



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

Estudio de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) provenientes del biodiesel a base de aceites empleados en la industria alimentaria y su reutilización en un motor de compresión Euro 5, en el Distrito Metropolitano de Quito.

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

AUTOR: DAVID ANDRES RUGEL CAMPOVERDE

TUTOR: MARIO ALEXANDER PERALVO CLAVON

Quito - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, David Andres Rugel Campoverde, con el número de identificación: 1720798899 manifiesto que:

Soy autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 14 septiembre del año 2023

Atentamente,



David Andres Rugel Campoverde

1720798899

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

Yo, David Andres Rugel Campoverde, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: **“Estudio de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) provenientes del biodiesel a base de aceites empleados en la industria alimentaria y su reutilización en un motor de compresión Euro 5, en el Distrito Metropolitano de Quito.”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

Quito, 14 septiembre del año 2023

Atentamente,



David Andres Rugel Campoverde

1720798899

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mario Alexander Peralvo Clavon con documento de identificación N° 1718133448 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTUDIO DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂), ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NOX) PROVENIENTES DEL BIODIESEL A BASE DE ACEITES EMPLEADOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA Y SU REUTILIZACIÓN EN UN MOTOR DE COMPRESIÓN EURO 5 EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, realizado por David Andres Rugel Campoverde, con el número de identificación 1720798899, obteniendo como resultado final del trabajo de titulación bajo la opción: Artículo Académico, mismo que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 14 septiembre del año 2023

Atentamente:



Ing. Mario Alexander Peralvo Clavon, MSc.

1718133448

Agradecimientos

Agradezco al destino, por haberme coincidido de entre todo el polvo estelar que nos rodea, con las personas más importantes. A mis padres, por darme las herramientas para superarme, a mi Gaia, porque sin su compañía y cariño nada de esto tendría sentido. A mi hermosa Denisse, por amarme más de lo que debería, sin ella no hubiera llegado donde estoy. Y, por último, pero no menos importante, gracias a mí. Por cada desvelada, cada joda, cada momento de desasosiego e inconciencia que me llevaron hasta aquí. Gracias por hacerlo posible.

Estudio de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) provenientes del biodiesel a base de aceites empleados en la industria alimentaria y su reutilización en un motor de compresión Euro 5, en el Distrito Metropolitano de Quito.

Study of carbon dioxide (CO₂) and oxides (NO_x) emissions from biodiesel made from oils used in the food industry, and their reuse in a Euro 5 compression engine, in the Metropolitan District of Quito.

David A. Rugel-Campoverde

Resumen: El siguiente estudio fundamenta una base para la toma de datos de manera estática en materia de emisiones contaminantes NO_x y CO₂ a nivel nacional. Mediante el uso de emulsiones B5 y B10 de biodiesel, usando herramientas automotrices para corroborar la disminución de gases residuales provenientes de un vehículo de encendido por compresión Euro 5. Debido a un alza en la adquisición de vehículos comerciales diésel y los posibles alcances de mejoramiento al adoptar emulsiones de manera nativa en el mercado nacional.

Palabras Clave: Biodiesel, emulsiones, gases residuales, NO_x, CO₂, Euro 5, reducción.

Abstract: The following study establishes a basis for static data collection on NO_x and CO₂ pollutant emissions applicable at a national level. Using B5 and B10 biodiesel emulsions, as well as automotive tools to verify the reduction of residual gases from a Euro 5 compression ignition vehicle. Due to an increase in the acquisition of diesel commercial vehicles and the potential scope for improvement by natively adopting emulsions in the national market.

Keywords: Biodiesel, emulsions, residual gases, NO_x, CO₂, Euro 5, reduction.

I. Introducción:

En el contexto actual del sector automotriz en Ecuador, la selección de un vehículo se ve influenciada por la importancia de la innovación y la comercialización. Sin embargo, es necesario abordar una consecuencia inevitable de esta situación: las emisiones residuales producidas tanto por vehículos de uso público como privado. Esta problemática requiere una perspectiva científica para encontrar soluciones eficaces y sostenibles. Emisiones, compuestas principalmente por óxidos de nitrógeno (NOx), material particulado (PM), dióxido de carbono (CO2), entre otros, son dañinas para el medio ambiente, degradando aún más la capa de ozono [1]. Además, representan una fuente de riesgo para la salud al provocar diversas afecciones respiratorias, enfermedades cardiovasculares e incluso cáncer [2].

Por esta razón, en la actualidad, la regulación del uso de vehículos se encuentra en consonancia con la normativa Euro de emisiones contaminantes, limitando el uso de vehículos obsoletos que no cumplan con dichos estándares [3]. A pesar de que en el mercado ecuatoriano aún prevalece el uso de vehículos que incumplen la normativa Euro, ya sea por antigüedad o vacíos legales, gran parte de este sector se encuentra en constante evolución, y esto a su vez vislumbra una oportunidad para mejorar la condición del aire.

Si bien los vehículos con motores de encendido por chispa (gasolina) constituyen una gran parte del mercado de vehículos particulares, la demanda de vehículos para transporte de pasajeros, transporte de carga y el incremento en el precio de los combustibles han impulsado la adopción de vehículos con motores de compresión (gasóleo) como una alternativa más viable [4]. De esta manera, se ha establecido un enfoque de mercado en la movilidad urbana para vehículos particulares.

El Ecuador, como muchos otros países, enfrenta el reto de disminuir las emanaciones de gases que causan la retención de calor solar y contaminantes atmosféricos en el sector del transporte. Los

vehículos diésel, en comparación a su contraparte, son una fuente importante de NOx y CO2, los cuales son nocivos y perjudiciales [5]. En este contexto, el gobierno ecuatoriano y la industria automotriz han buscado implementar medidas para disminuir los gases residuales en vehículos diésel, incluyendo la adopción de normativas de emisiones más estrictas como la descrita previamente. Sin embargo, la falta de políticas administrativas y el subsidio de los combustibles han establecido un sinnúmero de problemas para la sostenibilidad y cumplimiento de dichas medidas [6]. Dando como resultado un mercado deficiente de combustibles fósiles, en el que los mismos, se encuentran con una cantidad alarmante de partículas de azufre, agua y material particulado, asimismo como su bajo rendimiento de combustible, siendo estas el poder calorífico y estabilidad de combustión. Además, cabe recalcar el déficit existente en los cuidados de las diferentes bombas de combustible de diversos fabricantes, al no tener un control exhaustivo de calidad, comprometen tanto el almacenamiento, como a su distribución. Esto pone en riesgo la composición del combustible, contaminándolo. En consecuencia, se ha observado una tendencia en los consumidores a elegir una marca específica al abastecer sus vehículos con combustibles nuevos. Esta preferencia se basa en la percepción de que ciertas marcas ofrecen un mejor rendimiento, eficiencia y menor impacto ambiental, respaldada por investigaciones científicas [5]. Estos estudios han demostrado que la calidad y composición del combustible pueden influir significativamente en el desempeño del motor, las emisiones y la durabilidad del vehículo, debido a la mala percepción y reputación de otras marcas distribuidoras. A nivel nacional, la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR) ha tomado medidas y procedió con dar a conocer la realización de pruebas semanales del estado de la gasolina super y extra. Con el fin de verificar su octanaje y pureza, sin embargo, esto no sucede con el gasoil, el cual posee muchas impurezas.

Si bien la contaminación ambiental aumenta con un combustible de menor calidad, es meritorio

mencionar una de las diferentes alternativas más prometedoras que existen para la disminución de gases NOx y CO2 en vehículos diésel en el país. El uso de emulsiones de biodiésel, como B5, B10, etc. Estas emulsiones consisten en mezclas de diésel convencional y biodiésel en proporciones del 5% y 10% respectivamente. El biodiésel es un biocombustible renovable y biodegradable, derivado de óleos vegetales o grasas de origen animal, que puede utilizarse en motores de compresión sin necesidad de modificaciones significativas [7]. Además, organismos del gobierno ecuatoriano ha implementado políticas y proyectos para impulsar el uso de biocombustibles, como el Suplemento de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética [8]. Mismo que establece metas de incorporación de biocombustibles en el mercado de vehículos nacionales destinados para diferentes industrias. Estas iniciativas pueden facilitar la adopción de emulsiones de biodiésel en el mercado ecuatoriano y contribuir a la reducción de las gases nocivos en vehículos que funcionen con gasóleo.

El biodiésel se encuentra en estado líquido, el cual se sintetiza mediante un procedimiento químico llamado transesterificación. Este proceso consiste en la reacción de un aceite o grasa (generalmente puede denominarse de origen animal) con un alcohol, ya sea metanol o etanol, juntamente con un catalizador, por ejemplo, el hidróxido de sodio o potasio. El resultado es la generación de ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos, que conforman el biodiésel, y glicerina como subproducto [9]. Asimismo, es una alternativa renovable y más sostenible al diésel convencional, que se obtiene a partir de petróleo crudo y su respectivo proceso químico de tratado de naftas. Su uso en la industria automotriz ha ganado interés en las últimas décadas debido a la creciente preocupación por la seguridad energética, la reducción de las emisiones de gases residuales, así como la contaminación atmosférica [7].

Uno de los primordiales beneficios del biodiésel es su compatibilidad con los motores de compresión existentes, y su consonancia con los beneficios asociados a su uso. Dicho combustible

se puede utilizar puro (B100) o mezclado con diésel convencional, comúnmente conocidas como emulsiones, y en diferentes proporciones, como B30 (30% de biodiésel y 70% de diésel) o B10 (10% de biodiésel y 90% de diésel) siendo estas dependientes del vehículo y el fin último que se tenga para el combustible [10]. Asimismo, gracias a las emulsiones se pueden identificar beneficios en la lubricidad de los elementos mecánicos, siendo el biodiésel un combustible de origen orgánico, aporta una mayor protección al liberar partículas de azufre en las camisas de los cilindros del motor, las cuales a su vez forman una capa protectora que reduce el desgaste mecánico. Cabe recalcar que la compensación de azufre en las mezclas es más significativa con combustibles de mejor calidad, los cuales poseen bajos niveles de agua, azufre y material particulado. De igual manera el uso de biodiésel en la industria automotriz ofrece varias oportunidades de mejoramiento. En comparación con el diésel comúnmente utilizado, el biodiésel produce menos emisiones de partículas, hidrocarburos y dióxido de carbono, lo que contribuye a mejorar la calidad del aire y reducir los riesgos para la salud humana [2]. Además, el biodiésel es biodegradable y no tóxico, lo que reduce su impacto en el medio ambiente en caso de derrames accidentales [11].

Sin embargo, el uso de biodiésel también presenta algunos desafíos en términos de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), que pueden aumentar en algunos casos, dependiendo del tipo de biodiésel, la proporción de mezcla y las condiciones de operación del motor [12]. Para abordar este problema, se han propuesto diversas estrategias, como la optimización de las condiciones de operación del motor, la selección de biodiésel con propiedades adecuadas y el uso de tecnologías de control de emisiones, como sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR) [13].

Teniendo en cuenta esto, se puede inferir que el Ecuador tiene un gran potencial para mejorar su mercado de combustibles fósiles, no únicamente por la deficiencia existente, sino porque que estas carencias promueven y alientan nuevas oportunidades, tanto para la expansión de mercado

competitivo entre diferentes fabricantes, los cuales, podrían tener mejores procesos de tratamiento de naftas.

En esta investigación se describen los potenciales efectos de la adopción de emulsiones con biodiesel en el Distrito Metropolitano de Quito, enfocándose en el mejoramiento colectivo socioeconómico.

II. Materiales y Métodos

Es importante destacar que en este estudio se emplearon diversos métodos para la recopilación y análisis de datos, los cuales resultan fundamentales para garantizar la relevancia de la investigación. Se realizaron mediciones experimentales utilizando herramientas automotrices específicas, además de llevar a cabo un análisis detallado y diseñar experimentos adecuados para evaluar correctamente las emisiones residuales. Además, se realizó un exhaustivo estudio de los diferentes biocombustibles óptimos para la producción a nivel nacional, junto con la exploración de posibles estrategias de mejora, como la implementación de normativas más estrictas. Por lo tanto, la investigación se basó en una metodología rigurosa, que incluyó tanto la recolección de datos experimentales como el análisis detallado de los resultados obtenidos.

Como ya se conoce, debido a la mala calidad de los combustibles existentes en el país, muchas nuevas gamas de vehículos que se ofrecen en el mercado incorporan de manera nativa, sistemas catalíticos y de inyección inferiores a sus contrapartes europeas, asegurando así un alargamiento en la vida útil del motor. Sin embargo, este tipo de medidas contribuyen más aún con la contaminación ambiental, al estar regidos por estándares menos elevados, como la normativa Euro 4. Siendo este el caso de muchos vehículos diésel comerciales. En este contexto, se optó por la búsqueda de vehículos que posean un sistema Euro superior, porque, si bien, un mal combustible puede deteriorar más un conjunto mecánico, las tecnologías avanzan a pasos agigantados, dando cabida a estudios con un

impacto más relevante a nivel académico. Con el fin de tener la información más actualizada y fiable posible. Se decantó por el Citroën C3 en su versión del año 2019. Este vehículo se encuentra categorizado por el segmento B de automotores. Mismo que se caracterizan por equilibrar factores como: la eficiencia de combustible, el espacio interno y un precio más accesible. Este contexto toma especial relevancia en el mercado automotor ecuatoriano, mismo que está enfocado a vehículos de esta categoría, tanto en marcas reconocidas como en vehículos de marcas emergentes. Asimismo, refiriéndose al segmento B de vehículos, muchos están disponibles con versiones de encendido por compresión, lo que para cierto público a nivel nacional puede ser de mucho interés debido al alza en los precios de la gasolina. El Citroën C3 cumple con los estándares de emisiones más actuales establecidos por la Unión Europea, en su versión 6.2. Asimismo, no posee diferencias significativas en su sistema catalítico, con relación a vehículos con motores que funcionan bajo dicha normativa en su versión 5. Cabe recalcar que dicha diferencia radica en su sistema de inyección, el cual es más tecnológico que el de sus predecesores y en el escape posee el sistema de reducción catalítica selectiva SCR.

A. Características del motor

El Citroën C3 modelo 2019 dispone de un motor diésel BlueHDi de cuatro cilindros y 1.6 litros, que ofrece 100 CV de potencia.

1) Sistema de inyección

El motor diésel BlueHDi del Citroën C3 utiliza un sistema de inyección directa de alta presión, conocido como common rail. Este sistema permite una mejor atomización del combustible y una mayor precisión en la inyección, lo que se traduce en una combustión más eficiente y un menor consumo de combustible [14]

2) Emisiones y tecnologías de reducción

- Filtro de partículas diésel (DPF): El DPF es un componente del sistema de escape que atrapa las partículas sólidas generadas durante la combustión,

evitando que sean liberadas al medio ambiente. Con el tiempo, el filtro se regenera automáticamente mediante un proceso de combustión controlada que quema las partículas acumuladas [15].

- Reducción catalítica selectiva (SCR): El sistema SCR utiliza un catalizador y un agente reductor, como el AdBlue, para transformar los óxidos de nitrógeno en nitrógeno y agua, reduciendo así las emisiones de NOx. El AdBlue es un líquido a base de urea que se inyecta en el sistema de escape antes del catalizador SCR [16].
- Recirculación de gases de escape (EGR): El sistema EGR redirige una parte de los gases de escape hacia la admisión del motor, lo que permite reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno al disminuir la temperatura de la combustión [17].

3) Tabla 1: Datos del motor Citroën C3 2019.
Fuente [14].

Característica	Detalle
Tipo de motor	Diésel
Combustible	Gasóleo
Potencia máxima	99 CV / 73 kW
Revoluciones	3750 rpm
Potencia Máxima	
Par máximo	254 Nm
Revoluciones Par Máximo	1750 rpm
Situación	Delantero transversal
Número de cilindros	4
Disposición de los cilindros	En línea
Consumo medio	3,7 L / 100 km
Material del bloque	Aluminio
Material de la culata	Aluminio
Diámetro	75 mm
Carrera	88,3 mm
Cilindrada	1560 cm ³
Relación de compresión	17 a 1

Válvulas por cilindro	2
Tipo de distribución	Un árbol de levas en la culata
Alimentación	Inyección directa por conducto común, Turbo, Intercooler
Stop/Start	Sí
Tracción	Delantera
Caja de cambios	Manual
Número de velocidades	5

Por motivos académicos, la selección de los combustibles para los diversos análisis fue fundamental para minimizar errores en lecturas tomadas por el analizador CAP 3201. En el Distrito metropolitano de Quito existen diversos proveedores de combustibles, los cuales pertenecen a empresas nacionales e internacionales, en este contexto, se pueden encontrar empresas como: Primax, Terpel, Masgas, Petroecuador, P&S, Puma, Mobil y PDV, entre otras. De las cuales se eligió a Primax como objeto de estudio, por su practicidad en disposición de bombas de combustible a lo largo de la ciudad, asimismo por el tratamiento de naftas de la marca, la cual coloca aditivos para el diésel, haciéndolo de mejor calidad. en la tabla 2 se muestra la ficha técnica del diésel comercial proveniente de Primax [18].

4) Tabla 2: Requisitos del diésel nacional (INEN 1489:2021)[17].

REQUISITOS	UNI DAD	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉTODO DE ENSAYO
Punto de inflamación	°C	51	-	ASTM D93
Contenido de agua y sedimentos	%	-	0.05	ASTM D2709
W contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0.15	ASTM D189 ASTM D4530
W contenido de cenizas	%	-	0.01	ASTM D482

Temperatura de destilación del 90%	°C		360	ASTM D86
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	2	5	ASTM D445
W contenido de azufre	%	-	0.045	ASTM D2622
Corrosión de la lámina de cobre	Clasificación	-	No. 3	ASTM D130
Índice de cetano calculado	%	---	45	ASTM D976 D4737

De igual manera, para una comparación más eficiente, es necesario describir los estándares del biodiesel en el Ecuador. Ya que, a comparación con el diésel de petróleo, el biodiésel posee una viscosidad, gravedad específica y un punto de ebullición más altos (según lo establecido por la NTE INEN 1489) [19]. Sin embargo, menor contenido de carbono en masa, contenido de hidrógeno y contenido de energía [19]. En la tabla 3 se muestran especificaciones del biodiesel en el Ecuador.

5) Tabla 3: Requisitos del biodiesel a nivel nacional (NTE INEN 2482:2009)[20].

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	MÉTODO DE ENSAYO
Densidad a 15°C	Kg/ m ³	860	900	ASTM D 1298
Punto de inflamación	°C	120	---	ASTM D 93
Punto de turbidez	°C	reportar		
Φ agua y sedimento	%	---	0,05	ASTM D 1796
Contenido de agua	mg/kg	---	500	ASTM D 95
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	3,5	5	ASTM D 445
Cenizas sulfatadas	%(m/m)	---	0,02	ASTM D 874
Contenido de azufre	mg/kg	---	10	ASTM D 1552
W contenido de residuo carbonoso	%	---	0,05	ASTM D 4530
Corrosión lamina de Cu	Clasificación	---	3	ASTM D 130

Índice de cetano	-		49	---	ASTM D 613
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C		---	360	ASTM D 1160
W glicerina libre	%	---	0,02		ASTM D 6584
W glicerina total	%	---	0,25		ASTM D 6584
W contenido de ésteres	%		96,5	---	EN 14103
Índice de yodo	g yodo/100 g	---	120		EN 14111
W contenido de metanol	%	---	0,20		ASTM D 4815-EN 14110
Contenido de fósforo	mg/kg	---	10		ASTM D4951
Contenido de metales alcalinos (Na+K)	mg/kg	---	5		EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca+K)	mg/kg	---	5		prEN 14538
Número de acidez	mg KOH/g	---	0,5		ASTM D 664

Por otro lado, la selección de biodiesel se vio realmente afectada por la indisponibilidad de este en el país. Escasas empresas como La Fabril mantuvieron cerrada su producción de biocombustibles en el presente año, por esta razón, se decantó por la búsqueda de este material a nivel internacional. Primeramente, se consideró al mercado norteamericano y euroasiático por sus avances industriales, sin embargo, la comunicación con empresas pertenecientes fue infructífera, ya sea por la falta de producción o la vaguedad de los sistemas de servicio al cliente. En este contexto, se eligió a Colombia como único proveedor de biodiesel, debido a sus avances en implementación de biocombustibles a nivel comercial en todos sus departamentos y por la cercanía para su exportación. Mas específicamente en el departamento de Pasto. De igual manera, se buscó conservar una línea de productos igualitaria, por lo que se usó biocombustible de gasolineras

Primax, siendo esta empresa una distribuidora en varios países de Latinoamérica.

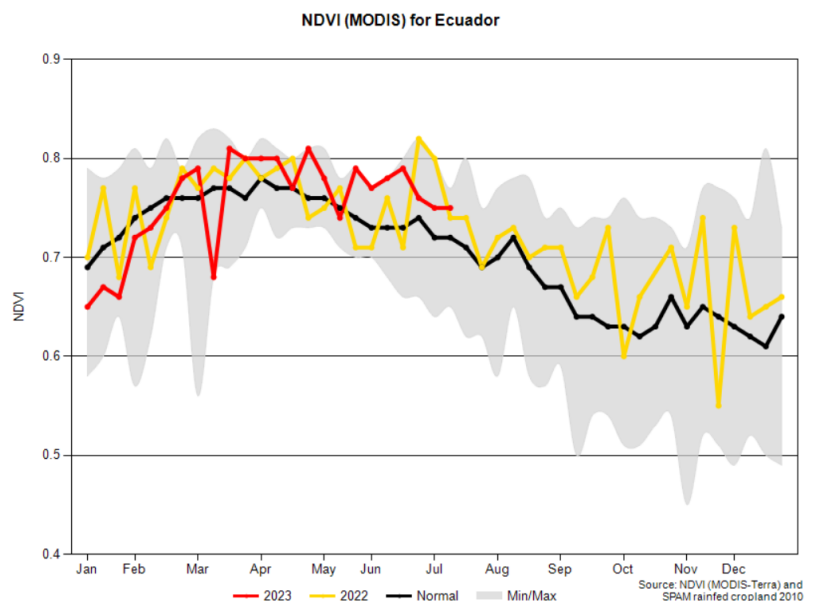
La Norma Técnica Colombiana (NTC) 5444 designa los estándares permisibles de calidad del biodiesel a base de aceites. En la tabla 4 se muestran dichos parámetros.

6) Tabla 4: Parámetros de calidad del biodiesel – NTC 5444 (Corredor Avella, 2009)[21].

	Unidad	AST M	EN 14214	NTC 5444	Biodiesel de palma
Densidad a 15°C	g/ml	---	0.860 - 0.900	0.860-0.900	0.875
Viscosidad a 40°C	mm ² /s	1.9-6.0	3.5-5.0	1.9-6.0	4.49
Punto de chispa	°C	Min.130	Min.120	Min. 120	159
Punto de fluidez	°C	Reportar	Depende de la región	Reportar	12
Estabilidad a la oxidación	horas	Min3	Min 6	Min 6	26
Estabilidad térmica	% Refle	N/R	N/R	Min70	99
Azufre	% masa				
Humedad	mg/kg	Max. 500	Max. 500	Max.500	380
Índice de cetano	Cetano	Min47	Min 51	Min 10	68
Corrosión lámina de Cu	N/A	1	1	1	1
Índice de yodo	g yodo/100g	N/R	Max. 120	Max.120	58
Fósforo	mg/kg	Max. 10	Max. 10	Max.10	1.26
Contenido de metanol	% masa	0.2	0.2	---	<0.2

Contenido de glicerina	% de masa	0.02-0.24	0.02-0.25	0.02-0.25	<0.2- <0.25
------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-------------

Dicho biocombustible está conformado a base de aceite de palma, siendo Colombia el mayor exportador de este producto a nivel latinoamericano, es razonable la posibilidad de extrapolación de un mercado similar para el Ecuador. Teniendo gran parte de su mercado agrícola enfocado a la producción de aceites vegetales como el coco, Sacha Inchi, aguacate entre otros. Posee una infraestructura económica sólida para la implementación y producción de biocombustibles a nivel nacional, según el Foreign Agricultural Service[22], la producción de aceite de palma en el Ecuador ha ascendido a 480000 toneladas métricas en el presente año, convirtiéndose en el quinto exportador más grande de Latinoamérica. En la figura 1 se muestra en la producción de aceite de palma durante el año



2023.

Figura 1: Producción de aceite de palma ecuatoriano (junio 2023). Fuente (Foreign Agricultural Service) [22].

Por medio del uso de los laboratorios de ingeniería automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, se gestionó el uso del analizador de gases perteneciente a la empresa Capelec, con su modelo CAP 3201 GO, el cual

posee la capacidad de toma de análisis de diversos gases residuales provenientes de la quema de combustibles. El análisis de emisiones contaminantes es un aspecto crucial en la monitorización y control de la calidad del aire. El CAP 3201 es un instrumento de medición utilizado a nivel nacional e internacional, debido a que cumple con los estándares ISO 3930 vigentes para un mejor control [23]. Estos métodos de prueba emplean la aceleración libre y manera estática. De igual manera es una herramienta fundamental para este estudio debido a los inconvenientes presentados en pruebas dinámicas para el cálculo de NOx, las cuales disponen de diversos factores que pueden afectar a estas emisiones, como la conducción agresiva, el peralte de la carretera y sus grados de inclinación, velocidad, aceleración, resistencia aerodinámica, entre otros . Debido a esto, las tomas realizadas en régimen ralenti y altas rpm tienen una veracidad superior a las tomas realizadas en pruebas dinámicas o de ruta, debido a la falta de influencia de agentes externos como los descritos previamente. Asimismo, con una velocidad constante y una temperatura del motor casi invariable, las emisiones NOx eventualmente variarán [24].

Este instrumento es de alta precisión y sensibilidad, diseñado para medir la concentración de diversos gases contaminantes, como óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de Carbono (CO2), monóxido de carbono (CO) y oxígeno (O2). Este proporciona mediciones rápidas y precisas de las emisiones de gases [25].

B. Metodología de análisis de emisiones residuales

El CAP 3201 emplea varias metodologías para analizar las emisiones contaminantes, dependiendo del tipo de gas que se mide. Ya sea opacidad o análisis de múltiples gases . en el caso del analizador, se cuenta con los siguientes elementos: sonda y tubo de toma de muestra, tubos de salida, filtros, sonda de temperatura de aceite y una pinza de inducción.

Gracias a la técnica de infrarrojo no dispersivo. Misma que se emplea pasando el gas residual por una cámara de medición, en cuyos extremos se

encuentran tres detectores juntamente con tres emisores infrarrojos. Cada uno de los emisores, transmite una onda específica , asociada a los gases CO, CO2 y HC. De igual manera detector posee una señal eléctrica correspondiente a la intensidad de la radiación recibida [25]. Asimismo, hace uso del NDIR, una técnica en el cual las moléculas de gas absorben la luz infrarroja en longitudes de onda permitiendo determinar la concentración del gas en función de la cantidad de luz absorbida [25].

El analizador de gases CAP 3201 es un instrumento de medición avanzado y versátil que emplea metodologías como la espectroscopia de absorción infrarroja no dispersiva y la quimioluminiscencia para analizar las emisiones contaminantes [21].

De igual manera cuenta con sensores electroquímicos que se utilizan para medir la concentración de gases como el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO2), hidrocarburos (HC), oxígeno (O2) y óxidos de nitrógeno (NOx). Los sensores electroquímicos son altamente sensibles y precisos, lo que permite obtener mediciones fiables de las emisiones de gases de escape. Su sistema de calibración automática garantiza la precisión y la fiabilidad de las mediciones. Este sistema ajusta los sensores del dispositivo de forma regular para asegurar que proporcionen resultados precisos y consistentes [25].

También posee un software de análisis de datos que facilita la interpretación de los resultados y la generación de informes personalizados. Este software utiliza algoritmos avanzados para analizar los datos recogidos por los sensores y proporcionar información detallada sobre las emisiones de gases de escape [25].



Figura 2: analizador de gases Capelec [25].

C. Toma de datos, diésel puro:

Para la recopilación de datos provenientes de las tomas realizadas en el Citroën C3 con ayuda del CAP 3201 GO, se optó por la realización de estas de manera estática, ya que el analizador trabaja bajo esas condiciones, y como se mencionó previamente, este tipo de pruebas proporciona mayor fiabilidad a los datos de gases NOx [24].

Primeramente, fue necesario conectar a la corriente al CAP para que se pueda encender y precargar como indica el fabricante, en la figura 2 se ilustra este procedimiento, antes de la puesta en marcha del analizador. Seguido a esto, se establecen los parámetros de inicio para el vehículo a ser analizado, eligiendo así el análisis multi-gas. Por motivos académicos, en esta investigación no se presentarán análisis de opacidad, debido a que la misma, se centra en el estudio de emisiones contaminantes como los gases previamente descritos. Mismos que son objeto de estudio en vehículos que funcionan con motores de encendido por chispa y compresión respectivamente. Sin embargo, cabe recalcar que el foco de estudio son las emisiones residuales provenientes de motores diésel, los cuales provocan más gases nocivos para el medio ambiente y la salud pública, como el CO₂ y los NO_x.

Una vez establecido el análisis a realizar, fue necesario configurar los gases que participan en el mismo. Gracias a la botonera disponible en la parte baja de la pantalla LCD, con las que se obtuvo una navegación sencilla al variar de parámetros de porcentaje de CO corregido, a partes por millón de NO_x.

Posteriormente, el analizador pasa a una etapa de precalentamiento, en el que requiere de un tiempo aproximado de 5 minutos, para establecerse en la temperatura de funcionamiento óptima [25]. Cabe recalcar que es necesario realizar previamente una prueba de estanqueidad en la sonda a utilizar, para evitar errores por sustancias residuales de pruebas anteriores. Basta con utilizar una pistola de aire a presión, y colocarla en el extremo de la boquilla de la sonda, dejando correr aire por un periodo 30 segundos. El aire comprimido, limpiará el interior de esta y se podrá colocar nuevamente en el conducto superior del filtro decantador [21].

Seguido a esto, se coloca la sonda en el tubo de escape, a una distancia de 20 centímetros (cm) de profundidad para una mejor lectura. Es fundamental cronometrar cada toma con la sonda, debido a la sensibilidad del sensor de oxígeno presente en el analizador. Mismo que puede averiarse si se ve expuesto prolongadamente a gases de escape. En tal virtud, se optó por un tiempo de uso de 25 segundos por prueba, tanto en ralentí, como en altas revoluciones por minuto (rpm) con la finalidad de minimizar el riesgo de avería del sensor de oxígeno presente en el analizador. En la tabla 3 se muestra un análisis de la toma de datos con el primer combustible utilizado, el cual es de uso comercial en la figura 3 y 4 se presentan ejemplos de la toma de datos en ralentí y altas rpm.



Figura 3: Toma de datos, gases a Ralentí. Fuente (Propio).



Figura 4: Toma de datos, gases a altas rpm. Fuente (Propio)

Con la finalidad de que cada toma de datos sea lo más similar posible, se dispuso a realizar las mismas a horas específicas de la mañana, evitando variaciones por factores climáticos. En la tabla 5 y figura 5 se muestran las gráficas polinomiales del análisis de varianza que se utilizó para la clasificación de datos, ambas de régimen ralentí.

Tabla 5: Análisis de varianza en régimen ralentí, diésel comercial. Fuente(Propio).

Resumen						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
NOx ppm%	20	2103	105,15	57,92368421		
CO2 %vol	20	40,2	2,01	0,005157894		
CO %vol	20	1,82	0,091	0,000862105		
O2 %vol	20	371,5	18,575	0,1325		

Análisis de varianza						
Origen en variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico de F
Entre grupos	1489 51,11 874	3	4965 0,372 9133 333	3420, 4952 1463 617	5,8 638 640 444 376 2E-81	2,7249 43920 27592
Dentro de los grupos	1103, 1818 8	76	14,51 5551 0526 316			
total	1500 54,30 062	79				

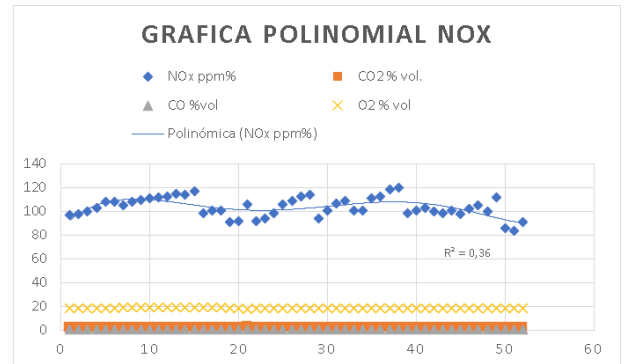


Figura 5: Gráfica polinomial, régimen ralentí. Fuente (propio).

En el caso de altas rpm, los resultados muestran una disminución de NOx y un aumento en el CO₂, esto debido a la mayor quema del combustible en un régimen alto, conjuntamente con la mezcla aire/combustible, siendo esta rica cuando el motor trabaja a mayores rpm. En la tabla 6 y figura 6 se muestran los diversos análisis realizados.

Tabla 6: análisis de varianza en altas rpm, diésel comercial. Fuente(Propio).

Resumen				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
NOx ppm%	20	1600	80	119,368421052
CO2 %vol	20	49,2	2,46	0,003578947
CO %vol	20	3,23	0,1615	0,000392368
O2 %vol	20	354,7	17,735	0,13397368421

Análisis de varianza						
Origen en variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico de F
Entre grupos	8405 5,022 6837 5	3	2801 8,340 8945 833	937,8 0245 5887 373	6,3 261 678 265 505 7E-60	2,7249 43920 27592

Dentro de los grupos	1103,	76	29,87
	1818		6591
	8		5131
			579
total	8632	79	
	5,643		
	6387		
	5		

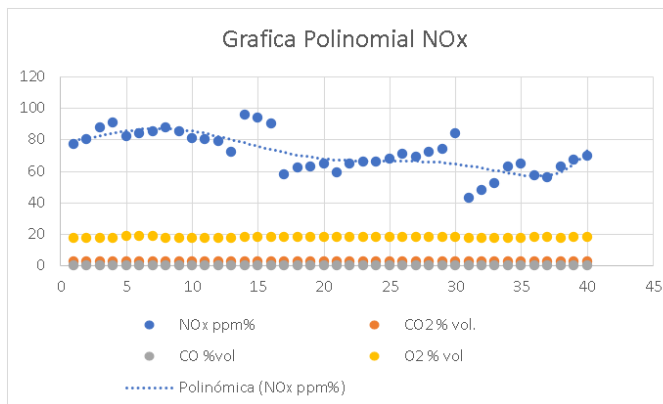


Figura 6: Gráfica polinomial, altas rpm. Fuente (propio).

Cabe recalcar que, por motivos experimentales, la elección de emulsiones de biodiésel disponibles se centró únicamente en B5 y B10, con la finalidad de no causar un sobreesfuerzo al motor del Citroën C3, asimismo evitando una falla potencial por la inestabilidad de las mezclas con porcentajes mayores de biocombustible, las cuales pueden afectar a la bomba de combustible y sistema de inyección [4].

D. Preparación y aplicación de emulsiones

Previo a la descripción, es importante destacar que el proceso de creación de emulsiones B5 y B10 de biodiésel y diésel comercial es relativamente sencillo y se puede realizar en un laboratorio con los siguientes materiales:

- Biodiésel: Combustible Primax colombiano. En la figura 7 se muestra este biocombustible.



Figura 7: Medición de biodiésel pre-emulsión. Fuente (Propio).

- Diésel comercial: Combustible Primax, Distrito Metropolitano de Quito . en la figura 8 se muestra este combustible.



Figura 8: Medición de diésel local Primax. Fuente (Propio).

- Termómetro convencional: Utilizado para controlar la temperatura durante el proceso de mezcla. En la figura 9 se muestra dicho instrumento.



Figura 9: medición de temperatura de combustibles. Fuente (Propio).

- Pipetas de 10 ml. Y vasos de precipitación de 1400 ml.



Figura 10: Pipeta graduada de 10 ml. Fuente (Propio).



Figura 11: Medición de temperatura ambiente por posible oxidación. Fuente (Propio).

E. El proceso de creación de las emulsiones B5 y B10 implica los siguientes pasos:

- Se midió la cantidad exacta de biodiésel y diésel a utilizar mediante los bazos precipitadores. En este caso, se tomó en base al máximo permisible por dichos instrumentos, 1500 ml. De los cuales se destinaron 75 Y 150 ml. de biodiesel para las emulsiones B5 y B10 respectivamente. Los restantes específicos se complementan con diésel comercial.
- Se mezcló ambos líquidos con ayuda de un agitador manual, y se procedió a colocar un termómetro de laboratorio, esto con la función de agitar la mezcla y monitorear la misma ante posibles imprevistos debido a sus propiedades fisicoquímicas. Posteriormente se obtendrá la emulsión. Cabe mencionar que existe un tiempo aproximado en el que la mezcla tiende a separarse por la densidad de líquidos, sin embargo, en emulsiones de bajo contenido de biodiesel las mezclas se mantuvieron homogéneas para su posterior almacenaje. En la figura 11 se muestra la medición de temperatura del biocombustible.

- Una vez obtenida las emulsiones, se almacenaron en bidones de combustible con sellado hermético para evitar su contacto con el aire y agentes exteriores.

Tabla 7: Preparativos para el uso de emulsiones. Fuente (Propio).

Acción	Descripción
Almacenamiento de emulsiones	Las emulsiones fueron almacenadas para su posterior uso en análisis de gases.
Preparación del vehículo experimental	Se llevó a cabo una limpieza del sistema de inyección y de combustible utilizando el método cánister.
Adquisición de líquido de limpieza de cánister	Se necesitó adquirir un líquido de limpieza específico para cánister de vehículos diésel. Este líquido es fácil de mezclar y aplicar en el tanque de combustible.
Preparación del tanque de combustible	El tanque de combustible debía tener alrededor de ¼ de su capacidad total antes de llenarlo con el líquido de limpieza.
Llenado del tanque con diésel comercial	Una vez preparado, se procedió a llenar el tanque con diésel comercial.
Régimen de funcionamiento bajo de rpm	El vehículo debió operar a un régimen de funcionamiento de baja velocidad de rotación por aproximadamente 4 días. Esto permitió que el líquido de limpieza de cánister purgara el sistema de inyección y eliminara la carbonilla residual presente en las toberas. Este proceso de mantenimiento preventivo aseguró que el motor funcionara en óptimas condiciones.
Mantenimiento preventivo para un funcionamiento óptimo del motor	La limpieza del sistema de inyección y la eliminación de la carbonilla residual mediante el método cánister y el líquido de limpieza de cánister contribuyeron a que el motor del vehículo trabajara en condiciones óptimas.

Las siguientes pruebas se realizaron de la misma manera que las anteriores, con la única diferencia de vaciar el tanque de combustible en su totalidad para los análisis por separado de B10 y B5. Esto se logró drenando el combustible residual proveniente del tanque, ubicado en el asiento trasero del vehículo. Y manteniendo al vehículo en movimiento, para agotar más aún sus reservas de combustible. En la figura 12 se muestra una toma de datos en el vehículo de prueba.



Figura 12: Toma de datos con B10 en el vehículo. Fuente (Propio).

Con cada una de las emulsiones de biodiesel se llevaron a cabo pruebas en las mismas condiciones, que con sus contrapartes de diésel comercial. En las figuras siguientes se caracterizan sus subprocesos y análisis correspondientes.



Figura 13: Toma de datos B10, ralentí. Fuente (Propio).



Figura 14: Toma de datos B10, altas rpm. Fuente (Propio).

Tabla 8: Análisis de varianza B5 en ralentí. Fuente (Propio).

Resumen						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
NOx	20	1927	96,35	70,66052631		
ppm%						
CO2	20	39,7	1,985	0,0045		
%vol						
CO	20	2,29	0,1145	0,0009418421		
%vol						
O2 %vol	20	364,4	18,22	0,048		
Análisis de varianza						
Origen en variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico de F
Entre grupos	1243,26,02	3	414,420,07	2344,2049	8,8	2,7249
Dentro de los grupos	3553,75		8512,5	1061,769	933	27592
total	1343,5653	76	17,678492		115	E-75
	95		0394	737		
	1256	79				
	69,58					
	8948					
	75					

Como primer vistazo en las tablas se tuvo una reducción parcial de los NOx y CO2, esto conforme a estimaciones previas. Sin embargo, el comportamiento del porcentaje de CO varía con un aumento con relación a las medidas

establecidas previamente con el diésel convencional. Si bien su variación es ínfima, se consideró en base a la reducción de los demás gases residuales, más puntualmente en la emulsión B5, en la que se dieron ciertos resultados consecuentes como en investigaciones previas como la de A. Bulent Koc, Mudhafar Abdullah[12] En la que describe que el uso de emulsiones de biodiesel de baja capacidad puede no tener un efecto significativo a la hora de reducir emisiones contaminantes, incluso teniendo en situaciones puntuales un aumento en gases como los NOx, y en casos como el de esta investigación, aumentos de porcentaje de volumen de CO.

Tabla 9: Análisis de varianza B10 en ralenti. Fuente (Propio).

Resumen						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
NOx ppm%	20	1735	86,75	155,144736		
CO2 %vol	20	39,7	1,985	0,00576315		
CO %vol	20	2,11	0,1055	0,0007207894		
O2 %vol	20	360,8	18,04	0,0530526315		

Análisis de varianza						
Origen en variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico de F
Entre grupos	1000	3	333,33	38,80	1,6	2,7249
Dentro de los grupos	1,598	76	7,199	1068	0,67	43920
total	3537	5	4512	3552	368	27592
	5	5	632	632	361	698
					4E-58	
	2948,88119	76	38,80	1068		
	5		3552	632		
	1029	79				
	60.47					
	9548					
	75					

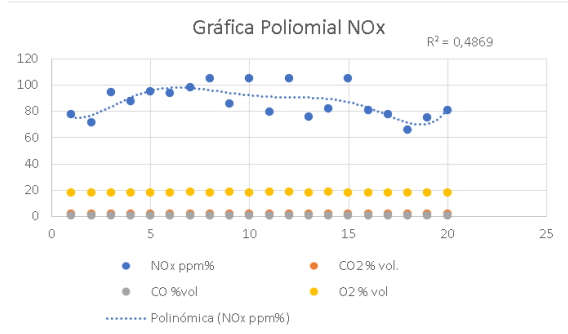


Figura 15: Gráfica polinomial B10 en ralenti. Fuente (Propio).

Conforme a esto, los datos más relevantes de reducción de emisiones se centraron en la emulsión B10. En la tabla 10 y en la figura 16 se muestran los análisis más característicos de aceleración libre con un régimen alto de revoluciones por minuto.

Tabla 10: Análisis de varianza B10 en altas rpm. Fuente (Propio).

Resumen						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
NOx ppm%	20	1262	63,1	248,2		
CO2 %vol	20	47,4	2,97	0,005368421		
CO %vol	20	4,57	0,2285	0,000518684		
O2 %vol	20	346,1	17,305	0,024710526		

Análisis de varianza						
Origen en variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico de F
Entre grupos	5128	3	1709	275.4	9.8	2,7249
Dentro de los grupos	6,937	76	5.645	8007	405	43920
total	6837	5	8945	46	342	27592
	5	5	833	833	361	698
					4E-58	
	2948,88119	76	38,80	1068		
	5		3552	632		
	1029	79				
	60.47					
	9548					
	75					

Dentro de los grupos	4716	76	62.05
	3813		7649
	55		40
total	5600	79	
	3.319		
	0387		
	5		

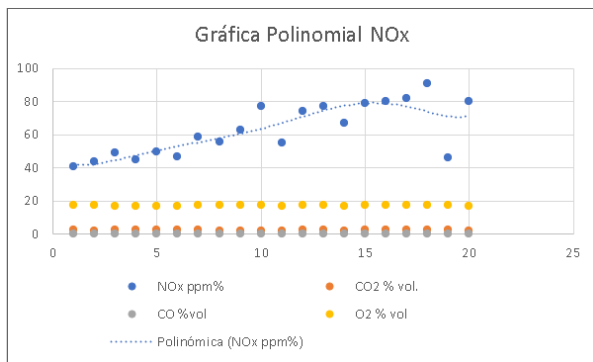


Figura 16: Gráfica Polinomial B10 en altas rpm. Fuente (Propio).

III. Discusión y resultados

Una vez los datos se analizaron, es necesario considerar cada una de las implicaciones del uso de los biocombustibles.

En el caso del uso del B10 se nota una reducción muy significativa de casi 20 puntos de partes por millón de NOx en estado de altas rpm, mientras que en el caso del CO2, el índice del porcentaje de volumen tiende a bajar 0.2 puntos, asimismo en estado de ralentí, en el que se nota una reducción menor, pero significativa en comparación al uso de diésel comercial. Mostrando un precedente importante para posibles futuras regulaciones en el ámbito del transporte público y privado en el Distrito Metropolitano de Quito. Las cuales podrían involucrar una total adquisición de emulsiones B10 o superiores de manera nativa para la distribución comercial de combustibles. Esto implicaría una reducción muy significativa de gases de efecto invernadero, así como una mejora de la calidad atmosférica, ideal para la reducción de enfermedades pulmonares [26]. Asimismo, es meritorio considerar que los diversos sistemas presentes en vehículos Euro 6 poseen la capacidad de reducir aún más los gases residuales, siendo

estos una alternativa más sostenible a largo plazo. Sin embargo, el uso de emulsión B5 mostró un comportamiento de reducción en parámetros de emisiones contaminantes casi nulo, con un aproximado de 5 puntos de reducción en NOx, e incluso un aumento en condiciones ambientales específicas y alrededor de 0.1 de variación de CO2. Siendo congruente con estudios similares que muestran que en determinadas circunstancias el uso de biocombustibles aumenta las emisiones NOx [12].

Si bien las pruebas realizadas a nivel nacional no cubren análisis de gases para vehículos diésel y se centran meramente en la opacidad. Para efectos prácticos se eligieron varios contrapuntos de comparación, conforme a pruebas internacionales de emisiones contaminantes NOx, con la finalidad de obtener un resultado viable. Conforme a esto de esto, en la tabla 11 se muestran dichos análisis.

1) Tabla 11: Resumen de los resultados finales en la prueba estática de NOx para un vehículo Euro 6 [24].

	NOx (mg/s)	NOx (ppm)	“% Engine Load”
Avg. Idle Unloaded	2.72	136	13
Avg. Idle Loaded	6.10	306	36
Maximum value Read	9.59	481	37
TMV	21.84	1096	100

Comparando estos datos con los del presente estudio, primeramente, es necesario destacar las diferencias existentes, tanto en políticas ambientales, como el combustible de mejor calidad en el extranjero. Las emisiones NOx tiene un patrón repetitivo en estado de ralentí conforme a las pruebas realizadas con diésel comercial y emulsiones de biodiesel. Sin embargo, es necesaria una explicación del porqué en el presente estudio las pruebas estáticas poseen falencias características, asimismo como fortalezas en comparación a las pruebas dinámicas. como es el caso de la aceleración del vehículo, el modo de conducción, la resistencia aerodinámica, los grados de inclinación de la

calzada, entre otros. Pueden afectar negativamente a las emisiones NO_x, al estar sujetos a factores externos, es de esperarse la idea errónea de que se está simulando un ambiente real. A pesar de ello, las pruebas realizadas en banco dinamométrico también poseen carencias específicas, debido a que las condiciones simuladas son muy puntuales, y muchas de las veces no se encuentran acorde a un estilo real de conducción. Un ejemplo claro de esto son las zonas de tráfico, en las que el vehículo puede permanecer encendido mas no en marcha casi un 40 % del viaje total. Es por esto por lo que se puede notar un flujo controlado de NO_x en condiciones estáticas, debido a que los únicos factores que intervienen de manera directa en sus mediciones son los ambientales, capaces de aumentar la presencia de NO_x en ambientes más fríos. Asimismo, la variabilidad del funcionamiento de la EGR y los demás subsistemas catalíticos, los cuales se ven subsumidos por la presencia del ralentí. De igual manera, las pruebas que son lo suficientemente largas y complejas como para considerarse representativas de las emisiones reales del vehículo (como los ciclos de prueba de homologación NEDC y WLTP) no son adecuadas para la Revisión técnica vehicular (RTV) en términos de tiempo, equipo y personal de trabajo [27]. Y se ha demostrado de manera fidedigna que proporcionan valores de emisión que difieren mucho de las emisiones reales del vehículo en la carretera. Por lo tanto, también se puede cuestionar su representatividad [24].

De igual forma las pruebas de manera estática poseen factores que pueden alterar las emisiones NO_x de manera negativa, como es el caso del porcentaje de carga del motor, mismo que aumenta si en el estado de ralentí, los accesorios del vehículo se encienden, como el aire acondicionado, el desempañador de vidrios, entre otros. Estos factores tampoco se tienen en cuenta en parámetros de homologación [24].

Desafortunadamente, los datos de CO₂ en pruebas estáticas para vehículos diésel no está disponible a nivel internacional, esto debido a los estándares establecidos por organismos regulatorios, los cuales consideran otras

prioridades y practicidades con respecto a revisión técnica vehicular o inspección técnica vehicular.

Cabe recalcar que, los combustibles disponibles a nivel nacional proponen una brecha importante para adquisición de diferentes alternativas, como los biocombustibles derivados de distintos aceites. Debido a que la implementación de estos no sería suficiente, debido a los procesos de refinamiento de naftas en el Ecuador, los cuales están desactualizados y muy por detrás a comparación de los demás países de Latinoamérica.

Por otra parte, existieron algunas limitaciones en diversos capos de aplicación de este estudio, la más evidente, fue la imposibilidad de prueba con distintos porcentajes de biodiesel, como el B20 o B40 los cuales pudieran presentar una reducción superior de gases residuales, pero su control debería ser mucho más exhaustivo, debido a la diferencia de propiedades químicas entre los combustibles. Se podría considerar el uso de aditivos adicionales los cuales pueden mejorar aún más la calidad del producto final.

IV. Conclusiones

La investigación de manera minuciosa arrojó un resultado prometedor con respecto a la reducción muy significativa de NO_x y CO₂ en un promedio de 20 partes por millón y 0,2 % respectivamente. Provenientes de la quema de los distintos tipos de biodiesel a base de aceites empleados en industria alimentaria, disponibles para su implementación a nivel nacional. Siendo el más prometedor de estos el aceite de palma, el cual puede impulsar de manera significativa el desarrollo del Ecuador en materia de biocombustibles. Esto juntamente con opciones adicionales menos viables, como la soja, girasol, entre otros.

Con un margen altamente beneficioso se realizó un estudio estadístico de las emisiones contaminantes provenientes del diésel comercial y emulsiones B5 y B10 con ayuda del CAP 3201 GO, teniendo un margen de reducción de en un promedio de 20 partes por millón y 0,2 % respectivamente. Y aún más alto mientras más biocombustible se usa. Asimismo, analizando sus propiedades fisicoquímicas.

Con un análisis minucioso, de manera fidedigna se obtuvo el tipo y cantidad de emisiones residuales obtenidas con emulsiones B5 y B10. Gracias al análisis de varianza propuesto para el sesgo de cada parámetro de emisiones. Igualmente, con la ayuda de gráficas polinómicas para evidenciar diferencias puntuales. También, se compararon exitosamente de manera teórica las ventajas y desventajas del uso de pruebas estáticas y dinámicas.

Teniendo en cuenta las posibilidades y resultados del estudio, es importante la recomendación de una nueva forma para analizar gases en los centros de revisión técnica vehicular. Si bien las pruebas dinámicas y estáticas tienen sus pros y contras. En conclusión, la implementación de una prueba híbrida que combine los mejores elementos de cada enfoque, utilizando un OBD para monitorear los datos de la ECU y los sensores pertinentes, así como los datos de flujo de gases en tiempo real a través de un analizador, podría ser un avance significativo para el monitoreo y la reducción de gases contaminantes. Esta estrategia prometedora podría ofrecer una visión más completa y precisa de las emisiones de gases, permitiendo una evaluación más eficiente y efectiva de los niveles de contaminación. Al combinar la capacidad de monitoreo en tiempo real del OBD y la información detallada proporcionada por el analizador de gases, se podría lograr una mejora notable en la identificación de fuentes de contaminación y la implementación de medidas correctivas adecuadas. Esto podría tener un impacto significativo en la protección del medio ambiente y la promoción de prácticas más sostenibles en el campo del control de emisiones vehiculares.

[1] S. Dutta, V. Madav, G. Joshi, N. Naik, and S. Kumar, "Directional synthesis of aviation-, diesel-, and gasoline range hydrocarbon fuels by catalytic transformations of biomass components: An overview," *Fuel*, vol. 347, p. 128437, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.fuel.2023.128437.

2023, doi:
10.1016/j.fuel.2023.128437.

- [2] A. Aljaafari *et al.*, "Biodiesel Emissions: A State-of-the-Art Review on Health and Environmental Impacts," *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 18, p. 6854, Sep. 2022, doi: 10.3390/en15186854.
- [3] PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, "REGLAMENTO (UE) 2019/631 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 17 de abril de 2019 por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de CO₂ de los turismos nuevos y de los vehículos comerciales ligeros nuevos, y por el que se derogan los Reglamentos (CE) n.o 443/2009 y (UE) n.o 510/2011," *Diario Oficial de la Unión Europea*, pp. 1–20, Apr. 2019.
- [4] J. Hu *et al.*, "Real-world fuel efficiency and exhaust emissions of light-duty diesel vehicles and their correlation with road conditions," *Journal of Environmental Sciences*, vol. 24, no. 5, pp. 865–874, May 2012, doi: 10.1016/S1001-0742(11)60878-4.
- [5] V. Rojas-Reinoso, J. Alvarez-Loor, H. Zambrano-Becerra, and J. A. Soriano, "Comparative Study of Gasoline Fuel Mixture to Reduce Emissions in the Metropolitan District," *Sustainability*, vol. 15, no. 4, p. 2921, Feb. 2023, doi: 10.3390/su15042921.
- [6] G. Escribano, "Ecuador y los subsidios a los combustibles,"

- Real Instituto elcano*, Nov. 15, 2019.
- [7] S. K. Hoekman and C. Robbins, "Review of the effects of biodiesel on NOx emissions," *Fuel Processing Technology*, vol. 96, pp. 237–249, Apr. 2012, doi: 10.1016/j.fuproc.2011.12.036.
- [8] Asamblea Nacional, "Suplemento Ley Orgánica de eficiencia energética," *Administración constitucional del Ecuador*, pp. 1–8, Mar. 2019.
- [9] M. LAPUERTA, O. ARMAS, and J. RODRIGUEZFERNANDEZ, "Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions," *Prog Energy Combust Sci*, vol. 34, no. 2, pp. 198–223, Apr. 2008, doi: 10.1016/j.pecs.2007.07.001.
- [10] A. Demirbas, "Progress and recent trends in biodiesel fuels," *Energy Convers Manag*, vol. 50, no. 1, pp. 14–34, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.enconman.2008.09.001.
- [11] G. Knothe, "Biodiesel and renewable diesel: A comparison," *Prog Energy Combust Sci*, vol. 36, no. 3, pp. 364–373, Jun. 2010, doi: 10.1016/j.pecs.2009.11.004.
- [12] A. B. Koc and M. Abdullah, "Performance and NOx emissions of a diesel engine fueled with biodiesel-diesel-water nanoemulsions," *Fuel Processing Technology*, vol. 109, pp. 70–77, May 2013, doi: 10.1016/j.fuproc.2012.09.039.
- [13] K. A. Abed, M. S. Gad, A. K. El Morsi, M. M. Sayed, and S. A. Elyazeed, "Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions," *Egyptian Journal of Petroleum*, vol. 28, no. 2, pp. 183–188, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.ejpe.2019.03.001.
- [14] Citroën, *Manual del fabricante C3*, 2nd ed., vol. 1. Quai de Javel, 2019.
- [15] E. J. Sanchis Pacheco, "Modelado de la oxidación del hollín en filtros de partículas diésel," *Universitat Politècnica de València*, Valencia (Spain), 2019. doi: 10.4995/Thesis/10251/120455.
- [16] I. Garmendia Rodriguez, "Análisis y modificación del sistema de reducción catalítica selectiva (SCR) con inyección de urea para motor CAT C175-16 EU STAGE V," *Universitat Politècnica de València*, pp. 2–9, Oct. 2022.
- [17] A. Martí, "Caracterización experimental de la técnica de Recirculación de gas de escape (EGR) en motores de combustión interna alternativos. Selección de puntos estacionarios," *Universidad politécnica de Valencia*, Valencia, 2015.
- [18] Primax S. A., "Conozca por qué debe utilizar Diésel de buena calidad para cuidar el motor de su automóvil," <https://www.primaxcolombia.com.co/calidad-del-diesel/>.
- [19] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "Productos derivados del petróleo. Diesel requisitos. NTE INEN 1489 Octava revisión," *Gobierno del Ecuador*, pp. 2–8, Jul. 2021.
- [20] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "BIODIESEL. REQUISITOS," *gobierno del Ecuador*, pp. 2–10, Mar. 2009.
- [21] A. Rivera Martínez, "Calculo de las propiedades fisicoquímicas del biodiesel y sus mezclas con diésel a partir de reglas de mezclado," *Universidad de Cartagena*, Cartagena, 2013.
- [22] Foreign Agricultural Service, "Ecuador - Palm Oil Production," *International Production Assessment Division*, Jun. 2023.
- [23] International Organization Standardization, "ISO/PAS 3930:2009 Instruments for measuring vehicle exhaust emissions — Metrological and technical requirements;

Metrological control and performance tests,”
<https://www.iso.org/standard/51553.html>,
Dec. 2009.

- [24] E. Fernández, A. Valero, J. J. Alba, and A. Ortego, “A New Approach for Static NOx Measurement in PTI,” *Sustainability*, vol. 13, no. 23, p. 13424, Dec. 2021, doi: 10.3390/su132313424.
- [25] K. Martinez, “Manual de usuario ESP CAP 3201,” *Dokume*, pp. 3–100, 2016.
- [26] A. Murugesan, C. Umarani, R. Subramanian, and N. Nedunchezian, “Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines—A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 3, pp. 653–662, Apr. 2009, doi: 10.1016/j.rser.2007.10.007.
- [27] F. O. H. J. V. D. Sánchez-Vela Luis, *REVISIÓN DE LA NORMATIVA INTERNACIONAL SOBRE LÍMITES DE EMISIONES CONTAMINANTES DE VEHÍCULOS DE CARRETERA*. México: Instituto Mexicano de Transporte, 2019, pp. 3–50.