normativa de emisiones vehiculares ha evolucionado significativamente con la implementación de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2203:2013. Este estándar adoptó regulaciones equivalentes a EURO 3, marcando un avance en la reducción de emisiones de hidrocarburos y partículas para mejorar la calidad del aire. Sin embargo, la

transición hacia estándares más estrictos enfrenta desafíos, como la necesidad de mejorar la infraestructura de combustibles y la regulación en el cumplimiento de estas normativas.

2.1.5. Evolución de la Normativa Ecuatoriana

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 2204 ha experimentado varias actualizaciones desde su implementación inicial. A continuación, se detallan las fechas clave de sus revisiones:

1. Primera Revisión (2002):

- Fecha de oficialización: septiembre de 2002.
- Carácter: Obligatorio.
- Descripción: Esta versión estableció los límites permitidos de emisiones de contaminantes para vehículos automotores que emplean gasolina.

2. Cambio de Carácter (2010):

- Fecha de resolución: 5 de marzo de 2010.
- Publicación en Registro Oficial: 17 de marzo de 2010.

3. Segunda Revisión (2017):

- Fecha de resolución: 30 de diciembre de 2016.
- Publicación en Registro Oficial: 10 de enero de 2017.
- Carácter: Voluntario.
- En enero de 2017, se oficializó la segunda revisión de la norma, incorporando actualizaciones significativas. Esta versión introdujo pruebas dinámicas, como los ciclos ECE + EUDC y FTP-75, para evaluar las emisiones de los vehículos de manera más precisa. Además, se ajustaron los límites máximos permitidos de CO y HC, y se incluyeron definiciones más detalladas sobre categorías de vehículos y procedimientos de prueba.

2.2. Análisis de Tecnologías

En la tabla 2.9 se muestra un análisis de los diferentes tipos de tecnologías, con diferentes parámetros en su función a su trabajo, considerando las nuevas actualizaciones entre los sistemas de inyección presentes en el parque automotor.

Tabla 2.9 Actualización de tecnología de los diferentes sistemas de inyección

Categoría	Sistema de encendido	Presión de trabajo	Medición de aire	Control de Ralentí	Sensores Adicionales	Actuadores	Control de emisiones	Control de inyección	Año
Carburador	Distribuidor con bobina	1.5 – 2 bares	- Válvulas de vacío (Venturi)	- Compensación por vacío - Tornillo de ajuste	- ECT - Sensor de vacío	- Choque Mecánico - Bobina Convencional	- Choque automático - Avance por vacío - EVAP	Mecánico	>1990
	Tensión primaria: 12 V								
	Tensión secundaria: 15.000 V								
Monopunto	Distribuidor con bobina Dis	2 – 3 bares	- MAP - IAT	- IAC	TPS ECT IAT EGO MAP CKP	- IAC - Inyector monopunto Bobina con distribuidor	- EGR - EGO - EVAP Catalizador de una vía	ECU	1990 – 2003
	Tensión Primaria: 12 V								
	Tensión Secundaria: 20.000 y 30.000 v								

Multipunto	COP-DIS	2 – 4 bares	- MAP - MAF - IAT	- IAC - TPS	TPS	- IAC - Inyectores - Bobina Dis	- EGO - EGR - TWC - EVAP - EGT	ECU	1999- 2015
	Tensión Primaria: 12 V				ECT IAT EGO MAP CKP CMP KS VSS MAF APP				
	Tensión Secundaria: 40.000 y 70.000 V								
Directa	COP	150 – 200 bares	- MAP - MAF - IAT	- TPS IAC Electrónica	TPS	Inyectores de alta presión Bobina COP - IAC - ETC	Catalizador de 3 vías EGR de alta presión - EGO - HEGO	ECU	2015- 2023
	Tensión Primaria: 12 V				ECT IAT EGO HEGO MAP CKP CMP KS VSS MAF FPS APP CPS				
	Tensión Secundaria: 30.000 y 60.000 V	Presión de bomba de alta:							

La evolución de los sistemas de inyección de combustible, desde el carburador hasta la inyección directa, ha estado marcada por avances tecnológicos orientados a mejorar el rendimiento y reducir las emisiones contaminantes. El carburador, de funcionamiento mecánico, ofrecía una mezcla aire-combustible básica, pero generaba altos niveles de contaminación y consumo. Con el inyector monopunto, la mezcla pasó a ser controlada electrónicamente, mejorando la eficiencia, aunque con limitaciones en la distribución uniforme. El sistema multipunto incorporó un inyector por cilindro, permitiendo un control más preciso y menores emisiones. Finalmente, la inyección directa, que introduce el combustible directamente en la cámara de combustión, optimizó la mezcla, redujo el consumo y disminuyó significativamente las emisiones. Además, los avances técnicos han añadido sensores de oxígeno.

2.3. Campaña y Caracterización de Vehículos

Según [91] Para calcular una muestra estadísticamente representativa con un nivel de confianza del 90%, necesitamos tres datos clave:

- **Tamaño de la población (N):** Número total de vehículos registrados en el SRI (Servicio de Rentas Internas de Ecuador), sobre vehículos a gasolina matriculados en la ciudad de Ibarra.
- **Margen de error (E):** Tolerancia deseada, expresada como un porcentaje (10%)
- **Proporción estimada (p):** Proporción esperada de vehículos que cumplen ciertas características. Por defecto, se utiliza $p=0.5$ para maximizar el tamaño de la muestra.

$$n = \frac{Z^2 \times p \times (1 - p)}{E^2} \quad [5]$$

En base al número de vehículos matriculados en la ciudad de Ibarra el año 2023 tomaremos a $N = 28.932$ [92]

Con un nivel de confianza del 90% y un margen de error del 5%, el tamaño de muestra necesario es: 165 vehículos

2.3.1. Datos recolectados en pruebas de mediciones

En base a una serie de prueba de mediciones de gases de modelo estático se realizó una base de datos de las 4 categorías establecidas cada una derivándose en los 3 gases analizados (HC, CO, O₂) y presentes en la norma de emisiones de gases vehiculares.

2.4. Metodología de Medición

Para la medición de emisiones de gases se realizará de acuerdo a norma NTE INEN 2349 con los límites establecidos en la misma.

2.4.1. Herramientas y equipos de medición de gases en pruebas estáticas

Para la obtención de datos en las pruebas de diferentes sistemas de inyección, se utilizó un analizador de gases modelo CAP3201 que posee una pantalla LCD, un teclado de 5 teclas, una impresora y un módulo de análisis de gas para vehículos a gasolina.

En la Fig. 2.2 se muestra el equipo analizador de gases modelo CAP 3201, marca CAPELEC, el cual será utilizado para la obtención de datos de la campaña de recolección.



Figura. 2.2 Analizador de gases para pruebas estáticas.

2.5. Diagrama de Flujo

En la figura 2.3 se indica el seguimiento a realizar para el proceso de medición, manteniéndose dentro de la normativa establecida, incluyendo el reglamento y sus lineamientos para condicionar a los vehículos aptos para la prueba.

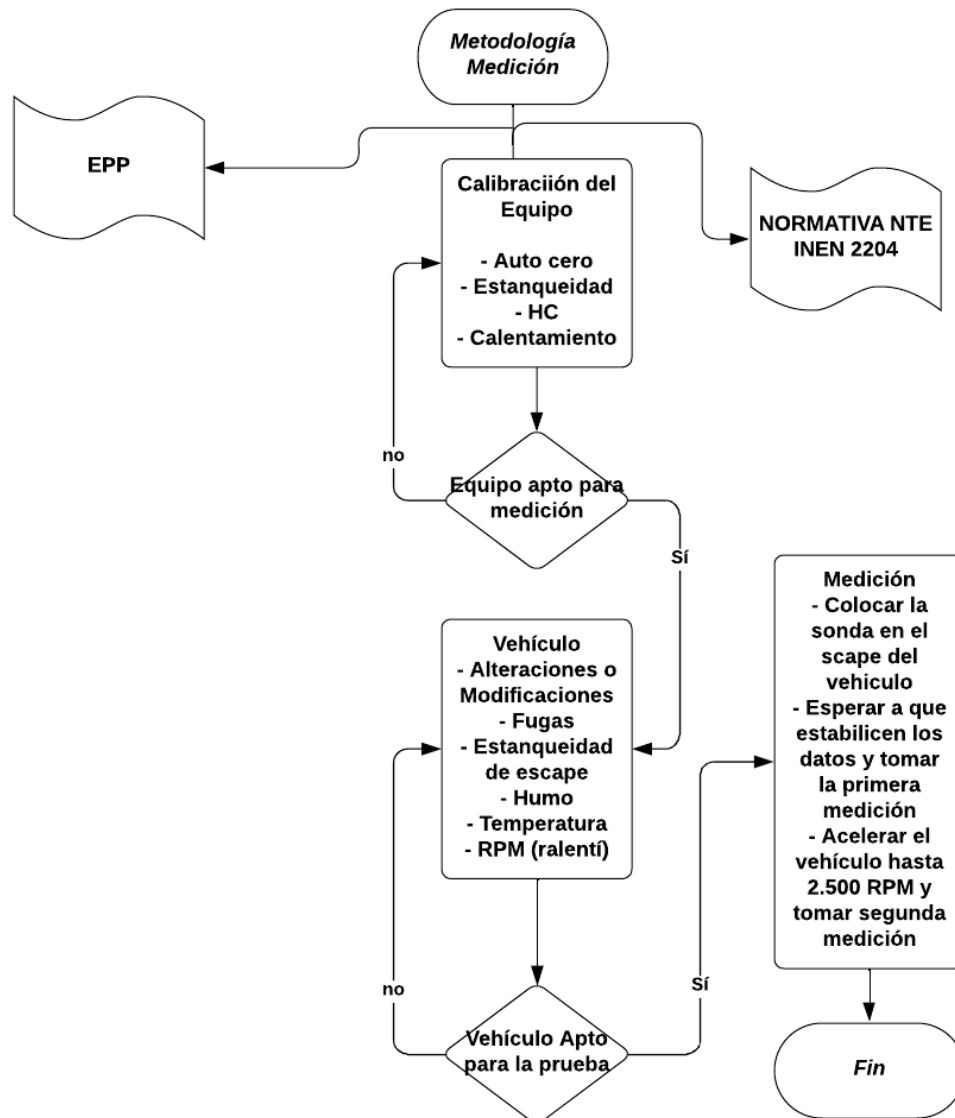


Figura 2.3 Diagrama de flujo.

2.6. Propuesta Normativa

Se propondrá una actualización de la normativa vigente tomando como base la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2847 Norma de normas. Principios de Normalización, que ofrecen lineamientos técnicos y criterios fundamentales para garantizar la calidad y uniformidad en su aplicación. Esta propuesta busca fortalecer el marco normativo actual, alineándolo con estándares reconocidos, para optimizar los procesos relacionados y asegurar un cumplimiento más efectivo de los objetivos planteados.

2.7. Análisis Vida Útil y Análisis de Costo de Mantenimiento

El análisis de vida útil de un vehículo pequeño considera factores como su bajo costo inicial, eficiencia en combustible y costos de mantenimiento reducidos, que lo convierten en una opción económica y práctica para propietarios. Durante su vida operativa, usualmente de 10 a 12 años, estos vehículos experimentan una depreciación moderada, reteniendo entre el 25% y 30% de su valor original al final de este periodo. Su diseño compacto y motor eficiente los hacen ideales para entornos urbanos, con menores emisiones y gastos operativos, lo que asegura una relación costo-beneficio favorable para los usuarios.

Para este estudio analizaremos la vida útil de un vehículo sedan perteneciente a la categoría, enfocados en su costo de mantenimientos, reparación y consumo de combustible.

2.7.1. Costos de Mantenimiento y Consumo de Combustible

Se tomó como objeto de estudio a un vehículo con alto índice comercial con un cilindraje promedio a comparación de diferentes vehículos que conforman el parque automotor dentro del campo de estudio.

Para calcular los costos de mantenimiento y combustible de un vehículo, primero se deben identificar todos los gastos asociados. En cuanto al mantenimiento, es necesario considerar tanto los costos periódicos como los ocasionales. Los costos periódicos incluyen servicios regulares como cambios de aceite, filtros y revisiones programadas, mientras que los ocasionales abarcan reparaciones imprevistas o la sustitución de componentes como neumáticos y baterías. Una vez identificados, estos costos se deben sumar según su frecuencia para obtener el costo anual de mantenimiento.

2.7.1.1. Costo total de Propiedad (TCO)

El **TCO** incluye todos los costos asociados con la vida útil del vehículo, como adquisición, operación, mantenimiento, consumo de combustible, reparación, otros gastos de por medio como matriculación, seguro, peajes y eliminación como chatarrización:

$$TCO = C_{Inicial} + \sum_{t=1}^n (C_{comb} + C_{mant} + C_{rep} + C_{otros}) - C_{eliminación} \quad [6]$$

Donde:

- $C_{inicial}$: Costo inicial del vehículo.
- C_{comb} : Costo del combustible por año.
- C_{mant} : Costo de mantenimiento por año.
- C_{rep} : Costo de reparación.
- C_{otros} : Costos de matriculación, peajes, seguro.
- $C_{eliminación}$: Costo o ingreso residual al final de la vida útil.
- n : Vida útil del vehículo en años.

2.7.1.2. Consumo de Combustible

Para el cálculo de consumo de combustible se optó por utilizar las variables de la distancia anual recorrida del vehículo producto con el consumo de combustible del mismo.

$$C_{combustible\ total} = distancia\ anual \times C_{combustible} \times n \quad [7]$$

- distancia anual: kilómetros recorridos por año.
- $C_{combustible}$: Consumo de combustible (L/100 km o equivalente).

2.7.1.3. Costo por kilómetro

El costo por kilómetro permite evaluar la eficiencia económica:

$$C_{km} = \frac{TCO}{\text{distancia total recorrida}} \quad [8]$$

- distancia total recorrida= distancia anual x n

También existen los gastos indirectos, que se refiere a las emisiones por kilómetro, que infiere a la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) que es el principal gas emitido por los motores de combustión interna y puede calcularse a partir del consumo de combustible:

$$CO_2(kg) = \text{Consumo de combustible (litros)} \times \text{Factor de emisión de } CO_2 \left(\frac{kg}{litro} \right) \quad [9]$$

2.8. Análisis subsidio del combustible

Para el análisis de subsidio de combustible se registró una base de datos bibliográfica de diferentes vehículos con su consumo de combustible, frente a la tecnología empleada de cada uno de los grupos, en vehículos de combustión interna y vehículos híbridos, también se consideró 6 variables significativas que permitió un criterio más asertivo frente al subsidio de combustible-

2.8.1. Vehículos analizados

Para el estudio sobre el subsidio de combustible, se seleccionó un grupo de vehículos clasificados en 5 categorías de diferente cilindraje, tomando como característica de cada categoría a los vehículos más vendidos y representativos del país, con la finalidad de comparar su consumo de combustible frente a la tecnología empleada en cada grupo.

En este caso particular se optó por estudiar los diferentes sistemas híbridos y clasificarlos acorde a su cilindraje, exponiendo su consumo de combustible y tipo de hibridación con la finalidad de resaltar sus diferencias.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Normativa vs Tecnología

La comparación entre las normativas internacionales de emisiones de gases y el avance de la tecnología en el parque automotor permitió evaluar cómo las regulaciones impulsaron la innovación y la sostenibilidad en la industria automotriz. Por otro lado, el avance tecnológico en los vehículos respondió directamente a estas exigencias. Innovaciones como motores más eficientes, sistemas de control de emisiones, y el desarrollo de vehículos híbridos y eléctricos surgieron como resultado de la presión regulatoria y de la creciente demanda por soluciones más limpias. Este análisis permitió identificar cómo las normativas incentivaron la adopción de tecnologías avanzadas, pero también señaló brechas o limitaciones en su implementación.

En la fig. 3.1 se demuestra la evolución de la tecnología versus la evolución de la normativa en diferentes países.

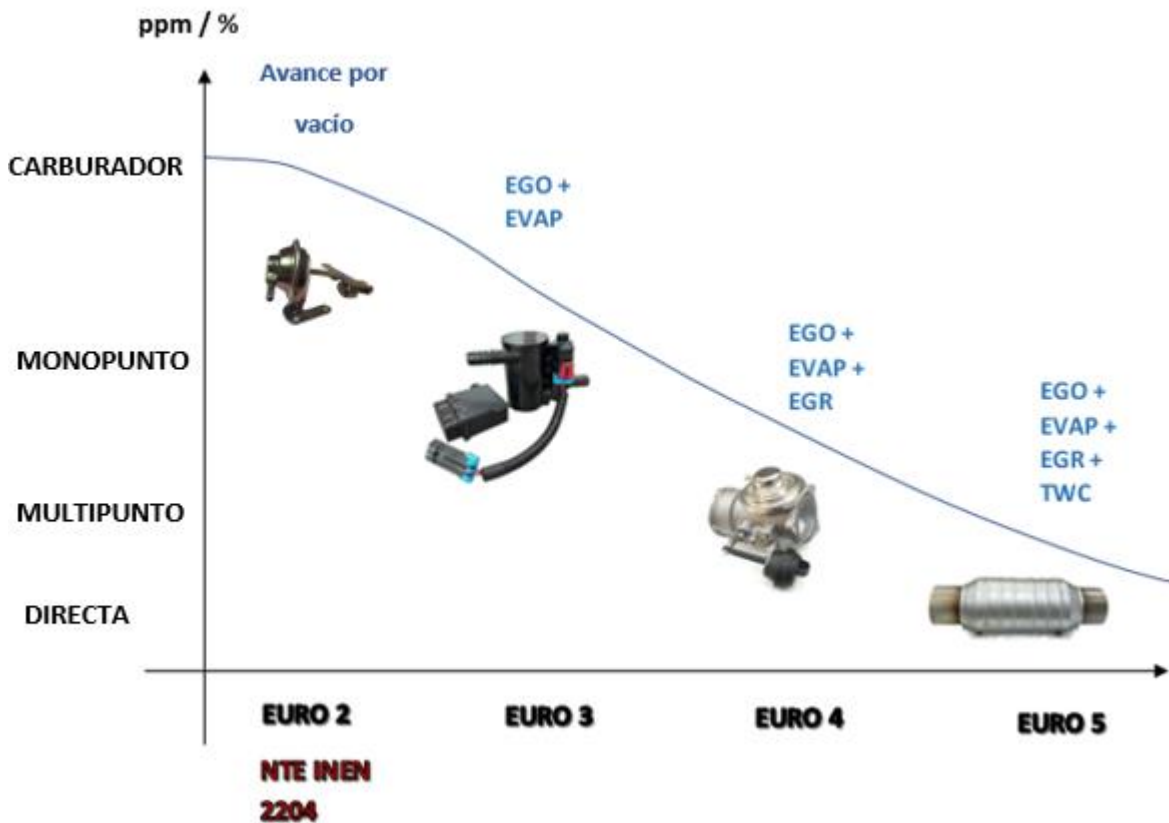


Figura 3.1 Tecnología vs Normativa

3.2. Campaña Experimental

En base a las muestras obtenidas de un parque automotor de 170 vehículos, se estableció un margen de aceptación sobre las emisiones de gases de diferente sistema de inyección, lo que refleja un alto desempeño por parte del parque automotor y su contaminación ambiental.

Para el análisis comparativo de los gases expuestos por los diferentes sistemas de inyección se tomaron en cuenta la exposición de cada gas respectivamente con su sistema de inyección empleado, bajo los límites establecidos según la normativa de emisiones de gases.

3.2.1. Vehículos con tecnología a Carburador

Este estudio se clasificó en dos diferentes grupos, en cilindraje y en años de vehículos, con la finalidad de denotar su variación en las emisiones expuestas, de las diferentes categorías de vehículos, como su sistema de inyección y modelo de vehículo.

3.2.1.1. Hidrocarburos en Sistemas a Carburador (cilindrada vs año)

En la fig. 3.2 A. se denotó el incremento de emisiones de hidrocarburos conforme el cilindraje del vehículo es mayor, debido a su mayor capacidad volumétrica, por ende, su mayor emanación de contaminantes, lo que refleja un punto máximo de 897 ppm de hidrocarburos, mientras tanto, en la fig. 3.2 B, su reacción disminuye conforme el modelo del vehículo aumenta, esto debido a que, vehículos más nuevos acorde a su categoría, presentan mejoras en su sistema, específicamente en sistemas post combustión, lo que genera una disminución con un punto más bajo de 82 ppm de hidrocarburos.

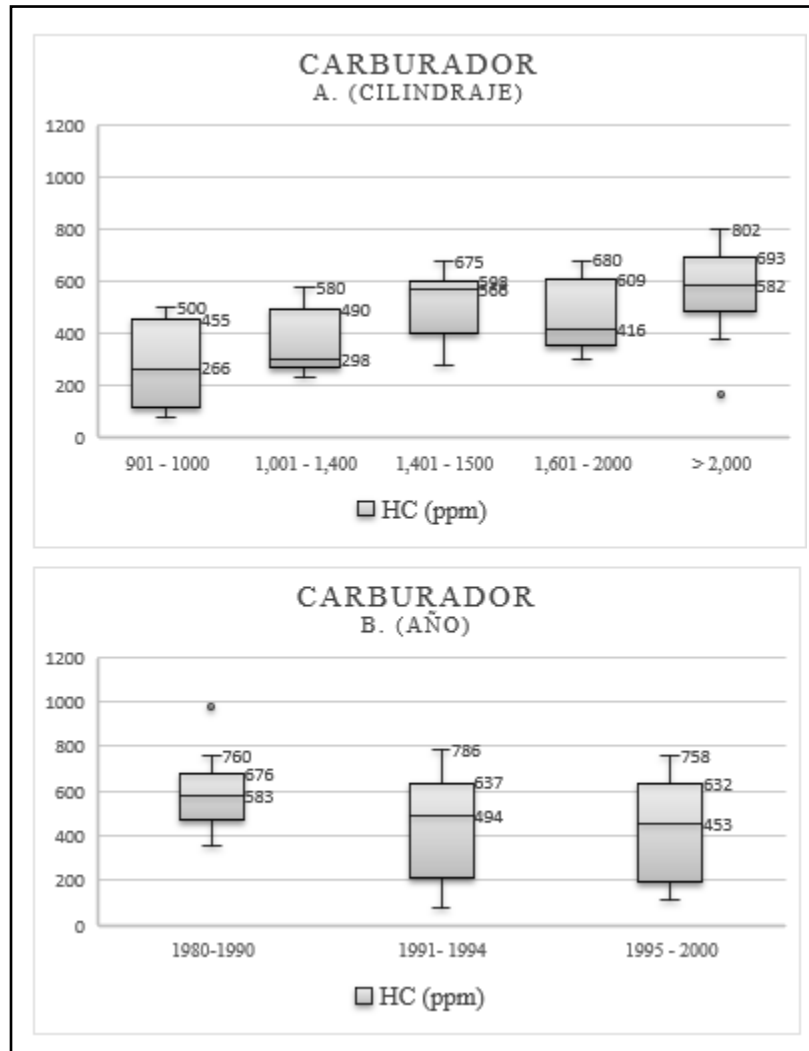


Figura 3.2 Cilindraje vs año tecnología a carburador en hidrocarburos

En la fig. 3.2 A, se denotó el aumento progresivo entre las categorías, el extremo superior entre el grupo 2 3 y 4 mantienen una diferencia de apenas el 15%, mientras que, en el extremo superior del grupo 1 y 5, se denota la diferencia del 79%, esta abrupta diferencia se explica en la capacidad volumétrica de los motores de estos vehículos, no obstante, el extremo superior de 897 ppm del grupo 5, se debe a que en función de lo analizado en la campaña experimental el vehículo no mantuvo un mantenimiento adecuado, lo que refleja una mayor emanación de contaminantes. En el extremo inferior de los grupos existe un aumento progresivo del 23%, que, aunque se mantienen por debajo del límite establecido, se

consideran valores adecuados para el tipo de tecnología analizada, en la mediana del grupo se obtuvo un valor de 425 ppm de hidrocarburos, lo que resulto bastante alentador para la tecnología que emplean dichos vehículos, finalmente en el cuartil superior se obtuvo un valor máximo de 692 ppm, lo que sirvió como sustento y punto de partida para la propuesta a la normativa de emisiones de gases vehiculares, y un valor mínimo de 455 ppm de vehículos con bajo cilindraje.

En la fig.3.2 B, tiende a una disminución progresiva del 4% entre grupos, lo que corresponde a vehículos que presentan una mejor tecnología entre su categoría, con un extremo superior de 786 ppm en el grupo 2, con la particularidad que en el grupo 1, cierto vehículo arrojo un resultado de 980 ppm de hidrocarburos, que se explica a un vehículo con escaso mantenimiento, por ende, una mayor contaminación, en el extremo inferior se denota en el grupo 2 con un valor máximo de 82 ppm, que resulta un valor aceptable para la tecnología que emplean estos motores, en la mediana del grupo se obtuvo un valor de 509 ppm, y finalmente en el cuartil superior se obtuvo un valor máximo de 675 ppm, correspondiente al grupo 1.

3.2.1.2. Monóxido de Carbono en Sistemas a Carburador (cilindrada vs año)

En la fig. 3.3 A, se denotó una disminución entre el grupo 1 y 2, debido a que los vehículos del grupo 2, reflejaron mejores condiciones de mantenimiento, por ende, una menor emanación de gases, al igual que en el grupo 3 4 y 5, existió una pequeña disminución entre grupos, debido a que los vehículos expuestos a la prueba no difieren en gran parte su sistema post combustión. Mientras que en la fig. 3.3 B, se denota una disminución progresiva entre grupos, que se responde a vehículos de menor antigüedad con un alto kilometraje.

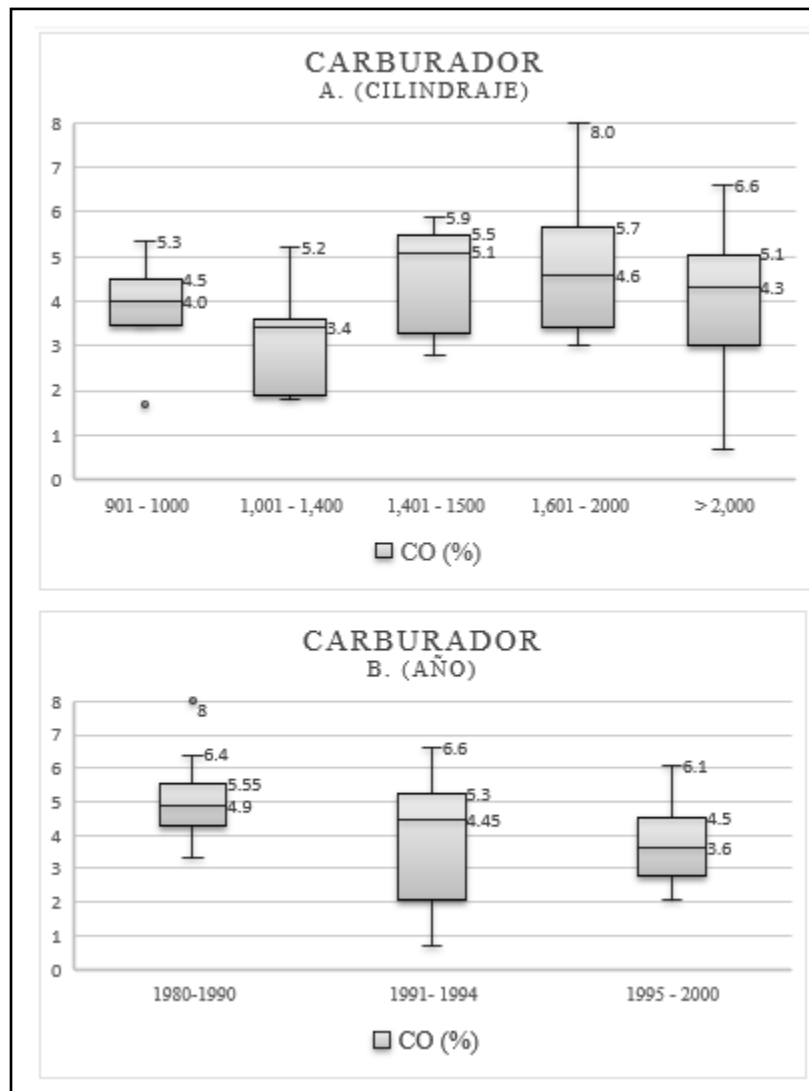


Figura 3.3 Cilindraje vs año tecnología a carburador en monóxido de carbono.

En la fig. 3.3 A, se denotó la particularidad del grupo 2 que arrojó resultados favorecedores a comparación de los otros grupos, con un punto máximo de 5,2 % de monóxido de carbono, mientras que, en el grupo 4 cierto vehículo arrojó un valor de 8,7 %, un incremento del 47% con respecto al grupo 3, esto se explica con un vehículo que no presenta un mantenimiento adecuado, por ende, el resultado, el extremo superior mantiene un promedio del 6,3%, mientras que el extremo inferior mantiene un promedio del 1,6%, la mediana de todos los

grupos ocupa un promedio del 4,28% que refleja a una tecnología que aunque se considera antigua, se mantiene por debajo del límite, finalmente en el cuartil superior, se obtuvo como valor máximo 5,6% perteneciente al grupo 3, lo que nos da referencia para una actualización de la normativa.

En la fig. 3.3 B, se denotó una disminución progresiva del 14%, lo que infiere a vehículos con bajo kilometraje, con un extremo superior del 6,4% que, aunque es su punto máximo, se mantiene por debajo del límite, por otro lado, el extremo inferior más favorable arroja un valor del 0,7%, con una mediana de 4,3% entre todos los grupos, y finalmente en el cuartil superior un máximo de 5,5% que resulta aceptable para la tecnología empleada.

3.2.1.3. Oxígeno en Sistemas a Carburador (cilindrada vs año)

En el caso de O₂, en la fig. 3.4 A, se evidencio un incremento progresivo de 18% entre grupos, esto se explica a su mayor capacidad volumétrica respectivamente, en el grupo 5 se presenta un punto máximo de 6%, lo que se explica a un vehículo cuyo cilindraje supera considerablemente a las demás categorías, por ende, un mayor valor arrojado, mientras que en la fig. 3.4 B, se denotó una disminución progresiva del 28% entre grupos, debido a que son vehículos con menor años de antigüedad en su categoría, por ende, un menor kilometraje y un mejor sistema post combustión como las válvulas de vacío.

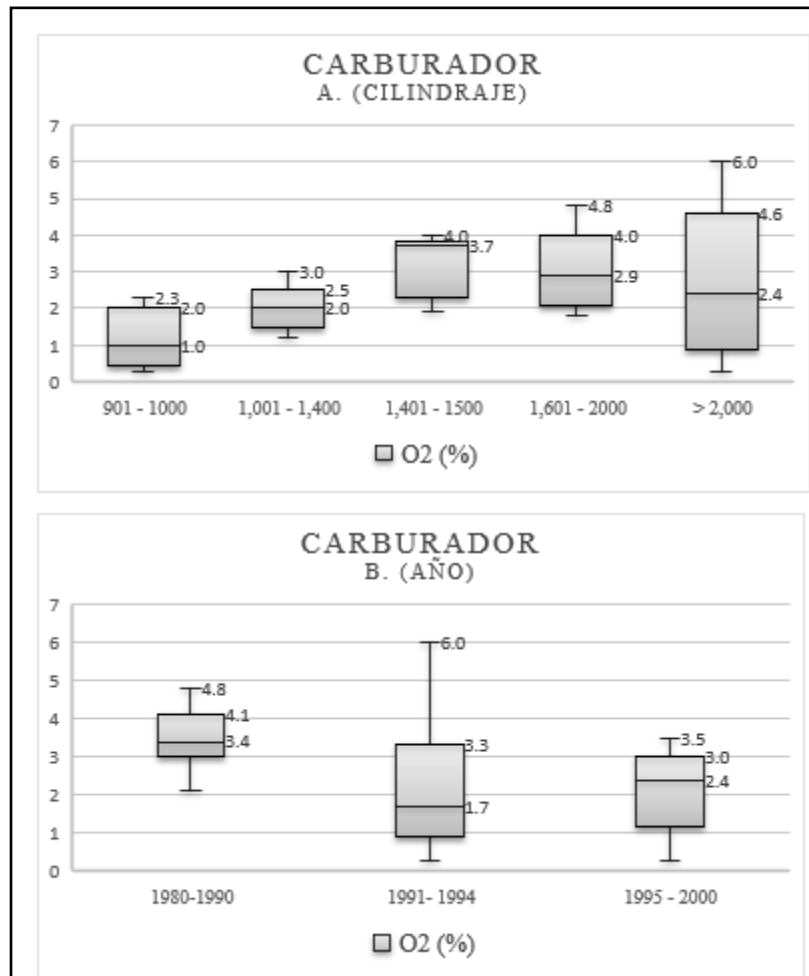


Figura 3.4 Cilindraje vs año tecnología a carburador en oxígeno

En la fig. 3.4 A, se obtuvo como se denota un incremento entre grupos, con la particularidad en el grupo 5 con un extremo máximo del 6%, que corresponde a un vehículo de marca Ford con un cilindraje de 5,8 centímetros cúbicos, que inyecta una mayor cantidad de combustible en el cilindro a diferencia de los demás vehículos, por otro lado, el extremo inferior mantiene un promedio del 1,3%, la mediana arroja un promedio del 1.9% que resulta bastante alentador para la tecnología empleada, y finalmente, en el cuartil superior arroja un punto máximo de 4,5% de oxígeno en el grupo 5, lo que da referencia para una actualización de la normativa.

En la fig. 3.4 B, se denotó una disminución del 19% entre el grupo 1 y 2, en su cuartil superior, mientras que en el grupo 2 y 3, su diferencia es a penas del 2%, lo que se explica que, a pesar de ser vehículos con menor años de antigüedad en su categoría, no presentan una

diferencia significativa entre grupos, por lo tanto, su tecnología resulta obsoleta en comparación a diferentes vehículos, con forme a los años de fabricación de los vehículos, su media se mantiene en un promedio del 2,3% entre los grupos.

3.2.2. Vehículos con Tecnología Monopunto

Es estudio se realizó a cierto grupo de vehículos con sistema monopunto con variación de años de fabricación, y con implementación de nuevas tecnologías que ofrece esta categoría como es el inyector de baja presión, e innovaciones en su sistema post combustión, como el sensor EGO.

3.2.2.1. Hidrocarburos en Sistema Monopunto (cilindrada vs año)

En la fig. 3.5 A, se registró un incremento progresivo entre los grupos, con una mayor relevancia entre el grupo 4 y 5, esto debido a que el cuartil superior del grupo 5 tiene como valor 404 ppm, correspondiente a un vehículo con bajo mantenimiento, mientras que en los demás grupos, su cuartil superior mantienen un promedio de 203 ppm de hidrocarburos, mientras que en la fig. 3.5 B, se denota una disminución bastante considerable caracterizando al grupo 3 y 4, que son vehículos con menor años de antigüedad en su categoría con un menor kilometraje.

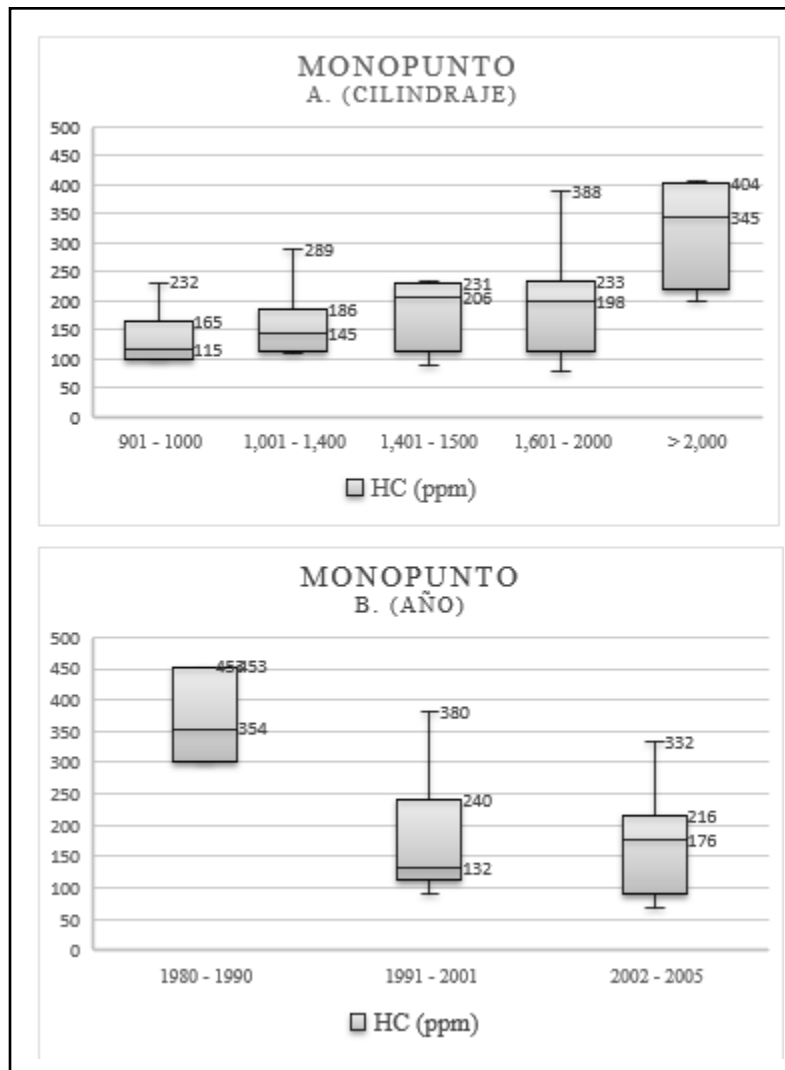


Figura 3.5 Cilindraje vs año tecnología monopunto en hidrocarburos

En la fig. 3.5 A, se denotó la particularidad en el grupo 5, con un valor máximo de 404 ppm de hidrocarburos, que pertenece a un vehículo marca Ford, modelo 1984, que, aunque su valor está por debajo del límite, presenta una diferencia considerable en comparación al resto de vehículos, esto debido a que el vehículo no mantiene un mantenimiento prolongado, y un excesivo kilometraje, en el extremo superior refleja un promedio de 308 ppm, mientras que en el extremo inferior su promedio fue de 114 ppm, con una media promedio de 201 ppm de hidrocarburos, y finalmente en el cuartil superior, se obtuvo como punto máximo el valor de 344, que sirvió de referencia para aplica en la actualización de la normativa de emisiones de gases.

En la fig. 3.5 B, reflejo una disminución significativa del 58% entre el grupo 1 y 2, lo que infiere a que son vehículos con menor años de antigüedad respectivamente entre su categoría, mientras que el grupo 2 y 3 mantiene una diferencia irrelevante entre sí, esto debido a que los vehículos puestos a prueba no difieren en gran magnitud a su actualización de tecnología, específicamente en su sistema post combustión.

3.2.2.2. Monóxido de Carbono en Sistema Monopunto (cilindrada vs año)

En la fig. 3.6 A, se denotó un incremento progresivo, debido a que son vehículos con mayor espacio volumétrico, por ende, una mayor emisión de gases, con un valor máximo de 3,6% de monóxido de carbono, que, evidentemente está por debajo del límite establecido por la norma, mientras que en la fig. 3.6 B, se denotó una disminución bastante considerable entre el grupo 1 con respecto a los demás, debido a que estos vehículos pertenecen a un año de fabricación más nuevo acorde a su categoría, por ende un menor kilometraje.

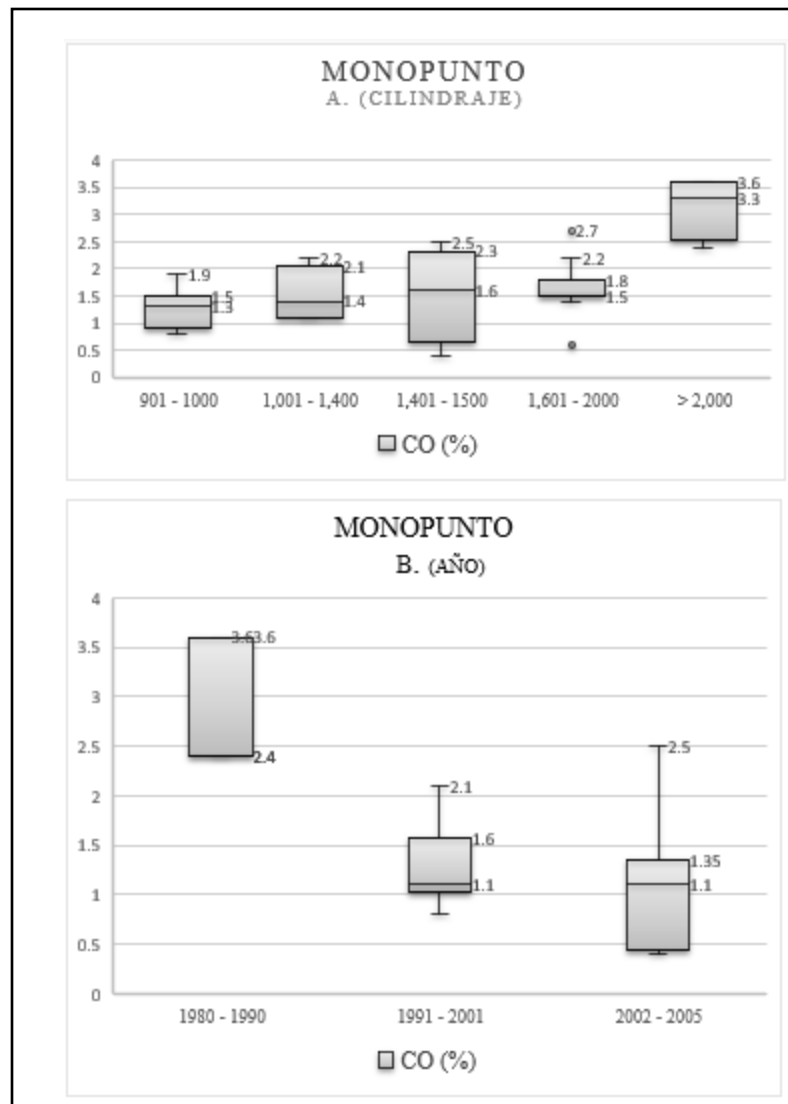


Figura 3.6 Cilindraje vs año tecnología monopunto en monóxido de carbono

En la fig. 3.6 A, los grupos 1 2 3 y 4 no difieren en gran parte su aumento progresivo, mientras que en el grupo 5 refleja un aumento del 33%, esto se explica debido a que el grupo 5 pertenece a vehículos con una mayor capacidad volumétrica, con un extremo superior 3,63% de monóxido de carbono, un promedio de 1,06% en su extremo inferior que representa a vehículos con un buen mantenimiento y menor kilometraje de cada categoría, con una media de 1,88% en promedio y finalmente en el cuartil superior con máximo valor de 3,3% que es la referencia para la propuesta de actualización de la normativa de emisiones de gases.

Mientras que en la fig. 3.6 B, presentó una diferencia bastante significativa con una disminución del 41% entre el grupo 1 en relación al grupo 2 y 3, debido a que dicho grupo pertenece a vehículos con un año de fabricación más antiguo en comparación a los demás grupos, por ende, son vehículos que presentan un mayor kilometraje, en el extremo superior del grupo 3, arrojó un valor máximo de 2,5, que resulta bastante alentador para la categoría, debido a que son vehículos con una tecnología antigua pero sus valores se mantienen por debajo del límite establecido.

3.2.2.3. Oxígeno en Sistema Monopunto (cilindrada vs año)

En la fig. 3.7 A, se evidenció un incremento poco considerable entre categorías, a excepción del grupo 5 que arrojó valores característicos, que se responden a vehículos con mayor espacio volumétrico, con una mayor inyección de combustible en la cámara de combustión, lo que responde a la mayor cantidad de emisiones expuestas por el mismo, mientras que la fig. 3.7 B, reflejó una disminución considerable entre el grupo 1 en relación al grupo 2 y 3, debido a que son vehículos con menor años de antigüedad en su categoría, por ende, presentan un menor kilometraje recorrido.

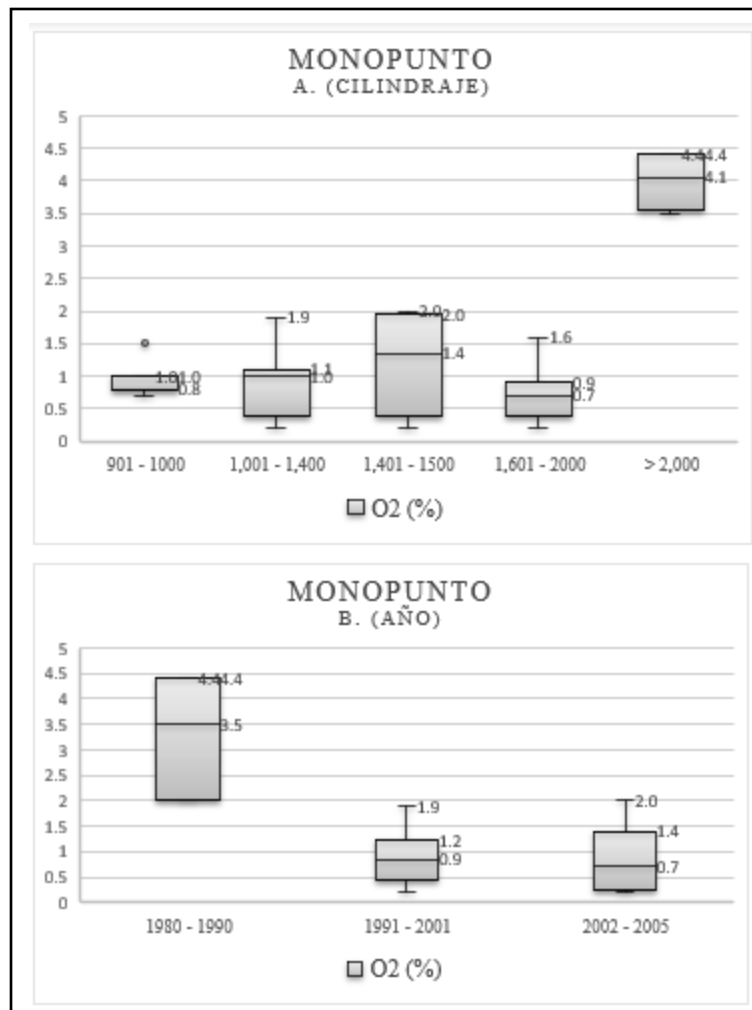


Figura 3.7 Cilindraje vs año tecnología monopunto en oxígeno

En la fig. 3.7 A, presento la particularidad del grupo 5, con un punto máximo de 4,4% de oxígeno, que responde a un vehículo de 5,000 centímetros cúbicos, que difiere de los demás grupos por su alta demanda de inyección de combustible, el promedio de extremo superior de los demás grupos resulto de 1,4% mientras que el promedio del extremo inferior arrojo un valor de 0,3% con una media de 1,1% de oxígeno, y finalmente en cuartil superior con un valor máximo fue de 4,05% lo que sirvió de referencia para la propuesta de actualización de la normativa de emisiones de gases.

Mientras que, en la fig. 3.7 B, se reflejó una disminución significativa del 56%, debido a que estos vehículos presentan un menor año de antigüedad acorde a su categoría, por ende,

presentan un menor kilometraje recorrido, con una media del 1,1% entre los mejores vehículos puestos a prueba.

3.2.3. Vehículos con Tecnología de Inyección Multipunto

En este estudio se puso a prueba cierto grupo de vehículos de esta categoría, con la diferencia de que contemplan más tecnología como es la implementación de 4 inyectores indirectos y sensores y actuadores como EGO, EVAP, EGR, catalizador de 3 vías, que arrojan valores más bajos en comparación a otras categorías.

3.2.3.1. Hidrocarburos en Sistema Multipunto (cilindrada vs año)

Este grupo de vehículos presenta varias particularidades entre grupos, debido a que pertenecen al mayor grupo del parque automotor, ya que su tecnología empleada presenta varias innovaciones en el sistema post combustión, en la fig. 3.8 A, reflejo una variación entre grupos, pese a que ningún grupo supera el límite permisible de emisiones, con una media bastante aceptable entre sí, mientras que en la fig. 3.8 B, evidencio una disminución progresiva entre grupos, esto responde a que vehículos con un año de fabricación en el rango del 2000 y 2010 presentan tecnologías de combustión más eficientes y post combustión, lo que favorece a una mejor mezcla dentro de la cámara de combustión, por ende, una menor emisión de gases contaminantes.

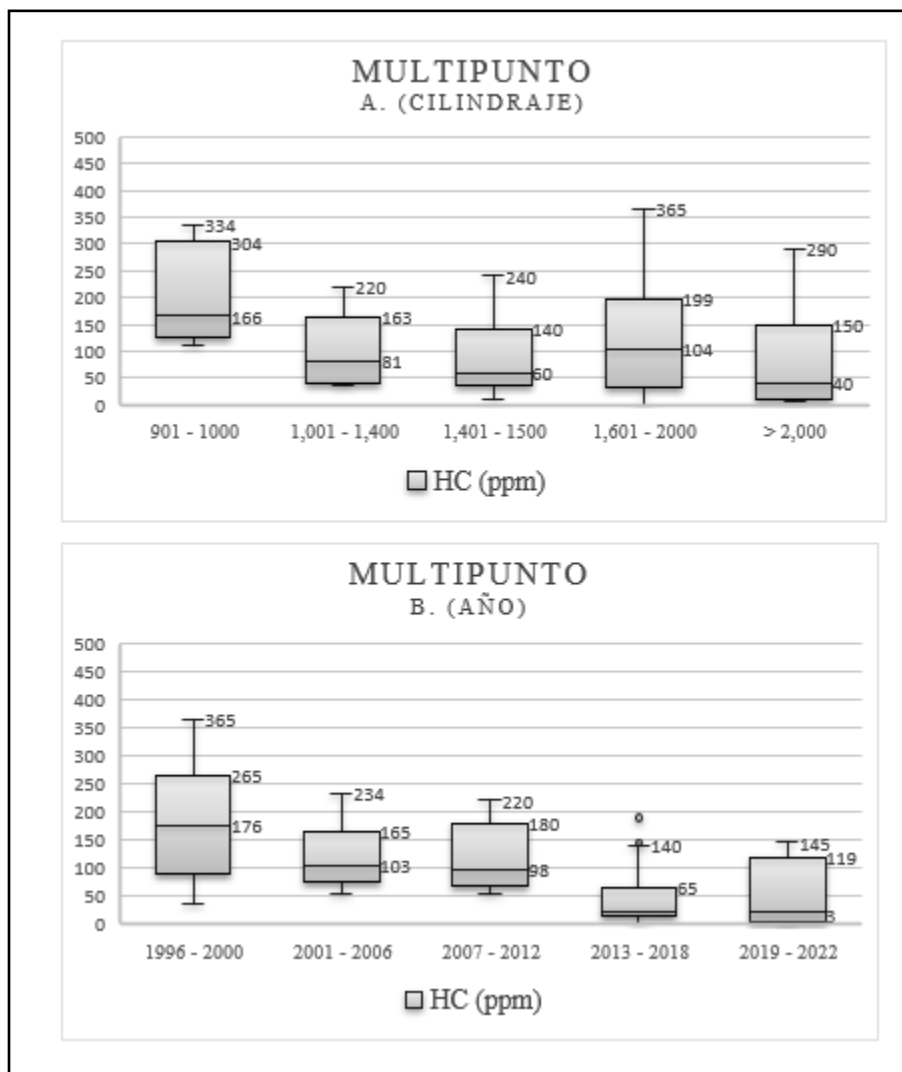


Figura 3.8 Cilindraje vs año con tecnología multipunto en hidrocarburos

En la fig. 3.8 A, el grupo 1 refleja un límite máximo de 334 ppm de hidrocarburos, esto responde a que son los primeros vehículos con sistema de inyección multipunto, con una disminución del 46% con relación a los demás grupos, en el extremo superior se evidencio un promedio de 289 ppm, mientras que el extremo inferior arrojó un promedio de 32 ppm y una mediana promedio de 59 ppm, finalmente en el cuartil superior se obtuvo como punto máximo un valor de 198 ppm de hidrocarburos, perteneciente al grupo 4, que dará como referencia para la propuesta de actualización de la normativa de emisiones de gases.

Mientras que en la fig. 3.8 B, se reflejó una disminución progresiva entre los grupos, con un punto máximo de 365 ppm en el grupo 1 que se responde a un vehículo de bajo año de

fabricación con mayor alto kilometraje, pero que se mantiene por debajo del límite establecido, con una disminución del 38% en relación al grupo 2 que mantiene relación con el grupo 3, finalmente el grupo 4 y 5 que mantienen una mediana de 60 ppm de hidrocarburos, perteneciente a vehículos con una mejor eficiencia tecnológica como la implementación de catalizadores de 3 vías, y con menor kilometraje recorrido debido a su año de fabricación y mejor mantenimiento.

3.2.3.2. Monóxido de Carbono en Sistema Multipunto (cilindrada vs año)

En la fig. 3.9 A, reflejo valores que no difiere a mayor magnitud entre grupos, debido a que su sistema de inyección ofrece una mejor mezcla dentro de la cámara de combustión, acompañados con sistemas post combustión como la válvula EGR, con un punto mayor de 2,98% se mantiene por debajo del límite establecido, mientras que en la fig. 3.9 B, se denotó claramente una disminución de emisiones, debido a que los vehículos con una antigüedad menor a poseen una tecnología más actual, específicamente en su sistema post combustión que permite una mayor eficiencia, por ende, un menor índice de contaminación.

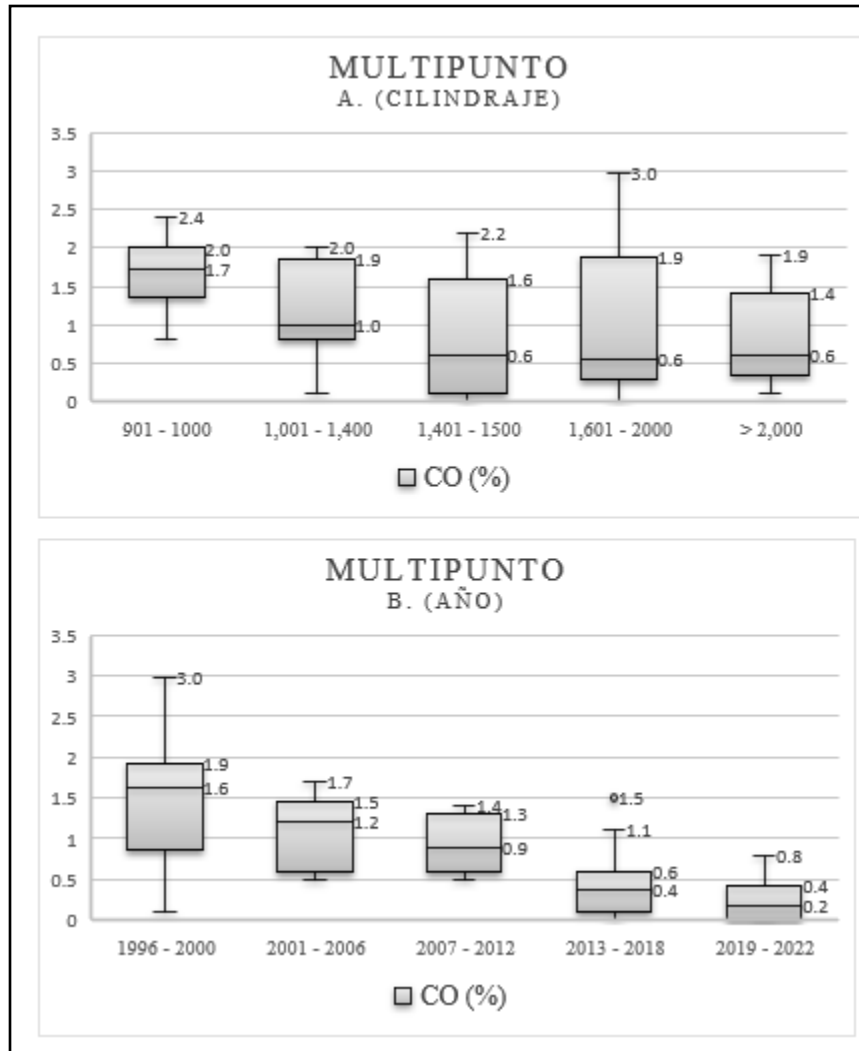


Figura 3.9 Cilindraje vs año con tecnología multipunto monóxido de carbono.

En la fig. 3.9 A, se registró como promedio de extremo superior, el valor de 2,3% de monóxido de carbono, mientras que en el extremo inferior arrojó un valor promedio de 0,2% y una mediana promedio de 0,86% de monóxido de carbono, finalmente en el cuartil superior se registró el valor máximo de 1,9% perteneciente al grupo 1, que será referencia para la propuesta de la normativa de emisiones de gases, mientras que en la fig. 3.9 B, se evidenció claramente una disminución progresiva entre grupos, con una diferencia del 76% entre el grupo 1 y grupo 5, que pese a que ambos grupos pertenecen a la misma categoría de sistema de inyección, se marca diferencia en su año de fabricación, sus innovaciones tecnológicas en cuanto al sistema post combustión como los catalizadores de 3 vías o la válvula EGR, y sobre todo en vehículos que mantienen un servicio de mantenimiento continuo.

3.2.3.3. Oxígeno en Sistema Multipunto (cilindrada vs año)

En la fig. 3.10 A, se registró una diferencia a partir del tercer grupo de vehículos, pese a que son motores con mayor capacidad volumétrica, presentan una mejor eficiencia de trabajo, por ende, una mejor mezcla dentro de la cámara de combustión, debido a que poseen una tecnología más actual a diferencia de los otros vehículos, por otro lado, en la fig. 3.10 B, se reflejó una disminución significativa entre el grupo 1 y 2, debido a su año de fabricación que se responde con un mayor kilometraje recorrido, y una disminución progresiva entre los grupos 3 4 y 5, que responde a vehículos con menor años de antigüedad dentro de su categoría, con una mejor inyección de combustible y una mejor eficiencia en su sistema post combustión con el apoyo del EGO, por ende, una menor emisión de gases contaminantes.

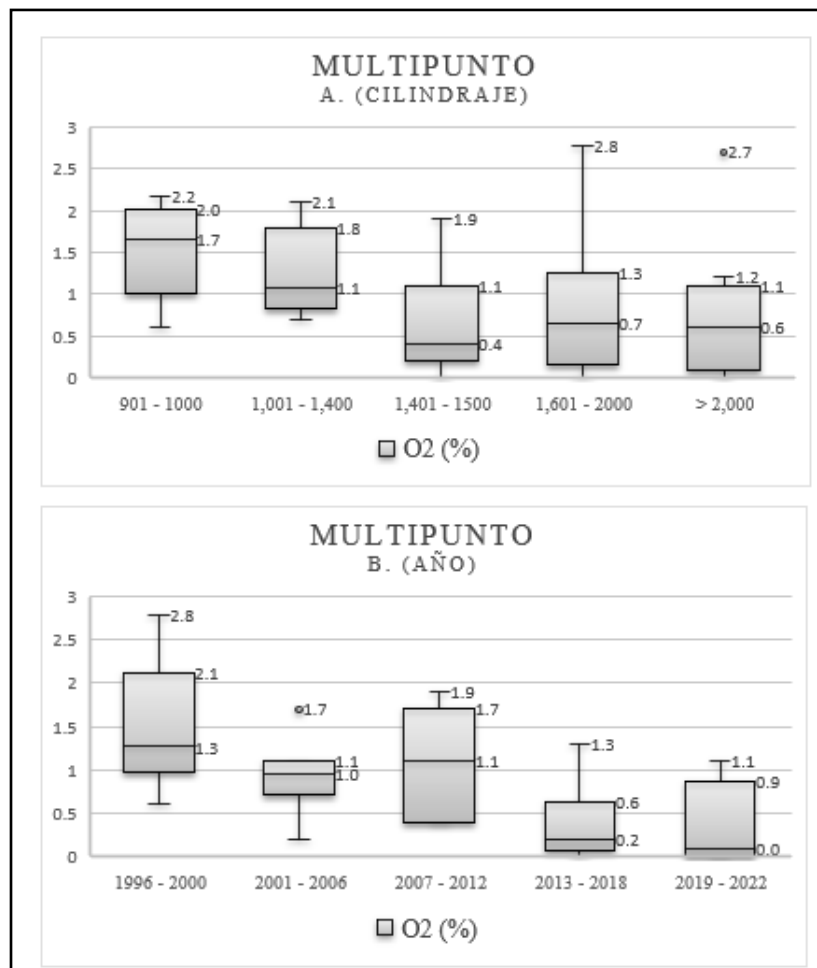


Figura 3.10 Cilindraje vs año con tecnología multipunto en oxígeno

En la fig. 3.10 A, presentó la particularidad con un punto máximo de 2,78% en el grupo 4 que corresponde a un vehículo que realizó la prueba de emisiones con el sistema de escape húmedo, lo cual altera los valores arrojados indicando un valor fuera de rango, mientras que los demás grupos reflejan un valor promedio de extremo superior de 2,03 y un promedio de extremo inferior con un valor de 0,28%, una mediana promedio de 0,8%, finalmente en el cuartil superior se obtuvo un valor máximo de 1,1, que servirá de referencia para la propuesta de la normativa de emisiones de gases contaminantes.

Mientras que en la fig. 3.10 B, se evidenció una disminución entre el grupo 1 y 2 del 38%, debido a que el grupo 1 pertenece a los vehículos con inyección multipunto con tecnología antigua, mientras que en el grupo 3 y 4, se registró una disminución del 57%, lo que responde a vehículos con una tecnología más nueva como es la lectura del sensor EGO y la implementación de un catalizador de 3 vías, y con menor años de antigüedad, por ende, un menor desgaste en su motor, y una mejor dosificación de combustible.

3.2.4. Vehículos con tecnología de inyección directa

Esta categoría de vehículos presenta la tecnología más eficiente de todos los vehículos, como es la implementación de inyectores de alta presión, que ofrece un mayor rendimiento, y alta eficiencia de trabajo, lo que disminuye considerablemente los datos obtenidos en las mediciones de gases.

3.2.4.1. Hidrocarburos en sistema de inyección directa (cilindrada vs año)

En esta categoría de vehículos, no ofreció una diferencia significativa entre grupos, debido a que la tecnología empleada en los vehículos resulta la tecnología más eficiente en el país, por ende, son vehículos que ofrecen un mejor rendimiento, una mejor dosificación de combustible, lo que da resultado a un menor consumo de combustible y finalmente, una menor emanación de gases contaminantes.

En la fig. 3.11 A, se evidencio como valor máximo 56 ppm, que se encuentra por muy debajo del límite, con una variación entre grupos muy pequeña para considerarla, mientras que en la fig. 3.11 B, se mantienen relacionados los 3 diferentes grupos, con valores que resultan bastante favorables durante la medición.

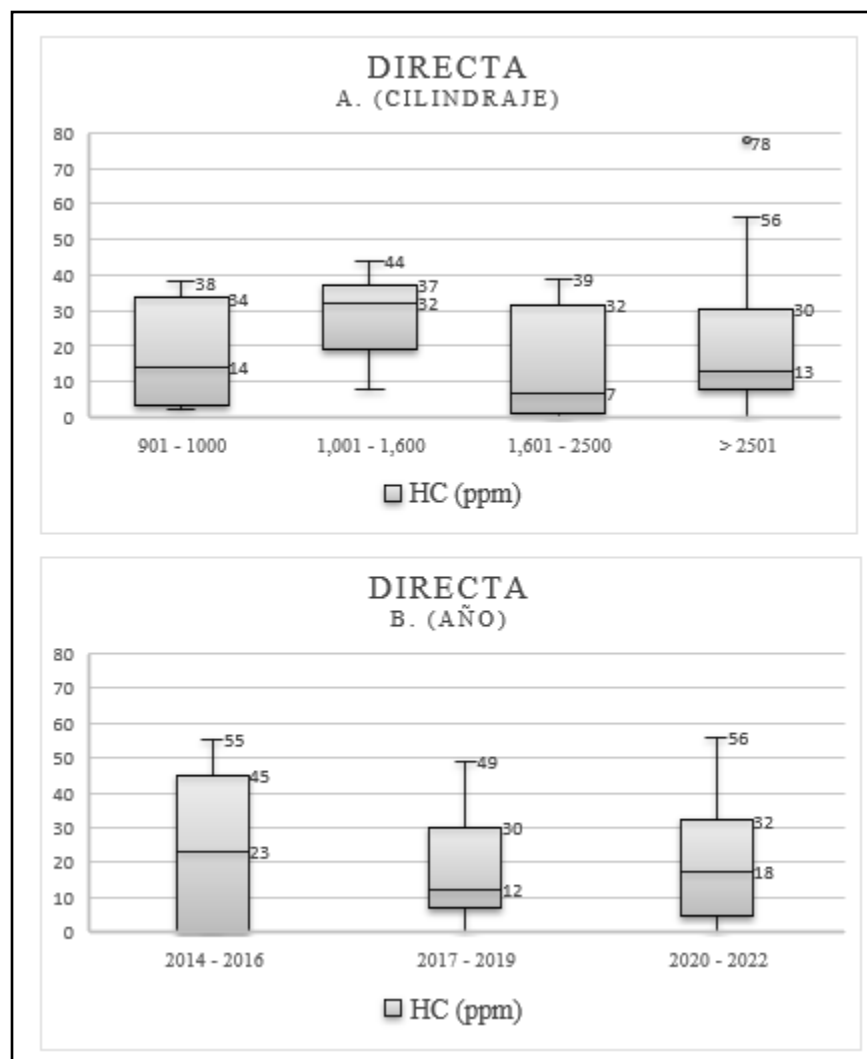


Figura 3.11 Cilindraje vs año con tecnología de inyección directa en hidrocarburos

En la fig. 3.11 A, se registró la particularidad de un valor máximo de 78 ppm, perteneciente a un vehículo que fue realizado la prueba de emisiones de gases con el sistema de escape húmedo, lo que dio como resultado un valor fuera de lugar, como promedio de extremo superior se obtuvo el valor de 44 ppm, y en extremo inferior un promedio de 4 ppm, lo cual evidencia el gran rendimiento de esta categoría de vehículos y su tecnología como la

implementación de dos sensores EGO y sistema VVTi, como mediana se obtuvo un promedio de 13 ppm, y finalmente como cuartil superior se obtuvo como valor máximo 37 ppm de hidrocarburos, que sirvió como referencia para la propuesta a la normativa de emisiones de gases.

Por otro lado, en la fig. 3.11 B, no registró una diferencia considerable, pese a que el grupo 1 pertenece a vehículos del año 2017 en comparación al grupo 3 que pertenece a vehículos del año 2021, mantienen un nivel muy bajo de emisiones de hidrocarburos, con un punto máximo de 32 ppm en su cuartil superior máximo.

3.2.4.2. Monóxido de carbono en sistema de inyección directa (cilindrada vs año)

En la fig. 3.12 A, todos los grupos mantienen el mismo rango de emisiones de monóxido de carbono, con un valor máximo de 1,1% que aún se mantiene por debajo del límite establecido, por otro lado, en la fig. 3.12 B, se registró una disminución, que responde al año de fabricación de los vehículos del grupo 2, que responde a un menor desgaste mecánico presente, no obstante, todos los vehículos sometidos a la prueba de emisiones de gases, presentaron valores favorables, lo que muestra como resultado la mayor eficiencia que esta tecnología de vehículos ofrece al medio ambiente.

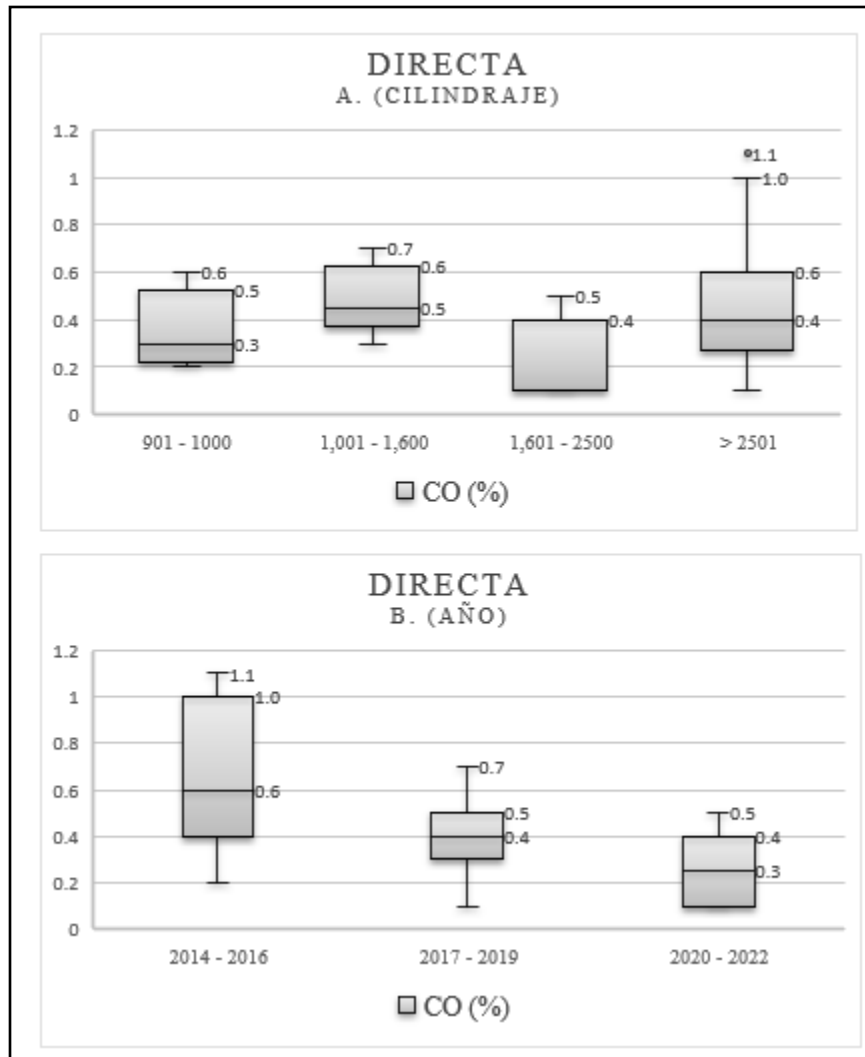


Figura 3.12 Cilindraje vs año con tecnología de inyección directa en monóxido de carbono

En la fig. 3.12 A, se registró la particularidad del grupo 4, con un valor máximo de 1,1 que responde a un vehículo que se sometió a prueba con su sistema de escape húmedo, lo cual arrojó valores fuera de lugar, en su extremo superior se registró un promedio de 0,6%, mientras que en su extremo inferior arrojó un promedio de 0,2% y una mediana promedio de 0,38% de monóxido de carbono, finalmente en su cuartil superior se evidencio como valor máximo 1% perteneciente al grupo 4, lo que sirvió de referencia para la propuesta de la normativa de emisiones de gases.

3.2.4.3. Oxígeno en sistema de inyección directa (cilindrada vs año)

En la fig. 3.13 A, se evidenció una baja lectura de oxígeno, debido a su dosificación de combustible que presenta este sistema de inyección, lo que evidencia el rendimiento que esta tecnología ofrecen, mientras que, en la fig. 3.13 B, se registró una disminución entre los grupos, lo que responde a vehículos más nuevos, con un menor desgaste de su motor.

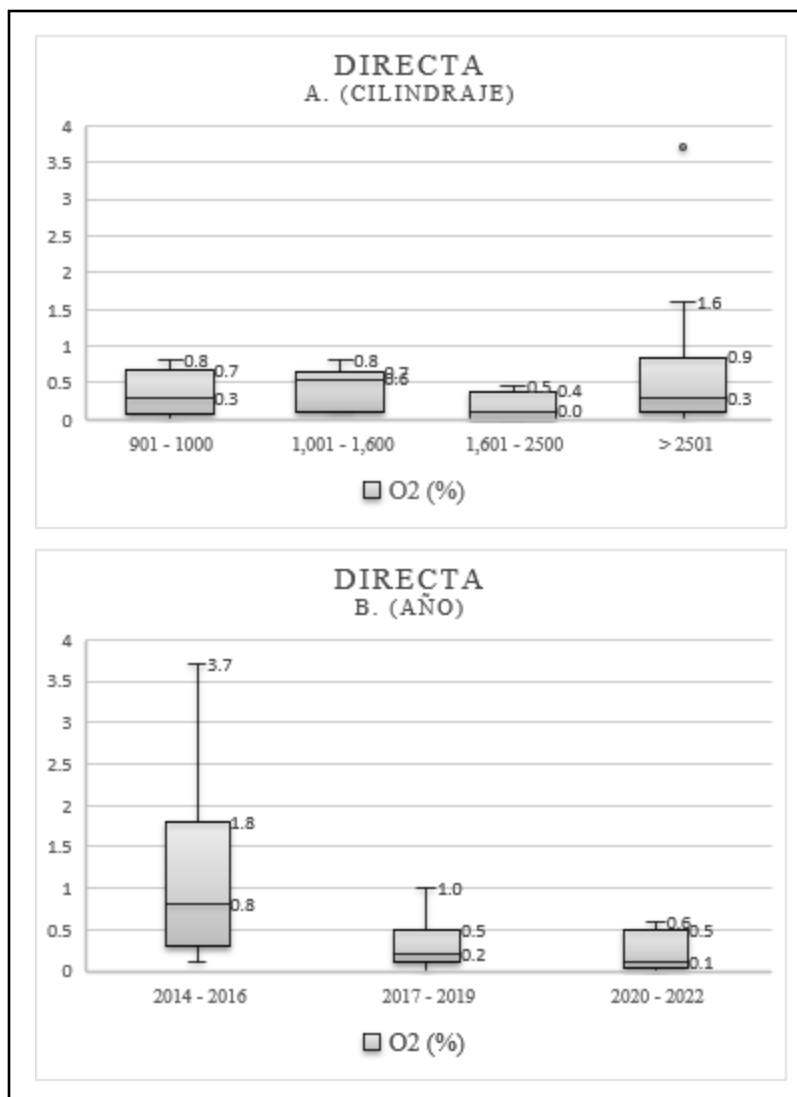


Figura 3.13 Cilindraje vs año con tecnología de inyección directa en oxígeno

En la fig. 3.13 A, se evidenció la particularidad del grupo 4, con un valor máximo de 1,6% de oxígeno, lo que responde a que el vehículo sometido a prueba presento humedad en su sistema de escape, lo cual arrojó valores fuera de lugar, como promedio de extremo superior se registró el valor 0,9% y como extremo inferior presento un promedio de 0,1% con una mediana promedio de 0,3% finalmente con un cuartil superior máximo de 0,85% perteneciente al grupo 4, que sirvió como referencia para la propuesta de actualización de la normativa de emisiones de gases.

Mientras que en la fig. 3.13 B, se evidencio una disminución del 62% entre el grupo 1 y 2, lo que responde a vehículos con mayor número de años, por ende, un mayor kilometraje, mientras que el grupo 2 y 3 mantienen una relación de valores no mayor al 0,6% de oxígeno.

3.3. Propuesta de Actualización de Normativa

En base a los datos obtenidos bajo las mediciones realizadas en diferentes vehículos de distintas categorías se recolecto una base de datos fundamental para conformar los siguientes rangos de límites de emisiones de gases expuestos por el parque automotor, con el fin de minimizar los mismos y fomentar a la disminución de la contaminación ambiental.

En la siguiente tabla se consideró el factor de Dióxido de Carbono (CO₂) para transicionar a normativas internacionales, con la finalidad de dar un diagnóstico sobre el estado del motor del vehículo analizado, no obstante, los límites fueron establecidos acorde a los gráficos realizados en las mediciones de las diferentes categorías.

La tabla 3.27, se propone a base de los cuartiles superiores máximos, registrados en la campaña experimental de las diferentes categorías de vehículos puestos a prueba, con un límite permisible acorde a su año de fabricación y cilindraje.

En el primer rango de los años menores a 1989, se consideró el límite máximo de 700 ppm de hidrocarburos, debido a que su cuartil superior correspondiente a esa categoría presenta un valor máximo de 689 ppm, mientras que en monóxido de carbono se consideró como límite máximo 5.5% debido a que en su categoría su cuartil superior no supero el 5% y finalmente en oxígeno se consideró como límite máximo 4.5% debido a su cuartil superior un punto máximo de 4%.

En el segundo rango que comprende el año 1990-1999, corresponde a vehículos con tecnología monopunto, se consideró el límite máximo de 400 ppm debido a que en su cuartil superior no supero las 380 ppm, mientras que en monóxido de carbono su cuartil superior no supero el 3.0% por lo cual se ha considerado a 3.5% como límite máximo de esta categoría, y finalmente en oxígeno se consideró a su cuartil superior como límite máximo de 4.0%.

En la categoría de vehículos comprendidos entre los años 2000 y 2010, se optó fijar como límite de hidrocarburos un máximo de 200 ppm, debido a que su cuartil superior no supero los 189 ppm, mientras que en monóxido de carbono se estableció un límite máximo de 3.0% que refleja como su máximo valor en su cuartil superior, y finalmente en oxígeno se consideró fijar como límite máximo el valor de 2.0% debido a que su cuartil superior no supero el 1.8% de esta categoría.

En la categoría de vehículo con un año mayor a 2011, comprendidos entre tecnología multipunto e inyección directa, se estableció un límite máximo de 90 ppm, debido a que su cuartil superior no supero los 60 ppm, se propuso este límite para ofrecer un mayor rango con los vehículos multipunto, en el caso de monóxido de carbono se estableció el límite máximo de 2.0% debido a que su cuartil superior no supero el 1,7% y finalmente en oxígeno se fijó como valor límite 1.4% basado en su cuartil superior de la categoría.

Tabla 3.1 Propuesta de actualización de la normativa.

HC (ppm)	CO (%)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	AÑO
≤ 700	≤ 5.5	≤ 4.5	≥ 11.5	<1989
≤ 400	≤ 3.5	≤ 4.0	≥ 12.5	1990 – 1999
≤ 200	≤ 3.0	≤ 2.0	≥ 13.5	2000 – 2010
≤ 90	≤ 2.0	≤ 1.4	≥ 13.5	>2011

Se propone actualizar la normativa ecuatoriana de emisiones de gases vehiculares para incluir:

- **Adopción de Estándares Internacionales:** Transicionar hacia límites equivalentes a la normativa mexicana, que realiza la medición de dióxido de carbono de los vehículos.

- **Incorporación de Nuevas Categorías:** Establecer límites diferenciados para vehículos híbridos y eléctricos, incentivando su adopción con regulaciones más flexibles.
- **Fortalecimiento del Sistema de Revisión Técnica Vehicular:** Mejorar la tecnología y los protocolos utilizados en los centros de inspección, garantizando la medición precisa de contaminantes como CO, O₂ y HC.

Beneficios Anticipados

- **Reducción de la Contaminación:** Disminuirá la emisión de gases nocivos, mejorando la calidad del aire en las principales ciudades del país.
- **Alineación con Tendencias Globales:** Modernizar las regulaciones nos permitirá competir en mercados internacionales y atraer tecnologías limpias.

La actualización de la normativa de emisiones de gases en Ecuador es una necesidad urgente que no solo refleja el progreso logrado, sino que también responde a la demanda de un futuro más sostenible.

3.4. Análisis de vida útil de un vehículo categoría M1

La categoría M1 en Ecuador corresponde a vehículos diseñados y construidos principalmente para el transporte de personas, con un máximo de ocho asientos además del asiento del conductor. Este tipo de vehículos incluye automóviles, SUV, y algunos tipos de vans o minibuses pequeños.

En el siguiente análisis se consideró al vehículo Hyundai Accent perteneciente a la categoría de vehículos M1, con la finalidad de estimar un promedio de costos a lo largo de su vida útil para con esto relacionar al tema de subsidios de combustible y proponer la eliminación de la misma en ciertos factores.

Tipo de vehículo: Hyundai Accent (2023).

Precio inicial: \$20,000 (aproximado en Ecuador).

Período de análisis: 15 años.

Kilometraje anual: 15,000 km.

Consumo de combustible: 8 litros/100 km (aproximado para un sedán económico).

Precio promedio del combustible: \$2.50 por litro (Gasolina Extra, precios Ecuador a 2023).

• **Costo de adquisición inicial:**

Precio del vehículo: \$20,000.

Registro y matriculación (primer año): \$300.

Total, inicial: \$20,300.

• **Costo de combustible:**

$$\text{Consumo Anual} = \frac{15000}{100} \times 8 = 1,200 \text{ litros}$$

$$\text{Gasto Anual} = 1200 \text{ l} \times 0,89 \text{ ctvs} = 960 \text{ \$/año}$$

Costo a 15 años: \$14,400

• **Mantenimiento y reparaciones:**

Revisión anual básica: \$150.

Servicios mayores (cada 3 años): \$500 por servicio.

Repuestos y otros costos: \$1,000 cada 5 años.

Costo total a 15 años: \$2,000 (básico) + \$1,500 (mayores) + \$2,000 (repuestos) = \$5,500.

• **Depreciación:**

Regla general de la depreciación, 30 % de depreciación al precio inicial

$$20,000 \times 0,30 = 6,000$$

Valor estimado del vehículo después de 15 años: \$6,000.

Depreciación total: \$20,000 - \$6,000 = \$14,000.

• **Impuestos y matriculación:**

Matriculación anual: \$150 (promedio).

Impuesto ambiental (vehículos nuevos): \$100 anual.

Costo a 15 años: \$20,000 - \$6,000 = \$14,000

3.5. Análisis Subsidio de Combustible.

En base al estudio realizado se ha considerado las variables: emisiones, consumo, tecnología, cilindrada, vida útil y precio en cuanto al subsidio de combustible en el país se ha tomado a consideración los vehículos más representativos y sobre todo matriculados dentro del parque automotor.

En la fig. 3.15, se muestra un diagrama radial que desglosa 6 variables a considerar para los diferentes sistemas de inyección y su aporte a cada uno.

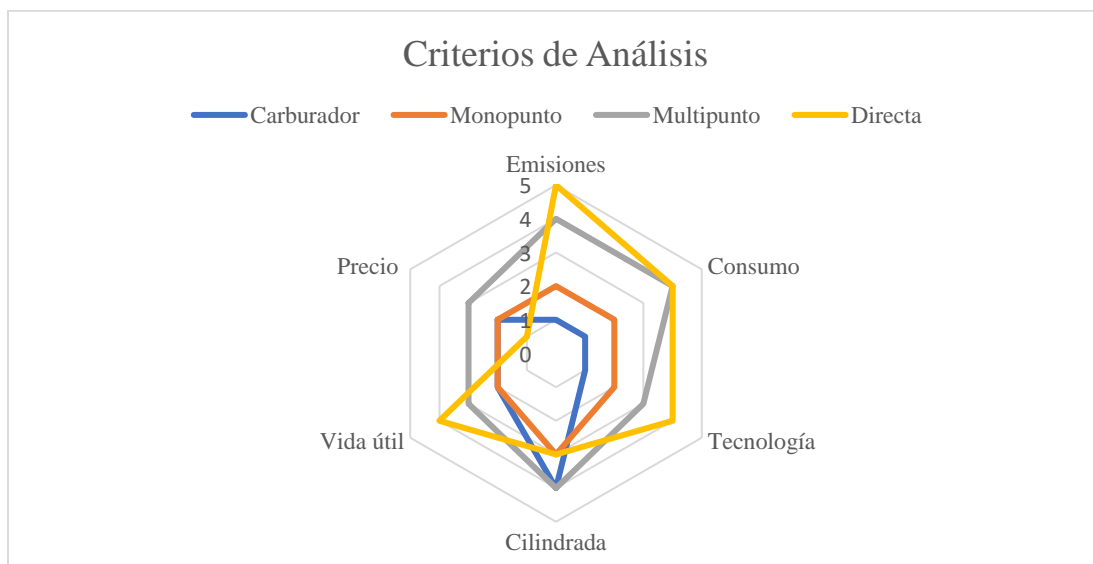


Figura 3.15 Diagrama radial de criterio de análisis en subsidio de combustible.

3.5.1. Vehículos seleccionados por categorías de cilindrajes

En la tabla 3.2, se registraron los vehículos más vendidos en el país, acorde a su categoría de cilindraje, con la finalidad de representar su consumo promedio en comparación a su tecnología empleada, para determinar qué tan eficientes son los vehículos planteados frente al subsidio suministrado por el estado.

Tabla 3.2 Consumo de vehículos de diferentes categorías de motor de encendido provocado

Rango Cilindraje	Veh. Representativo	Consumo	Año	Tecnología
1000 a 1200 cm ³	Suzuki Forsa 1.0	5.3 L/100 km	<1990	Carburador
1200 a 1600 cm ³	Fiat Uno 1.5	7 L/100 km		
1600 a 2000 cm ³	Volkswagen Golf MK2 2.0	11 L/100 km		
2000 a 3500 cm ³	Chevrolet Blazer 6.0	15 L/100 km		
1000 a 1200 cm ³	Ford Fiesta 1.0	5.5 L/100 km	1991 – 1999	Monopunto
1200 a 1600 cm ³	Daewoo Lanos 1.5	7.5 L/100 km		
1600 a 2000 cm ³	Vitara Clásico	9,9 L/100 km		
2000 a 3500 cm ³	Chevrolet Tahoe 3.5	13 L/100 km		
1000 a 1200 cm ³	Kia Picanto 1.1	5.5 L/100 km	2000 – 2010	Multipunto
1200 a 1600 cm ³	Corsa Wind 1.4	8,6 L/100 km		
1600 a 2000 cm ³	Vitara Sport 1.6	9 L/100 km		
2000 a 3500 cm ³	Vitara SZ v6 3.5	14 L/100 km		
1000 a 1200 cm ³	Hyundai I20 1.1	4.5 L/100 km	2000 – 2010	Directa

1200 a 1600 cm ³	Chevrolet Cruze 1.4 turbo	6 L/100 km		
1600 a 2000 cm ³	Mazda Cx3 2.0	7,1 L/100 km		
2000 a 3500 cm ³	Ford Explorer 3.0	9.8 L/100 km		

En la tabla 3.3, se representan a los vehículos híbridos más representativos de su categoría, pese a que su consumo de combustible refleja una gran diferencia en comparación a los vehículos de combustión interna estos aún mantienen un mínimo consumo de combustible subsidiado por el estado.

Tabla 3.3 Consumo de combustible de vehículos de diferente categoría de hibridación

Rango Cilindraje	Veh. Representativo	Consumo	Año	Tecnología
900 a 1200 cm ³	Suzuki Swift	4.5 L/100 km	2022	Micro Híbrido
	Stoniq	4.7 L/100 km	2018	
2000 a 3500 cm ³	Toyota Prius C	3.5 L/100 km	2012	HEV
	Ford Fusion	4.5 L/100 km	2013	
1600 a 2000 cm ³	Hyundai Sonata	4.5 L/100 km	2020	
	Kia Optima	5.5 L/100 km	2011	
1200 a 1600 cm ³	Nissan X-trail	5.5 L/100 km	2016	REEV
	Chevrolet Tahoe	8.0 L/100 km	2008	HEV
	Toyota Highlander	6.7 L/100 km	2013	

3.5.2. Subsidio de combustible en Ecuador

Actualmente en Ecuador se reduce el subsidio de combustible progresivamente, con el objetivo de igualarse a precios internacionales, sin embargo, el combustible presente en el país se mantiene con la misma calidad.

En la tabla 3.4, se presenta el precio oficial del combustible frente al subsidio actual del país en la actualidad, siendo uno de los países con el combustible más barato en Sudamérica.

Tabla 3.4 Subsidio de combustible en Ecuador

Combustible	Precio de venta en Ecuador	Subsidio que entrega el estado	Precio sin subsidio
Extra	2,46	0,47	3,00
Ecopaís	2,46	0,67	3,23
Diesel	1,79	1,16	3,17

Un factor importante es proponer el restablecimiento del “Plan Renova” que incentiva a los usuarios en adquirir un vehículo de mejor tecnología y un año más moderno, lo que implica un menor consumo del mismo y menor exposición de gases contaminantes.

La implementación del "Plan Renova" en Ecuador sería una estrategia clave para fomentar la renovación del parque automotor, incentivando a los ciudadanos a adquirir vehículos más modernos y eficientes. Esto no solo reduciría el consumo de combustible, sino también las emisiones contaminantes, contribuyendo a un entorno más limpio y saludable. Al reemplazar vehículos antiguos con tecnologías avanzadas, se optimizaría el uso de combustibles, disminuyendo la dependencia energética y generando ahorro económico a largo plazo para los usuarios. Además, el programa impulsaría la industria automotriz nacional y regional, creando un impacto positivo tanto en el medio ambiente como en la economía del país.

Características del Plan Renova:

1. Incentivos económicos:

Se ofrecían bonos económicos para los propietarios de vehículos antiguos que decidieran chatarrizarlos como parte del programa. Este bono podía usarse como abono para la compra de un vehículo nuevo.

2. Chatarrización:

Los vehículos inscritos en el plan eran retirados del parque automotor y sometidos a un proceso de destrucción controlada para garantizar que no volvieran a circular.

3. Facilidades de financiamiento:

Los beneficiarios del plan podían acceder a créditos preferenciales o financiamiento a través de instituciones financieras y concesionarios de vehículos.

4. Reducción de emisiones:

El programa estaba alineado con objetivos de sostenibilidad, ya que ayudaba a

disminuir la emisión de gases contaminantes, especialmente de vehículos antiguos que usaban tecnologías menos eficientes.

5. **Enfoque en transporte público y comercial:**

Estaba dirigido principalmente a taxis, buses y camiones de transporte pesado, ya que estos vehículos tienden a ser utilizados intensivamente y suelen generar un mayor impacto ambiental.

Impacto:

- El programa ayudó a modernizar parte del parque vehicular en Ecuador, mejorando la seguridad y reduciendo la contaminación.
- Sin embargo, enfrentó desafíos relacionados con la implementación, como la disponibilidad de recursos, la infraestructura para la chatarrización y la aceptación por parte de los propietarios de vehículos antiguos.
- El "Plan Renova" en Ecuador podría contribuir a eliminar el subsidio de combustible de manera gradual y sostenible, a través de la reducción en el consumo de combustible gracias a la renovación del parque automotor. Para entender cómo podría funcionar, vamos a desglosarlo en números hipotéticos.

Vehículo **antiguo** (promedio de 10 años o más):

- Consumo de combustible: 12 litros cada 100 km.
- Distancia promedio recorrida al año: 15,000 km.
- Costo del combustible (suponiendo \$0.89 por litro).

Vehículo **nuevo** (con tecnologías eficientes de 2016):

- Consumo de combustible: 7 litros cada 100 km.
- Distancia promedio recorrida al año: 15,000 km.
- Costo del combustible (suponiendo \$0.89 por litro)

Consumo de combustible en un vehículo antiguo.

En la tabla 3.5 se muestra el cálculo para el consumo anual de combustible de un vehículo viejo, mientras que en la tabla 3.6 se mantiene el mismo calculo para un vehículo nuevo.

Tabla 3.5 Consumo de combustible anual vehículo viejo.

Consumo anual de combustible para un vehículo viejo	$\frac{12 \text{ litros}}{100 \text{ km}} \times 15,000 \text{ km} = 1,800 \text{ litros}$	[10]
Costo anual de combustible para un vehículo viejo	$1,800 \text{ litros} \times 0,89 \frac{\$}{\text{litro}} = 1,602\$$	[11]

Consumo de combustible para un vehículo nuevo**Tabla 3.6** Consumo anual de combustible vehículo nuevo.

Consumo anual de combustible para un vehículo nuevo	$\frac{7 \text{ litros}}{100 \text{ km}} \times 15,000 = 1,050 \text{ litros}$
Costo anual de combustible para un vehículo nuevo	$1,050 \text{ litros} \times 0,89 \frac{\$}{\text{litro}} = 934,5$

Ahorro en combustible por cada vehículo renovado:

- Ahorro anual por vehículo renovado:

$$1,800 \$ - 1,050 \$ = 750$$

Si, por ejemplo, el "Plan Renova" logra renovar 100,000 vehículos antiguos en un año, el ahorro total en consumo de combustible sería:

- Ahorro total por 100,000 vehículos renovados:

$$100,000 \text{ vehículos} \times 750 \$ = 75,000,000$$

En la fig. 3.16, se explica la fundamentación en 3 aspectos importantes como: social, económico y ambiental, que busca promover a la eliminación del subsidio de combustible promoviendo al desarrollo sostenible del mismo.

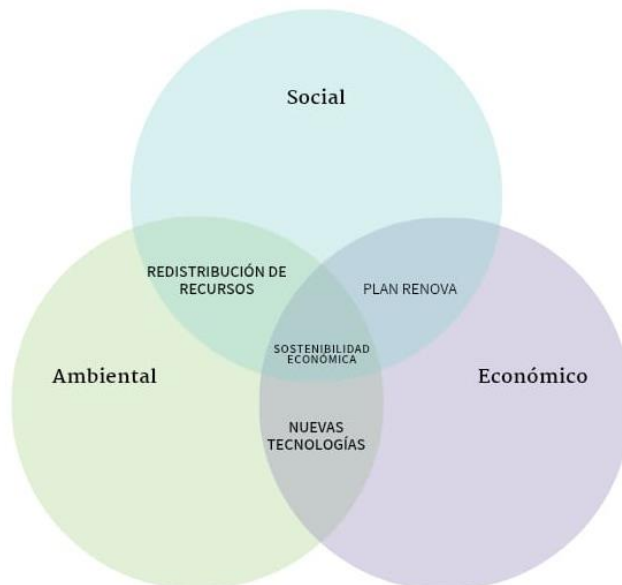


Figura 3.16 Desarrollo de sostenibilidad y transporte

En el ámbito social se prevé implementar en Ecuador una directriz inspirada en el enfoque de subsidio al combustible de Chile, que se caracteriza por su focalización en sectores vulnerables y regiones específicas, en lugar de un subsidio generalizado, como al transporte de carga, al transporte público, y a regiones extremas que reciben subsidios directos al transporte de combustibles, reduciendo los costos asociados al cabotaje marítimo (transporte de combustibles desde otras partes del país). Este modelo permite redistribuir los recursos hacia programas sociales y ambientales prioritarios, promoviendo una transición energética sostenible y una mayor equidad social. Al aplicar este enfoque, se busca reducir la dependencia de combustibles fósiles, mitigar los impactos ambientales negativos y beneficiar a las comunidades más necesitadas, alineando esta propuesta con los principios del desarrollo sostenible y los compromisos climáticos globales.

En el ámbito ambiental se prevé que fomente la transición hacia tecnologías más limpias en el sector automotriz como parte de la eliminación gradual del subsidio al combustible. Al incentivar el uso de vehículos más modernos, se busca reducir significativamente las emisiones contaminantes generadas por el transporte. Esta propuesta no solo disminuiría la contaminación ambiental y mejoraría la calidad del aire, sino que también contribuiría a los

compromisos climáticos del país, favoreciendo un modelo de movilidad sostenible y responsable con el medioambiente.

En el aspecto económico se prevé implementar en Ecuador una directriz que, junto con la eliminación gradual del subsidio al combustible, promueva un plan de renovación vehicular como el "Plan Renova". Este programa incentivaría la sustitución de vehículos antiguos por modelos más eficientes y menos contaminantes, generando beneficios económicos tanto para el Estado como para el pueblo. Para el Estado, se reducirían los costos asociados al subsidio, mientras que la ciudadanía podría acceder a vehículos más modernos con menores costos operativos y de mantenimiento.

En base a los resultados de análisis de vida útil, categorización de vehículos y consumo de combustible, y desarrollo de sostenibilidad y transporte, se propuso eliminar el subsidio progresivamente, con la finalidad de promover a la adquisición de vehículos de mejor tecnología con un menor consumo bajo la implementación del Plan Renova, añadiendo que esto favorecerá a disminuir más las emisiones provocadas por vehículos con mayor años de antigüedad y aplicar así mismo la propuesta de actualización de normativa que se impuso.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

1. La evolución de la normativa ecuatoriana de emisiones vehiculares, reflejada en las actualizaciones de la NTE INEN 2204 entre 2010 y 2017, evidencia un enfoque limitado a mejoras en los procedimientos y requisitos técnicos de prueba, sin introducir cambios significativos en los límites permitidos de emisiones de gases, esto responde, en parte, a la falta de un marco nacional de investigación y desarrollo que permita fundamentar científicamente ajustes en los límites establecidos.

2. La transición de tecnologías desde el carburador hacia la inyección directa ha mejorado significativamente, es evidente el gran cambio referente a la eficiencia agregado una ECU desde el sistema monopunto, que vuelve más eficiente al sistema, también con la implementación de sensores y actuadores post combustión como el sensor HEGO, EGO, EGR, EVAP y catalizadores 3 vías, con la finalidad de limitar el índice de contaminación del motor, y reducir aún más el 27% de los vehículos que presentaron valores fuera del rango aceptable de medición.. Además, el aumento progresivo en las presiones de trabajo ha favorecido una combustión más eficiente, mientras que la presión de inyección del carburador es de aproximadamente 1,5 bares, en sistemas más avanzados como el monopunto es de 3 bares, en el multipunto llega a 4 bares, y en la inyección directa alcanza los 200 bares. Estas mayores presiones permiten una atomización más fina del combustible, mejorando su mezcla con el aire y favoreciendo una combustión más completa,

3. El aumento progresivo del porcentaje de dióxido de carbono (CO₂) emitido por los vehículos ha sido directamente influenciada por los avances tecnológicos en los sistemas de alimentación de combustible, desde el carburador hasta la inyección directa, mejorando la dosificación del combustible y así optimizando el proceso de combustión y aumentando aún más las emisiones de CO₂, la implementación de hibridaciones y el downsizing ha sido clave para reducir las emisiones vehiculares al combinar motores más pequeños y eficientes con sistemas eléctricos de apoyo. El downsizing disminuye el tamaño y la cilindrada de los motores, manteniendo o incluso aumentando su potencia.

4. En las pruebas estáticas de emisiones de gases, diversas variables pueden alterar los resultados y comprometer la precisión de las mediciones. Factores como la tecnología. Año

de fabricación y la cilindrada mantenimiento del vehículo, el alto kilometraje, afectan significativamente, mientras tanto no repercuten significativamente en las emisiones de gases, las bajas temperaturas de trabajo, la saturación del analizador de gases y la contaminación del área de medición pueden influir en la efectividad de los sistemas de control de emisiones y distorsionar las lecturas. En la campaña experimental se evidenció que el 21 % los vehículos se encuentran fuera de los normativos y no cumplieron por falta de mantenimiento y alto kilometraje.

5. Se realizó una campaña experimental con 170 vehículos sometidos a una prueba estática de emisiones de gases, cuyos resultados demostraron que es factible actualizar la normativa aplicable a todo el parque automotor, para vehículos menores al año 1989 límites de 700 ppm (HC) 5.5% (CO), 4.5% (O₂), para vehículos entre los años 1990 y 1999 límites de 400 ppm (HC), 3,5 % (CO) y 4,0% (O₂), para vehículos comprendidos entre los años 2000 y 2010 límites de 200 ppm (HC), 3,0 % (CO) Y 1.4% (O₂), esto considerando los cuartiles superiores de los datos obtenidos para dar una mayor permisibilidad para una estrategia a la transición de una nueva normativa.

6. Basado en un análisis de vida de un vehículo de categoría M1, se propuso la implementación del “Plan Renova”, orientado a modernizar el parque automotor. Este plan busca eliminar progresivamente el subsidio de combustible para vehículos de baja tecnología y mayor antigüedad, generando beneficios tanto para el Estado como para el usuario, se evidencio que la edad de vida útil del vehículo analizado, repercute a partir de los 15 años, considerando las variables de adquisición inicial, consumo de combustible, mantenimiento, reparación de motor e impuestos (matriculación).

4.2. Recomendaciones

1. Proponer una revisión de los resultados al Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) para su consideración. Estas propuestas, basadas en un análisis exhaustivo de las emisiones y las tecnologías actuales, pueden contribuir significativamente a la mejora de las normativas y al control de las emisiones en el país con la finalidad de comparar las propuestas de actualización de la normativa de emisiones de gases, junto con los nuevos límites

establecidos, con las normativas internacionales de primer mundo, con la finalidad de nivelar técnicamente nuevos estándares.

2. Realizar un estudio de la gasolina utilizados en Ecuador, con el fin de complementar y robustecer el estudio sobre las emisiones vehiculares y su correlación entre el índice de octanaje y los niveles de emisiones y lo cual permitirá proporcionar un enfoque más integral y preciso para la actualización de las normativas de emisiones en el país.

3. Promover campañas de concientización dirigidas a la población, con el objetivo de informar sobre los efectos negativos de las emisiones contaminantes y la importancia de adoptar tecnologías más limpias, incentivando con beneficios propios al adquirir vehículos más sostenibles, con el objetivo de emprender como proyecto de vinculación dirigido a colegios, sindicatos, institutos y promover el tema investigado.

4. Realizar un análisis de mediciones de gases bajo pruebas de emisiones dinámicas, y fortalecer el cálculo del subsidio de combustible focalizado en más sectores específicos del país.

5. Usar la presente investigación como punto de partida para estimar la evolución de las tecnologías empleadas en diferentes regiones del país, con la finalidad de promover la innovación del parque automotor bajo la propuesta establecida en la misma.

Referencias Bibliográficas

- [1] Ecuavisa, “revisión técnica vehicular. Noticias sobre revisión técnica vehicular.” Accessed: Jun. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.ecuavisa.com/metadatos/-/meta/revision-tecnica-vehicular>
- [2] Moscoso Fabián, “Situación revisión vehicular. .” Accessed: Jun. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.facebook.com/watch/?v=276137094280775>
- [3] Servicio Ecuatoriano de Normalización, “GESTIÓN AMBIENTAL AIRE VEHÍCULOS AUTOMOTORES LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES QUE EMPLEAN GASOLINA,” *INEN*, 2017.
- [4] Secretaria Nacional de Planificación, “Plan-de-Creación-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado,” 2021.
- [5] Chavez Luis, “ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES PROVOCADAS POR VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA EN EL CANTÓN QUEVEDO,” 2019.
- [6] Mejía Miguel, “ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LAS POLÍTICAS DEL PLAN DE RENOVACIÓN VEHICULAR Y CHATARRIZACIÓN EN LA FLOTA DE AUTOBUSES URBANOS DE LA PROVINCIA DE IMBABURA,” 2019.
- [7] Utreras Edison and Valencia Jimmi, “REGENERACIÓN DE CATALIZADORES AUTOMOTRICES DE MOTORES A GASOLINA A PARTIR DE SUSTANCIAS POLARES,” 2021.
- [8] Utreras Edison and Valencia Jimmi, “REGENERACIÓN DE CATALIZADORES AUTOMOTRICES DE MOTORES A GASOLINA A PARTIR DE SUSTANCIAS POLARES,” 2021.
- [9] Nuñez Santiago, “El trabajo de investigación se acelera en este campus | Revista Líderes.” Accessed: Jun. 24, 2024. [Online]. Available:

<https://www.revistalideres.ec/lideres/investigacion-universidad-norte-ibarra-ecuador.html>

- [10] León Wilmer and Morocho Carlos, “Elaboración de bancos didácticos funcionales de motores de encendido provocado.” 2012.
- [11] K. Urrecheaga and M. Malaver, “Análisis de las temperaturas y de la eficiencia térmica en el ciclo de Otto,” 1989.
- [12] K. Urrecheaga and M. Malaver, “Análisis de las temperaturas y de la eficiencia térmica en el ciclo de Otto,” 1989.
- [13] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill Education, 2018. Accessed: Dec. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260116106>
- [14] Valor Enric and Zuñiga Juan, “Compresión adiabática.” Accessed: Dec. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.uv.es/uvweb/fisica/es/catalogo-demos/termodinamica/compresion-adiabatica-1286053998301/DemoExp.html?id=1286110787831>
- [15] Smarter Study, “Expansión Adiabática: Termodinámica, Física | StudySmarter.” Accessed: Dec. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.studysmarter.es/resumenes/ingenieria/termodinamica-de-ingenieria/expansion-adiabatica/>
- [16] V. A. Taípe-Defaz, E. A. Llanes-Cedeño, C. F. Morales-Bayetero, and A. E. Checa-Ramírez, “Evaluation of an experimental induced ignition engine under different gasoline,” *Ingenius*, vol. 2021, no. 26, pp. 17–29, Jul. 2021, doi: 10.17163/INGS.N26.2021.02.
- [17] Bosch Roberth, “Manual de la técnica del Automóvil.” 2005.
- [18] Gómez Luis, “Termodinámica Ciclo de Otto.” Accessed: Jun. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/termo2p/otto.html>

- [19] Fonseca Jhonatan, Granizo Junior, Castillo Edison, and Montufar Paúl, “Determinación experimental de la eficiencia mecánica de un motor de combustión interna de encendido provocado por medio de las curvas de torque y potencia.,” Jul. 2022.
- [20] Rios Zoilo, “Rendimiento de un motor.” Accessed: Dec. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.zoilorios.com/noticias/rendimiento-de-un-motor-que-es-y-como-se-mide>
- [21] Rocha Carlos and Zambrano Victor, ““ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO, DEBIDO A LA PRESENCIA DE ADITIVOS,”” 2015.
- [22] Iztacala, “Ley General del Estado Gaseoso: Ecuación de los Gases Ideales.” Accessed: Dec. 01, 2024. [Online]. Available: https://repositorio-uapa.cuaieed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/2887/mod_resource/content/1/UAPA-Ley-General-Estado-Gaseoso/index.html
- [23] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 935:2012 Gasolina,” Quito, Jun. 2012.
- [24] Revista Autocrash, “Evolución de los sistemas de inyección de combustible - Revista Autocrash - CesviColombia.” Accessed: Jun. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.revistaautocrash.com/evolucion-de-los-sistemas-de-inyeccion-de-combustible/>
- [25] Alba José and Burgos Luis, “Reparación de un motor de combustión interna alimentado por carburador. (Dentro del prototipo de un vehículo Híbrido.,” 2016.
- [26] Giovanni Battista Venturi, “Efecto Venturi.” Accessed: Dec. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.ayrful.com.ar/carburadores-y-tubos-venturi-giovanni-battista-venturi/>
- [27] Universidad Nacional de la Plata, “Carburación y Lubricación,” 2021.

- [28] Kart T., “El carburador de cuba.” Accessed: Dec. 08, 2024. [Online]. Available: <https://tkart.it/es/magazine/tecnica/carburador-2-tiempos-carburador-de-cuba-kart-manual-funcionamiento-carburador-de-vacio-manual-carburador-dellorto>
- [29] Carman Grupo, “Carburador definición y partes.” Accessed: Dec. 08, 2024. [Online]. Available: <https://grupocarman.com/blog/2015/04/24/carburador-definicion-y-partes/>
- [30] Rosero Luis and Ruales Ricardo, “ADAPTACION DE CARBURADORES PARA MEJORAR UN 2% LA POTENCIA EN EL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS DE MOTOCICLETA,” 2010.
- [31] HR Motors, “¿Qué es la aguja del flotador? | HR Motor.” Accessed: Dec. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.hrmotor.com/que-es/aguja-del-flotador/>
- [32] Alba José and Burgos Luis, “Reparación de un motor de combustión interna alimentado por carburador. (Dentro del prototipo de un vehículo Híbrido.,” 2016.
- [33] Almachi Anthony, “Evaluación del consumo de combustible y emisiones de una moto a 4 tiempos, al sustituir el carburador de campana, por un carburador de diafragma,” 2023.
- [34] Nossovitch Pedro, “Carburadores,” 2020.
- [35] “Cómo funcionan los sistemas de encendido | Consejos técnicos de Champion.” Accessed: Jul. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.championautoparts.com/es-mx/Technical/Tech-Tips/How-Ignition-Systems-Work.html>
- [36] Berbecho Fernando, Matute Mauricio, and Pachacama David, “Implementación de un sistema de inyección Multipunto a un motor Daewoo G15SF y construcción de un banco didáctico funcional para el laboratorio de motores de combustión interna de la carrera de ingeniería mecánica automotriz.,” 2018.
- [37] Egas Daniel and Pino Miguel, “ANÁLISIS COMPARATIVO DE TORQUE Y POTENCIA DE LAS DIFERENTES ETAPAS EVOLUTIVAS DEL SISTEMA DE ENTREGA DE COMBUSTIBLE,” 2020.

- [38] Gillespie Thomas, “Fundamentals of Vehicle Dynamics.” Accessed: Dec. 02, 2024. [Online]. Available: [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=LeybEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Gillespie,+T.+D.+\(1992\).+Fundamentals+of+Vehicle+Dynamics.+Society+of+Automotive+Engineers+\(SAE\)&ots=WVEVoaTzYF&sig=_kxdMeJZqNCVFzl8usn8OO2NN6U#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=LeybEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Gillespie,+T.+D.+(1992).+Fundamentals+of+Vehicle+Dynamics.+Society+of+Automotive+Engineers+(SAE)&ots=WVEVoaTzYF&sig=_kxdMeJZqNCVFzl8usn8OO2NN6U#v=onepage&q&f=false)
- [39] Cisterna Hector, “Sistema Mono Jetronic.” Accessed: Dec. 08, 2024. [Online]. Available: https://mofler.com/uploads/attachments/monthly_2018_06/curso-sistema-inyeccion-monopunto-mono-motronic-medidor-caudal-aire-cuerpo-inyector-regulador-presion-sistemas_pdf.a9a87d5f9a356c22ee98a3cd7c824655
- [40] BOSCH, “SISTEMA DE INYECCION KE-JETRONIC.” Accessed: Dec. 08, 2024. [Online]. Available: <https://starinjection.com.ar/2023/05/08/sistema-de-inyeccion-k-jetronic-ke-jetronic/>
- [41] Bosch, “Sistema L-JETRONIC.” Accessed: Dec. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.bosch-repair-service.com/es/unidades-de-control-del-motor/bosch/l-jetronic-0280000150001/>
- [42] Bosch, “SISTEMAS DE INYECCIÓN.” Accessed: Dec. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.iturria.com.ar/wp-content/uploads/2021/06/Bosch-Inyeccion-Nafta.pdf>
- [43] Universidad de la Plata, “Sistemas de inyección Monopuno,” 2020.
- [44] Berbecho Fernando, Matute Mauricio, and Pachacama David, “Implementación de un sistema de inyección Multipunto a un motor Daewoo G15SF y construcción de un banco didáctico funcional para el laboratorio de motores de combustión interna de la carrera de ingeniería mecánica automotriz.,” 2018.
- [45] Inostroza Luis, “Sistema de inyección Monopunto,” 2020.
- [46] Inostroza Luis, “Sistema de inyección Monopunto,” 2020.
- [47] Jack. Erjavec and Rob. Thompson, *Automotive technology: a systems approach*. Cengage, 2020.

- [48] “Qué es, cómo funciona el distribuidor o ‘delco’ y cuánto cuesta repararlo en caso de avería.” Accessed: Jul. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.motorpasion.com/revision/que-como-funciona-distribuidor-delco-cuanto-cuesta-repararlo-caso-averia>
- [49] Egas Daniel and Pino Miguel, “ANÁLISIS COMPARATIVO DE TORQUE Y POTENCIA DE LAS DIFERENTES ETAPAS EVOLUTIVAS DEL SISTEMA DE ENTREGA DE COMBUSTIBLE,” 2020.
- [50] K. Reif Ed, “Gasoline Engine Management Systems and Components Bosch Professional Automotive Information,” 2015.
- [51] Sevilla Esteban, “Construcción y caracterización de un banco de pruebas de encendido sin distribuidor,” 2017.
- [52] Haya Santiago, “Motores de inyección directa de encendido por chispa:Análisis conceptual de las tecnologías e implicaciones en las prestaciones.,” 2019.
- [53] “#92 Inyección directa de combustible - Instituto de Auto...” Accessed: Jul. 01, 2024. [Online]. Available: <https://iad.la/blogs/inyeccion-directa/>
- [54] Milla Cesar, “Estudio del funcionamiento de un motor de inyección electrónica directa a gasolina en diferentes alturas con respecto al nivel del mar.,” 2018.
- [55] J. D. . Halderman and Jim. Linder, “Automotive fuel and emissions control systems,” 2012.
- [56] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill Education, 2018. Accessed: Nov. 30, 2024. [Online]. Available: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260116106>
- [57] Pruebaderuta, “Catalizador .” Accessed: Jun. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.pruebaderuta.com/catalizador.php>
- [58] “Aprende Inyección Electrónica gratis online / Descarga manuales gratis: BOBINA DE ENCENDIDO COP MULTICHISPA - Aprende gratis online.” Accessed: Jul. 01, 2024. [Online]. Available:

<https://inyeccionelectronicamotores.blogspot.com/2016/08/bobina-de-encendido-cop-multichispa.html>

- [59] Mogul Federal, “Bobinas COP,” 2021.
- [60] Bosch, “Técnica de los gases de escape para motores de gasolina,” 2000.
- [61] Chavez Luis, “Análisis de emisiones de gases contaminantes provocadas por vehículos de combustión interna en el cantón Quevedo.,” 2019.
- [62] Road Vehicles, “Automóviles: Normas de seguridad para vehículos de transporte por carretera.” Accessed: Dec. 09, 2024. [Online]. Available: https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr7_000007.html
- [63] ENV, “Act on Regulations for Emissions from Non-Road Vehicles - Japanese.” Accessed: Dec. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.japaneselawtranslation.go.jp/en/laws/view/3128>
- [64] Bosch, “Libro Manual de la Técnica del Automovil (4ª Ed.) De Bosch - Buscalibre.” Accessed: Jun. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.buscalibre.ec/libro-manual-de-la-tecnica-del-automovil-4-ed/9783934584822/p/1095484>
- [65] Epa, “Multi-Pollutant Emissions Standards for Model Years 2027 and Later Light-Duty and Medium-Duty Vehicles – Program Announcement.,” 2023.
- [66] SGS Inspección Técnica de Vehículo, “¿Qué es el valor lambda ITV y qué implica en la inspección?” Accessed: Dec. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.serviciositv.es/blog/informacion-itv/que-es-el-valor-lambda-itv-y-que-implica-en-la-inspeccion>
- [67] Alvarado T, Cadavid S, Mondragon P, Amel A, and Machado M, “Formación de Óxidos de nitrógeno en condiciones de combustión sin llama,” 2021.
- [68] EPA, “Descripción general de los gases de efecto invernadero.” Accessed: Nov. 30, 2024. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases#carbon-dioxide>

- [69] Capelec, “Capelec CAP 3201 Manual de Usuario.” Accessed: Jun. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.capelec.com/es/equipements/emisiones/cap3201-g>
- [70] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 2 203:200 0,” 2000. [Online]. Available: www.pdfactory.com
- [71] PrácticaTest Costa Rica, “Qué es el factor Lambda de un vehículo.” Accessed: Dec. 01, 2024. [Online]. Available: <https://practicatest.cr/blog/vehiculos/que-es-el-factor-lambda-de-un-vehiculo>
- [72] J. C. Rocha-Hoyos, D. Zambrano, Á. Portilla, G. Erazo, G. Torres, and E. Llanes-Cedeño, “Análisis de Gases del Motor de un Vehículo a través de Pruebas Estáticas y Dinámicas. //Analysis of Gases of the Engine of a Vehicle through Static and Dynamic Tests.,” *CIENCIA UNEMI*, vol. 11, no. 28, pp. 97–108, Oct. 2018, doi: 10.29076/ISSN.2528-7737VOL11ISS28.2018PP97-108P.
- [73] MACO Inspección de Vehículos, “Factor LAMBDA.” Accessed: Dec. 09, 2024. [Online]. Available: <https://itv-maco.es/factor-lambda-itv/>
- [74] Asif Faiz, Weaver Christopher, and walsh Michael, “Air Pollution from Motor Vehicles Standards and Technologies for Controlling Emissions,” 1996.
- [75] Sánchez Luis, Fabela Manuel, Centeno Oscar, Hernández José, Vázquez David, and Cruz Mauricio, “REVISIÓN DE LA NORMATIVA INTERNACIONAL SOBRE LÍMITES DE EMISIONES CONTAMINANTES DE VEHÍCULOS DE CARRETERA,” 2019.
- [76] European Parliament of the Council, “Regulation - 582/2011 - EN - EUR.” Accessed: Dec. 09, 2024. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/582/oj>
- [77] L. Gerardo *et al.*, “REVISIÓN DE LA NORMATIVA INTERNACIONAL SOBRE LÍMITES DE EMISIONES CONTAMINANTES DE VEHÍCULOS DE CARRETERA,” 2019.

- [78] Code of Federal Regulations, “Engine-Testing Procedures.” Accessed: Dec. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-U/part-1065>
- [79] Robert Bosch, “Bosch Automotive Handbook -9th Edition by Robert Bosch GmbH,” *Bosch Automotive Handbook -9th Edition by Robert Bosch GmbH*, 2014, Accessed: Jun. 13, 2024. [Online]. Available: https://www.academia.edu/42054063/Bosch_Automotive_Handbook_9th_Edition_by_Robert_Bosch_GmbH
- [80] Renting Finders, “Normativa EURO .” Accessed: Jun. 13, 2024. [Online]. Available: <https://rentingfinders.com/glosario/normativa-euro/>
- [81] H. Nakamura and M. Adachi, “Engine emissions measurement handbook : HORIBA automotive test systems,” p. 190, 2013, Accessed: Jun. 13, 2024. [Online]. Available: <http://books.sae.org/jpf-hor-002/>
- [82] EPA, “Document Display | NEPIS | US EPA.” Accessed: Dec. 09, 2024. [Online]. Available:
- [83] The international council on clean transportation, “Regulación sobre emisiones de vehículos pesados en México.,” 2014.
- [84] “Verificación Vehicular.” Accessed: Jul. 08, 2024. [Online]. Available: <https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/verificacion-vehicular>
- [85] S. D. T. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES and Ley de Chile, “Decreto 149 24-ABR-2007 -Biblioteca del Congreso Nacional.” Accessed: Jul. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=260350>
- [86] V. Y. D. T. MINISTERIO DE AMBIENTE and República de Colombia, “Resolución N.910 Niveles permisibles de emisión de contaminantes.,” 2008.
- [87] San Salvador, “Norma fuentes móviles NSO 13.11.03.01,” 2003.

- [88] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, “NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 204:2000,” 2000.
- [89] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “RTE-INEN 017:2008,” 2008.
- [90] Servicio Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 2656,” 2016.
- [91] “Calculadora de tamaño de muestra | QuestionPro.” Accessed: Dec. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.questionpro.com/es/calculadora-de-muestra.html>
- [92] “64.259 vehículos matriculados en 2023 en la zona norte – Diario La Hora.” Accessed: Dec. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.lahora.com.ec/imbabura-carchi/64259-vehiculos-matriculados-2023-zona-norte/>
- [93] L. Castellazzi, A. Tonoli, N. Amati, and E. Galliera, “A study on the role of powertrain system dynamics on vehicle driveability,” *Vehicle system dynamics*, vol. 7, no. 55, pp. 1012–1028, Jul. 2001, doi: 10.1080/00423114.2017.1294699.

Anexos

Anexo 1. Campaña de medición.

Carburador

Marca	Modelo	Año	Grupos	Año de Rev	HC (ppm)	CO (%)	O2 (%)
Volkswagen	Beetle	1990	1980-1990	2021	980	8	3,3
Volkswagen	Beetle	1990	1980-1990	2022	453	5,5	3
Volkswagen	Beetle	1990	1980-1990	2023	477	5,7	3,6
Volkswagen	Beetle	1990	1980-1990	2024	356	4,6	2,7
Fiat	Uno	1988	1980-1990	2021	675	5,5	4,4
Fiat	Uno	1988	1980-1990	2022	589	5,1	4,1
Fiat	Uno	1988	1980-1990	2023	566	5,1	4,2
Fiat	Uno	1988	1980-1990	2024	598	6,4	3,7
Fiat	Uno	1985	1980-1990	2021	452	4,7	3,3
Fiat	Uno	1985	1980-1990	2022	542	3,8	3,3
Fiat	Uno	1985	1980-1990	2023	690	4,7	4,4
Volkswagen	Beetle	1986	1980-1990	2021	475	4,4	3,3
Volkswagen	Beetle	1986	1980-1990	2022	574	4,9	4,8
Volkswagen	Beetle	1986	1980-1990	2023	633	5,8	3,6
Chevrolet	Blazer	1990	1980-1990	2020	677	4,9	3
Chevrolet	Blazer	1990	1980-1990	2021	589	3,8	3,5
Chevrolet	Blazer	1990	1980-1990	2022	577	3,3	2,7
Chevrolet	Blazer	1990	1980-1990	2023	760	4	2,1
Suzuki	Forsa	1992	1991- 1994	2021	82	1,7	1
Suzuki	Forsa	1992	1991- 1994	2022	201	4	0,9
Suzuki	Forsa	1992	1991- 1994	2023	739	3,48	0,42
Suzuki	Forsa	1992	1991- 1994	2024	118	5,33	0,3
Nissan	L200	1993	1991- 1994	2020	780	6,6	5,4
Nissan	L200	1993	1991- 1994	2021	166	1,4	0,9
Nissan	L200	1993	1991- 1994	2022	546	6,4	0,9
Nissan	L200	1993	1991- 1994	2023	531	0,7	0,6
Nissan	L200	1993	1991- 1994	2024	376	1,36	0,9
Volkswagen	Golf	1991	1991- 1994	2021	654	5,3	3,3
Volkswagen	Golf	1991	1991- 1994	2022	456	4,6	2,8
Volkswagen	Golf	1991	1991- 1994	2023	450	4,5	3,3
Volkswagen	Golf	1991	1991- 1994	2024	244	3,3	2,4
Ford	Bronco	1991	1991- 1994	2022	786	4,4	3,6
Ford	Bronco	1991	1991- 1994	2023	564	4,6	3,3
Ford	Bronco	1991	1991- 1994	2024	587	5,1	6

Toyota	Stout	1995	1995 - 2000	2020	426	2,1	0,3
Toyota	Stout	1995	1995 - 2000	2021	632	4,5	0,9
Toyota	Stout	1995	1995 - 2000	2022	758	4,9	1,2
Toyota	Stout	1995	1995 - 2000	2023	475	6,1	3,5
Suzuki	Forsa 2	1995	1995 - 2000	2020	110	2,5	2,4
Suzuki	Forsa 2	1995	1995 - 2000	2021	166	3,8	2,2
Suzuki	Forsa 2	1995	1995 - 2000	2022	198	3,3	3
Suzuki	Forsa 2	1995	1995 - 2000	2023	201	3,6	1,5
Suzuki	Forsa	1994	1995 - 2000	2021	453	2,8	3,3
Suzuki	Forsa	1994	1995 - 2000	2022	501	3,3	2,5
Suzuki	Forsa	1994	1995 - 2000	2023	643	3,8	2,6