



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ

**“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE OPTIMO DE
BIODIÉSEL Y DIÉSEL FILTRADO A 2850 MSNM, PARA
REDUCIR LA OPACIDAD DE UN MOTOR CON SISTEMA CRDI,
Y REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Trabajo de Investigación

Presentando para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

CRISTIAN PATRICIO ENCALADA MUÑOZ

MIGUEL ANGEL ZHININ MOROCHO

Riobamba-Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ

**“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE OPTIMO DE
BIODIÉSEL Y DIÉSEL FILTRADO A 2850 MSNM, PARA
REDUCIR LA OPACIDAD DE UN MOTOR CON SISTEMA CRDI,
Y REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Trabajo de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: CRISTIAN PATRICIO ENCALADA MUÑOZ

MIGUEL ANGEL ZHININ MOROCHO

DIRECTOR: Ing. VÍCTOR DAVID BRAVO MOROCHO MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Cristian Patricio Encalada Muñoz & Miguel Angel Zhinin Morocho

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, CRISTIAN PATRICIO ENCALADA MUÑOZ y MIGUEL ANGEL ZHININ MOROCHO, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de Julio del 2022



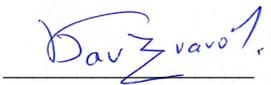
Cristian Patricio Encalada Muñoz
030297332-6



Miguel Angel Zhinin Morocho
030258840-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto de Investigación. **“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE OPTIMO DE BIODIÉSEL Y DIÉSEL FILTRADO A 2850 MSNM, PARA REDUCIR LA OPACIDAD DE UN MOTOR CON SISTEMA CRDI, Y REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL”**, realizado por los señores: **CRISTIAN PATRICIO ENCALADA MUÑOZ** y **MIGUEL ANGEL ZHININ MOROCHO** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Mario Efrain Audelo Guevara MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-07-14
Ing. Victor David Bravo Morocho MSc. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-07-14
Ing. Marco Antonio Ordoñez Vinan MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-07-14

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está especialmente dedicado a mis padres, ya que ellos me guiaron y aconsejaron durante todo mi proceso de formación, porque gracias a ellos soy una persona con valores y principios, sin su apoyo incondicional no habría logrado cumplir con mis metas y objetivos. Ellos son mi ejemplo a seguir, son mi inspiración para trabajar más duro todos los días para construir mi futuro personal y profesional. Son las mejores personas a las que les debo, me siento orgulloso de dedicar este logro para los seres que me dieron la vida y desean lo mejor para mí, realizando lo imposible para mi satisfacción. Ahora espero obtener su satisfacción a través de los frutos que está dando su cosecha.

Cristian & Miguel

AGRADECIMIENTO

Estoy muy agradecido con Dios; me dio salud, me permitió alcanzar mis metas, me acercó cada vez más a mi sueño y me dio la oportunidad de tener los mejores padres que me guiaron hacia adelante con su amor incondicional. Sus consejos me guiaron por un buen camino dándome fuerzas y esperanza en los momentos más difíciles. Los que han forjado mi carácter y actitud ante la vida, gracias a Dios por dejar que el mundo conspire a mi favor.

También agradezco a mis hermanos/hermanas, ya que ellos influyeron en mi decisión de alguna manera y me apoyaron para seguir adelante. Agradecer a mis tíos/tías que son un ejemplo a seguir sus pasos. A mis primos, que son la razón de mi madures, gracias a ustedes logré poner en práctica todo lo que aprendí de las personas al mi alrededor.

A mis maestros, por sus enseñanzas, un preciado regalo que son los conocimientos que he adquirido a lo largo de mi formación profesional, del mismo modo, a mi tutor que me guio a realizar el presente trabajo y todos los que hicieron posible obtener este gran logro.

Cristian & Miguel

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL	7
1.1. Esquema de diseño teórico de la investigación	7
1.2. Justificación y actualidad	8
1.3. Problema	9
1.4. Objetivos	11
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	11
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	11
1.5. Hipótesis	11
1.6. Estado del arte	11
1.6.1. <i>Funcionamiento del motor diésel de cuatro tiempos</i>	11
1.6.2. <i>Etapas de funcionamiento de un motor diésel</i>	12
1.6.2.1. <i>Admisión</i>	12
1.6.2.2. <i>Compresión</i>	12
1.6.2.3. <i>Combustión</i>	12
1.6.3. <i>Proceso de combustión del motor diésel</i>	12
1.6.3.1. <i>Escape</i>	14
1.6.4. <i>Emisiones contaminantes</i>	14
1.6.4.1. <i>Contaminación por diésel</i>	15
1.6.5. <i>Finalidad de las normas EURO y normativas nacionales</i>	17
1.6.5.1. <i>Ciclos de prueba</i>	17
1.6.5.2. <i>Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de diésel. Ciclos FTP-75 y ciclo transiente pesado (prueba dinámica)</i>	18
1.6.6. <i>Sistema de inyección CRDi (Inyección Directa Riel Común)</i>	18

1.6.7.	<i>El biodiésel</i>	19
1.6.7.1.	<i>Obtención del biodiesel</i>	21
1.6.7.2.	<i>Uso del biodiésel y almacenamiento</i>	22
1.6.8.	<i>La opacidad</i>	22
1.6.8.1.	<i>Comparativa de opacidad a diferente altitud entre diésel y biodiésel</i>	22

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	24
2.1.	Métodos de investigación	24
2.1.1.	<i>Método inductivo</i>	24
2.1.2.	<i>Método analítico</i>	24
2.1.3.	<i>Método hipotético-deductivo</i>	24
2.2.	Método científico	25
2.2.1.	<i>Método empírico</i>	25
2.2.2.	<i>Método experimental</i>	25
2.2.3.	<i>Medición</i>	25
2.2.4.	<i>Método cuantitativo</i>	25
2.3.	Sistema del trabajo de investigación	26
2.3.1.	<i>Materiales y equipos</i>	27
2.3.1.1.	<i>Dinamómetro de Chasis LPS 3000</i>	27
2.3.1.2.	<i>Opacímetro MDO2 LON</i>	28
2.3.1.3.	<i>Probeta de laboratorio</i>	29
2.3.1.4.	<i>Sistema de filtrado para combustible diésel por bombeo</i>	30
2.3.1.5.	<i>Contador de partículas</i>	31
2.3.1.6.	<i>Filtro de combustible</i>	31
2.3.2.	Muestras	32
2.3.2.1.	<i>Especificaciones técnicas del combustible biodiésel</i>	32
2.3.2.2.	<i>Especificaciones técnicas del combustible diésel</i>	32
2.3.3.	Análisis del ensayo	33
2.3.3.1.	<i>Obtención de diésel filtrado</i>	33
2.3.3.2.	<i>Norma INEN 2202:2013</i>	34
2.3.4.	Pruebas en dinámetro	36
2.3.4.1.	<i>Selección de vehículo</i>	36
2.3.4.2.	<i>Ubicación del vehículo en el dinamómetro</i>	39
2.3.4.3.	<i>Pruebas de opacidad</i>	39

2.3.5.	Comparación de resultados.....	40
2.3.5.1.	Recolección y análisis de datos.....	40

CAPÍTULO III

3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	47
3.1.	Prueba de opacidad estática en el vehículo Chevrolet D-max 2.5 CD 4X2.....	47
3.1.1.	<i>Para el análisis se utilizó del software estadístico Minitab.....</i>	47
3.1.2.	<i>Prueba de opacidad estática en el vehículo Chevrolet D-max 3.0 CD 4X2</i>	48
3.1.3.	<i>Prueba de opacidad estática en el vehículo Volkswagen Amarok 2.0 CD 4X2</i>	50
3.1.4.	<i>Prueba de opacidad estática en el vehículo Mazda BT-50 OUTDOORS 2.5 4X4....</i>	51
3.2.	Discusión de resultados.....	53
3.2.1.	<i>Resultados de opacidad estática con diésel comercial</i>	53
3.2.2.	<i>Resultados de opacidad estática con diésel filtrado</i>	53
3.2.3.	<i>Resultados de opacidad estática con diésel filtrado & B5</i>	54
3.2.4.	<i>Resultados de opacidad estática con diésel filtrado & B10</i>	55
3.2.5.	<i>Resultados de opacidad estática con diésel filtrado & B15</i>	56

CONCLUSIONES	59
--------------------	----

RECOMENDACIONES	60
-----------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Límites máximos de emisiones.....	18
Tabla 2-1:	Comparación entre diésel y biodiesel	20
Tabla 3-1:	Comparativa de opacidad promedio entre el diésel fósil y el biodiesel B5 a diferente altitud	23
Tabla 1-2:	Especificaciones dinamómetro LPS 3000	28
Tabla 2-2:	Especificaciones de opacímetro MDO2 LON	29
Tabla 3-2:	Especificación técnica de máquina de filtrado de diésel.....	31
Tabla 4-2:	Especificaciones técnicas del biodiesel	32
Tabla 5-2:	Especificaciones técnicas del diésel.....	33
Tabla 6-2:	Porcentaje de la mezcla entre Biodiesel y Diesel filtrado.....	33
Tabla 7-2:	Especificaciones técnicas del vehículo 1	36
Tabla 8-2:	Especificaciones técnicas del vehículo 2	37
Tabla 9-2:	Especificaciones técnicas del vehículo 3	38
Tabla 10-2:	Especificaciones técnicas del vehículo 4	38
Tabla 11-2:	Resultados de opacidad con diferentes porcentajes de mezclas por el método de aceleración libre en el vehículo 1.....	41
Tabla 12-2:	Análisis de varianza del vehículo Chevrolet D-max 2.5 CD 4X2	41
Tabla 13-2:	Método de Tukey con una confianza de 95% del vehículo Chevrolet D-max 2.5 4X2.....	42
Tabla 14-2:	Resultados de opacidad con diferentes porcentajes de mezclas por el método de aceleración libre en el vehículo 2.....	42
Tabla 15-2:	Análisis de varianza del vehículo Chevrolet D-max 3.0 CD 4X2	43
Tabla 16-2:	Método de Tukey con una confianza de 95% del vehículo Chevrolet D-max 3.0 4X2.....	43
Tabla 17-2:	Resultados de opacidad con diferentes porcentajes de mezclas por el método de aceleración libre en el vehículo 3.....	43
Tabla 18-2:	Análisis de varianza del vehículo Volkswagen Amarok 2.0 CD 4X2	44
Tabla 19-2:	Método de Tukey con una confianza de 95% del vehículo Volkswagen Amarok 2.0 CD 4X2	44
Tabla 20-2:	Resultados de opacidad con diferentes porcentajes de mezclas por el método de aceleración libre en el vehículo 4.....	45
Tabla 21-2:	Análisis de varianza del vehículo Mazda BT-50 OUTDOORS 2.5 4X4	45

Tabla 22-2: Método de Tukey con una confianza de 95% del vehículo Mazda BT-50 OUTDOORS 2.5 4X4	46
Tabla 23-2: Resultados de opacidad de la mezcla diésel filtrado & B15 en los vehículos analizados.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Sistema Common Rail.....	19
Figura 2-1:	Obtención de biodiesel.....	21
Figura 1-2:	Dinamómetro LPS 3000.....	28
Figura 2-2:	Opacímetro MDO2 LON.....	29
Figura 3-2:	Probeta de laboratorio	30
Figura 4-2:	Sistema de filtrado diésel	30
Figura 5-2:	Contador de partículas.....	31
Figura 6-2:	Filtro RACOR PFDE – 10/30	32
Figura 7-2:	Filtrado de diésel	34
Figura 8-2:	Chevrolet D-max 2.5 4x2	37
Figura 9-2:	Chevrolet D-max 3.0 4x2	37
Figura 10-2:	Volkswagen Amarok 2.0 4x2.....	38
Figura 11-2:	Mazda BT-50 2.5 4X4.....	39

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Organigrama del estudio del porcentaje de opacidad en los vehículos con sistema CRDi	7
Gráfico 2-1:	Proceso de combustión del motor diésel.....	13
Gráfico 3-1:	Ciclo termodinámico del motor diésel.....	14
Gráfico 4-1:	Gráfica de cajas para el Monóxido de Carbono (CO).....	15
Gráfico 5-1:	Variación de CO	16
Gráfico 6-1:	Variación de NOx	17
Gráfico 1-2:	Orden cronológico de la investigación	27
Gráfico 1-3:	Grafica de residuos sobre los resultados de la opacidad.....	47
Gráfico 2-3:	Grafica de disminución de opacidad del vehículo Chevrolet D-max 2.5	48
Gráfico 3-3:	Grafica de residuos sobre los resultados de la opacidad.....	49
Gráfico 4-3:	Grafica de disminución de opacidad del vehículo Chevrolet D-max 3.0	49
Gráfico 5-3:	Grafica de residuos sobre los resultados de la opacidad.....	50
Gráfico 6-3:	Grafica de disminución de opacidad del vehículo VW Amarok 2.0	51
Gráfico 7-3:	Grafica de residuos sobre los resultados de la opacidad.....	52
Gráfico 8-3:	Grafica de disminución de opacidad del vehículo Mazda BT-50.....	52
Gráfico 9-3:	Grafica de porcentaje de opacidad del diésel comercial.....	53
Gráfico 10-3:	Grafica de porcentaje de opacidad del diésel filtrado.....	54
Gráfico 11-3:	Grafica de porcentaje de opacidad de la mezcla diésel filtrado & B5	55
Gráfico 12-3:	Grafica de porcentaje de opacidad de la mezcla diésel filtrado & B10.....	55
Gráfico 13-3:	Grafica de porcentaje de opacidad de la mezcla diésel filtrado & B15	56
Gráfico 14-3:	Grafica del porcentaje de opacidad con la mezcla idónea respecto al decreto municipal 213	57
Gráfico 15-3:	Opacidad promedio de las mezclas analizadas.....	57
Gráfico 16-3:	Opacidad promedio con diésel y mezclas, camionetas MBT-50 y GW Wingle	58

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CICLO DE CONDUCCIÓN AMERICANA

ANEXO B: CICLO DE CONDUCCIÓN EUROPEA

ANEXO C: TANQUE EXTERNO DE COMBUSTIBLE

ANEXO D: MEZCLAS DE COMBUSTIBLES

ANEXO E: MUESTRAS DE COMBUSTIBLES

ANEXO F: REGISTROS DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES
ESTÁTICOS DIESEL

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar el porcentaje de mezcla idónea entre biodiesel y diésel filtrado, mediante diferentes proporciones de los combustibles para la reducción de niveles de opacidad en camionetas con sistema de Inyección Directa por Conducto Común (CRDI) en la ciudad de Quito. Se definió tres porcentajes de mezcla del Biodiesel (B) al B5, B10 y B15, se tomó en cuenta la opacidad mediante el uso de un dinamómetro automotriz modelo PLS 3000 con el diésel filtrado, como también la opacidad con el diésel comercial para hacer referencia de la reducción del mismo en los cuatro vehículos con sistema CRDI y para el filtrado de diésel comercial, se hizo uso de la máquina de filtrado de diésel por bombeo la cual utiliza filtros Racor PFD10/30 llegando a obtener un nivel de pureza mediante los códigos de limpieza según la Organización Internacional de Normalización (ISO) 14/13/9. Para el análisis estadístico de la opacidad se realizó mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) y el método de TUKEY para la diferencia de medias, resultando así que al menos dos tipos de mezclas son diferentes y que el tratamiento que minimiza el porcentaje de opacidad es la mezcla del diésel filtrado & B15. Se concluye que al realizar un filtrado del diésel comercial mejora la calidad del combustible reduciendo considerablemente el porcentaje de opacidad en los vehículos analizados, en consecuencia, si se comercializara diésel filtrado en todo el Ecuador se mejoraría la combustión y se reducirá las emisiones contaminantes. Se recomienda para pruebas llevadas a cabo en laboratorio o en bancos dinamómetros es necesario tener precisión en los equipos de medición para tener una efectividad de medición.

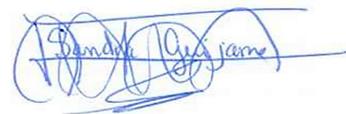
Palabras clave: <PORCENTAJE DE OPACIDAD>, <DIÉSEL>, <FILTROS DE COMBUSTIBLE>, <BIODIÉSEL>, <INYECCIÓN DIRECTA POR CONDUCTO COMÚN (CRDI)>, <VEHÍCULOS>, <MEZCLAS DE COMBUSTIBLES>.



SUMMARY

This research aimed to determine the ideal mixture percentage between biodiesel and filtered diesel through different proportions of the fuels to reduce opacity levels in trucks with a Common Pipe Direct Injection (CRDI) system in Quito city. Three percentages of the mixture of Biodiesel (B) to B5, B10, and B15 were defined. The opacity was taken into account by using a model PLS 3000 automotive dynamometer with the filtered diesel and the ambiguity with the commercial diesel to refer to its reduction in the four vehicles with the CRDI system. For commercial diesel filtering, the pumped diesel filtering machine was used, which uses Racor PFD10/30 filters, reaching a level of purity through the cleanliness of the code according to the International Organization for Standardization (ISO) 14/13/9. For the statistical analysis of opacity, the Analysis of Variance (ANOVA) and the TUKEY method were performed for the difference in means, resulting in at least two types of mixtures being different, and the treatment that minimizes the percentage of opacity is the mixture of filtered diesel & B15. It is concluded that filtering commercial diesel improves fuel quality, considerably reducing the opacity rate in the analyzed vehicles. Consequently, if filtered diesel were commercialized throughout Ecuador, combustion would be enhanced, and polluting emissions would be reduced. For tests carried out in the laboratory or on dynamometer benches, it is recommended to have precision in the measurement equipment to have an effectiveness of measurement.

Keywords: <PERCENTAGE OF OPACITY> <DIESEL> <FUEL FILTERS> <BIODIESEL> <COMMON PIPE DIRECT INJECTION (CRDI)> <FUEL MIXTURES>.



Lcda. Sandra Leticia Guijarro P. Mgs
C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética es un concepto que se ha establecido con fuerza en los últimos años, siendo el agotamiento de las reservas de petróleo, el aumento de los costos de los combustibles fósiles y el cambio climático los eventos clave que impulsan este proceso (Bayetero, 2020, p.9). Considerando que el transporte a nivel mundial es parte de los procesos industriales desde la extracción de la materia prima hasta la comercialización, el cual representa una de las áreas de mayor impacto ambiental y energético, para lo cual es fundamental realizar investigaciones acerca de los diferentes tipos de biocombustibles para evaluar su comportamiento y buscar la mejor alternativa (Dong et al., 2019, pp.336-338).

El sector del transporte es el principal consumidor de energía, representa el 61,7% del consumo energético mundial y también es responsable del 24,4% de las emisiones de gases de efecto invernadero causadas por la combustión de combustibles fósiles (Dong et al., 2019, p.339). Por estas razones, es necesario encontrar nuevas fuentes de energía limpia y renovable que ayuden a reducir la dependencia del petróleo y sus derivados (Bayetero, 2020, p.10).

La economía de cada país depende directa o indirectamente de los recursos de petróleo fósil y se ha ido reduciendo gradualmente debido a la industrialización a gran escala, el transporte y las explosiones demográficas. Además, la preocupación por los desequilibrios climáticos, el calentamiento global y los compromisos asumidos por los países desarrollados para mejorar la seguridad del suministro energético y promover el uso de energías renovables son solo algunos de los factores que hacen del biodiesel una alternativa interesante (Rocha et al., 2019, p.138).

El biodiésel ha recibido atención internacional debido a sus propiedades de combustible y compatibilidad. Tiene mejores propiedades renovables que el diésel de petróleo, mejor biodegradabilidad que los combustibles fósiles, no tóxico, excelente lubricidad y básicamente está libre de azufre y aromáticos (Ramos, 2019, p.10). El biodiésel tiene la capacidad de reducir el nivel de contaminantes y posibles carcinógenos. Es un combustible ecológico que se puede utilizar en cualquier motor diésel sin necesidad de rediseñar las tecnologías existentes. Tiene mejores emisiones de escape porque el carbono orgánico presente en él proviene de la fotosíntesis. No contribuye a aumentar el nivel de dióxido de carbono en la atmósfera y, por lo tanto, no aumenta el efecto invernadero. Aunque la emisión de óxidos de nitrógeno es relativamente alta, el contenido de CO, CO₂, HC y humo producido por la combustión del biodiesel es bajo (Keera et al., 2018, p.980).

El biodiésel, el etanol y el metanol son los principales combustibles alternativos potenciales que pueden reducir el calentamiento global, el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de gases de escape. En la actualidad, se genera una masiva búsqueda para utilizar aceite vegetal en

motores diésel, y posteriormente utilizar biodiésel con características técnicamente mejoradas en comparación con el aceite vegetal (Chen et al., 2018; Rocha et al., 2019).

La producción de biodiésel mediante el proceso de transesterificación de aceites se sintetiza a partir de materia prima con un alto contenido de ácidos grasos insaturados, como el ácido linoleico y el ácido linolénico, es más probable que se oxide, considerando los cambios en algunas de sus propiedades, como el alto contenido de cetano, punto de inflamabilidad y características de lubricación (Mofijur et al., 2014, p.79). Las emisiones y el consumo de combustible se han reducido significativamente en virtud de los esfuerzos en diseño de motores (Navarrete et al., 2018, p.3). No obstante, es complicado conseguir los estándares de emisión requeridos sólo por medio del diseño del motor.

Los datos experimentales reportados por varios investigadores muestran que, en comparación con la combustión de diésel, la combustión de biodiesel conduce a niveles más bajos de partículas y emisiones de monóxido de carbono, pero niveles ligeramente más altos de óxidos de nitrógeno (NOx) (Kim, 2018; Thiyagarajan et al., 2017; Rocha et al., 2019). Al analizar el rendimiento del combustible y las características de emisión, se ha demostrado que los aditivos reducen el consumo de combustible y el retardo de encendido, al tiempo que aumenta el valor calorífico del combustible. La reducción de emisiones de CO y los gases de combustión, está estrechamente relacionada con el contenido de oxígeno del biodiésel y el efecto catalítico de los aditivos de combustible a base de metales.

En un mundo en donde los carburantes fósiles pueden presentar un precio muy volátil además de comenzar a deteriorar rápidamente el ambiente, el biodiésel a destacado por ser una solución importante, no solamente por ser verde y menos contaminante que el petrodiesel, sino que además proyecta un costo de elaboración más económico y una flexibilidad interesante para llevar diferentes materias primas para su elaboración. Sin embargo, en muchos países en donde la gran colectividad de los conductores y consumidores no están seguros si deben de comprar carburante de tipo Magna o Premium, la idea de sustituir o mezclar su petrodiesel con biodiésel causa una aversión al proceso (Ramos, 2019, p.17).

El progreso de la electrónica está presente en diferentes áreas y aplicaciones de la vida moderna, en el campo automotriz no es la excepción. El vertiginoso desarrollo tecnológico posibilita llegar de una manera casi certera y eficiente a las diferentes fallas de los vehículos, el osciloscopio es un instrumento que posibilita una gigantesca versatilidad en el diagnóstico, debido a que posibilita graficar en tiempo real la conducta de una señal u orden, o sea no solo ofrece un parámetro numérico sino además gráfico.

Es en esencia igual a la inyección multipunto de un motor de gasolina, en la cual hay un conducto común para todos los inyectores, con la diferencia de que los motores de encendido por compresión trabajan a una presión más elevada. Para logara esto se recurre a unos orificios más

pequeños, ubicados radialmente en la punta del inyector (tobera), compensando esta pequeña sección de paso con una presión mucho mayor (Mediavilla y Torres, 2019, p.61). El sistema de Inyección Directa Common Rail ayuda a controlar individualmente el avance de la distribución y de la inyección, lo que permite un control completo de la combustión por cilindro. Además, la presión de inyección se puede ajustar dentro de un rango de valores diferentes dependiendo de las condiciones de funcionamiento del motor (Aguirre y Ortiz, 2013, p.15).

Para este tipo de sistema es fundamental de un elemento o componente electrohidráulico de inyección de combustible que está formado por una válvula eléctrica solenoide, aguja y una tobera. La tobera del inyector se abre una vez que la válvula solenoide es activada por la ECU para inyectar de manera directa el combustible a la cámara de combustión del motor. Las fuerzas que se debe superar para levantar la aguja del inyector resultan muy grandes, por esta razón, es imposible mantener el control del inyector de manera directa por medio de un actuador electromagnético. Por lo cual el inyector es de forma indirecta controlado mediante una válvula que controla la presurización o la descarga de la cámara de control ubicado por encima de la aguja. Es decir, a parte del control electrónico comandado por la ECU, es necesario control hidráulico dado en diferencia de presiones (Mediavilla y Torres, 2019, p.63).

El hollín, las cenizas y el polvo son partículas relativamente pesadas que se depositan en el suelo y el aire las elimina rápidamente. Pero en cuanto a su origen, suelen ser perjudiciales para la salud porque pueden provocar enfermedades respiratorias crónicas como enfisema y cáncer. La realidad es que hoy en día, la única prueba de gas para vehículos diésel en las inspecciones técnicas es la prueba de opacidad o nivel de coeficiente de absorción. Se trata de una prueba que mide la cantidad de gas que emite el motor, generalmente los gases, de ahí que la problemática para no pasar la prueba ya que los vehículos diésel emiten demasiado humo, independientemente de la causa de la avería del motor. Por lo tanto, la prueba de gas no considera si los inyectores, EGR o FAP están funcionando bien, tan solo busca que la cantidad de humo global y su contenido no excede el límite especificado por el fabricante o en su defecto en los límites establecidos se acuerdo a la norma que se aplica en cada país (Clavero, 2020, p.35).

Un filtro de partículas diésel (DPF) es un dispositivo que atrapa a las partículas diésel para evitar su liberación a la atmósfera. El material del filtro de partículas diésel se ha desarrollado mostrando una impresionante eficiencia de filtración de más del 90 %, así como una buena durabilidad mecánica y térmica. Los filtros de partículas diésel se han convertido en la tecnología más eficaz para controlar de manera eficiente las emisiones de partículas diésel, tanto en cantidad como en calidad (Wade et al., 2020, p.53).

Debido a los mecanismos de deposición de partículas en estos dispositivos, los filtros son más efectivos para controlar la fracción sólida de las partículas diésel, incluido el carbón elemental (hollín) y la emisión de humo negro relacionada. Los filtros pueden tener una eficacia limitada, o

ser totalmente ineficaces, para controlar las fracciones no sólidas de las emisiones de materia particulado (PM), la fracción orgánica (OF) y las partículas de sulfato. Para controlar las emisiones totales de PM, es probable que los sistemas DPF incorporen componentes funcionales adicionales dirigidos al OF, mientras que se pueden requerir combustibles con contenido ultra bajo de azufre para controlar las partículas de sulfato (Wade et al., 2020, p.54).

Cuando se habla del tamaño del micrón (1 micrón = una millonésima parte de un metro), los fabricantes deben describir el rendimiento de la media filtrante utilizado en el filtro mediante la "relación beta". La norma internacional ISO 16889 enumera ocho relaciones beta comunes que se utilizan para expresar la eficiencia del filtro: Beta 2, 10, 20, 75, 100, 200, 1000 y 2000.

Al realizar la prueba ISO, el filtro se verifica con un contador de partículas que mide con precisión el tamaño y la cantidad de partículas en un volumen conocido de líquido antes del filtro y después de que haya pasado por el filtro. La tasa beta se define como la cantidad de partículas antes del filtro dividido por la cantidad de partículas después del filtro en un tamaño de partícula dado. Usando una velocidad beta, un filtro de cinco micras con una tasa beta de 10 ($B_5 = 10$), habrá un promedio de 10 partículas mayores o iguales a cinco micras antes de ingresar al filtro por cada partícula mayor o igual a cinco micras después del filtro (Wade et al., 2020, p.56).

Los códigos de limpieza ISO se derivan de la norma internacional ISO 4406:2017. El código ISO tiene 3 conjuntos separados de números que representan el rango de la cantidad de partículas por un mililitro que son "mayores que" en tamaño 4 micras, 6 micras y 14 micras. Obviamente, dado que las partículas de 6 y 14 micras son más grandes que las de 4 micras, también aparecen en el primer número. El segundo número se refiere solo a partículas mayores de 6 micrones de tamaño, y el último número se refiere solo a partículas mayores de 14 micrones de tamaño. La nomenclatura es la siguiente, si el código es 20/18/15, significa que en una muestra de 1 ml se encuentran las siguientes: 5.000 a 10.000 partículas mayores o iguales a 4 micras, 1300 a 2500 partículas mayores o iguales a 6 micrómetros y entre 160 y 320 partículas mayores o iguales a 14 micrómetros (Hodac et al., 2009, p.6).

Los procesos de esterificación y refinación de productos, junto con la selección de materias primas, tienden a producir muchos tipos de contaminación. Las malas prácticas de manejo de combustible pueden introducir otros contaminantes o compuestos que no son solubles en éster metílico de ácido graso. Pequeñas cantidades de dicha contaminación causarán el taponamiento del filtro de combustible y depósitos en los inyectores y deben controlarse bien para evitar problemas. Si el agua se mide independientemente del sedimento, el combustible también debe cumplir con un límite de contaminación total separado (Hodac et al., 2009, p.7).

La medición de la contaminación por partículas de combustible necesariamente considera la masa total, el tamaño y la cantidad de partículas por clase de tamaño (es decir, la distribución del tamaño de las partículas). El protocolo ISO 4406 proporciona un medio para expresar el nivel de

contaminación por distribución de tamaño. ASTM D2276 permite el muestreo de línea en el campo. Cualquiera que sea el método que se use, se deben usar filtros de fibra de vidrio en lugar de un filtro de membrana. Además de que la muestra debe destilarse al vacío para evitar la polimerización, si se destila a presión atmosférica, la cantidad de residuo aumentará y puede producir resultados engañosos (Hodac et al., 2009, p.8).

La prueba de opacidad implica acelerar el motor al menos tres veces, desde el ralentí hasta el corte de inyección, obteniendo como resultado el promedio de tres mediciones. Para obtener resultados de opacidad más precisos, se espera que en el futuro haya protocolos de análisis del sistema de control de emisiones más estrictos, ya sea a nivel de prueba de gas, para detectar cada uno de los gases que se expulsan y así evitar nuevos problemas relacionado con las emisiones contaminantes, como a nivel de centralita para comprobar el funcionamiento de los sistemas conforme a los valores requeridos para la correspondiente homologación (Clavero, 2020, p.37).

El porcentaje de opacidad es la unidad de medición que determina el grado de opacidad de las emisiones de escape de un vehículo diésel, en el Ecuador esta normativa está dada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización en la norma técnica NTE INEN 2 202:2000, donde establece que los límites máximos de opacidad de emisiones emitidos por vehículos con motor diésel son: A partir del año 2000 en adelante es el 50 % de opacidad y los modelos posteriores al año 2000 es el 60% de opacidad (Yepez et al., 2011, p.54).

Por esta razón, la comunidad científica está constantemente en busca de nuevas fuentes de energía limpia y renovable que ayude a reducir las emisiones a la atmosfera y enfermedades que puede causar al ser humano. Una alternativa al diésel fósil es el biodiésel, debido a que dicho combustible es un biocombustible líquido renovable compuesto por ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales que se mezclan, en diferentes porcentajes con gasoil, además, es un combustible alternativo de carbón neutro que se debe considerar como un mecanismo para reducir las emisiones contaminantes generadas durante la combustión.

Algunas de las características del biodiesel es que, es biodegradable e inocuo para el medio ambiente, genera puestos de trabajo en las zonas rurales y diversifica las fuentes de energía, además no se requiere grandes cambios en el motor. Mediante el uso de biodiésel puro o biodiésel mezclado, se han obtenido resultados interesantes. El uso de este tipo de biocombustible reduce en gran medida la posibilidad de destruir la capa de ozono hasta en un 50%. Las emisiones de sulfato y óxido de azufre son eliminadas por el biodiesel puro. Estos son los principales componentes de la lluvia ácida, y las partículas relacionadas con la formación de lluvia ácida se debe principalmente al azufre. El uso de biodiesel en los motores diésel resulta en una reducción significativa en la cantidad total de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y partículas

en suspensión; las emisiones de óxidos de nitrógeno son similares o ligeramente incrementadas (Yepez et al., 2017, p.58).

En lo referente a motores diésel, dadas las ventajas técnicas, estratégicas y ambientales que ofrece el biodiésel, sería la mejor alternativa para sustituir parcial o totalmente al combustible diésel derivado del petróleo. De acuerdo con las normas que se aplican en el Ecuador, establece los límites máximos permisibles de opacidad, provenientes del escape de los vehículos automotores en que usan como combustible el diésel (Yepez et al., 2011, p.60). El cumplimiento es obligatorio de los límites permitidos de emisiones contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres de diésel, para los propietarios o legales poseedores de vehículos con motores de encendido por compresión.

La presente investigación tiene como objetivo encontrar el porcentaje idóneo de mezcla entre biodiesel y diésel filtrado, para reducir la opacidad en motores de encendido a compresión, mediante la experimentación y uso de equipos de medición automotriz (opacímetro, analizador de gases de escape, dinamómetro automotriz), para su aplicación masiva en los vehículos automotrices. De este modo se identifica la problemática de cómo se comportarían las emisiones y las características mecánicas del MEC con la aplicación de diferentes proporciones de mezclas de biodiésel y diésel filtrado.

Para la obtención de datos se estudiará vehículos diésel (camionetas) de diferentes marcas existentes en el país con sistema de inyección CRDi (Inyección Directa Común Riel). Los mismos que serán sometidos a pruebas de opacidad en laboratorios que cuenten con las facilidades necesarias para dicha investigación. La investigación será tanto documental como experimental, con el afán de que las conclusiones se ajusten a la realidad. Como principales limitantes para esta investigación son los filtros con ciertas características inexistentes en el país por ello se tiene que importar, también una limitante es el biodiesel ya que actualmente no se fabrica a nivel industrial en el país por lo que se requiere un laboratorio especializado para elaborar dicho combustible y por el ajustado presupuesto, complica las posibilidades de acceder a más de una decena de muestras. Es en este sentido la investigación documental será clave para sortear la complicación mencionada.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Esquema de diseño teórico de la investigación

A continuación, se muestra un organigrama donde se detalla cada una de las fases de la investigación sobre la problemática de la opacidad en el parque automotor.

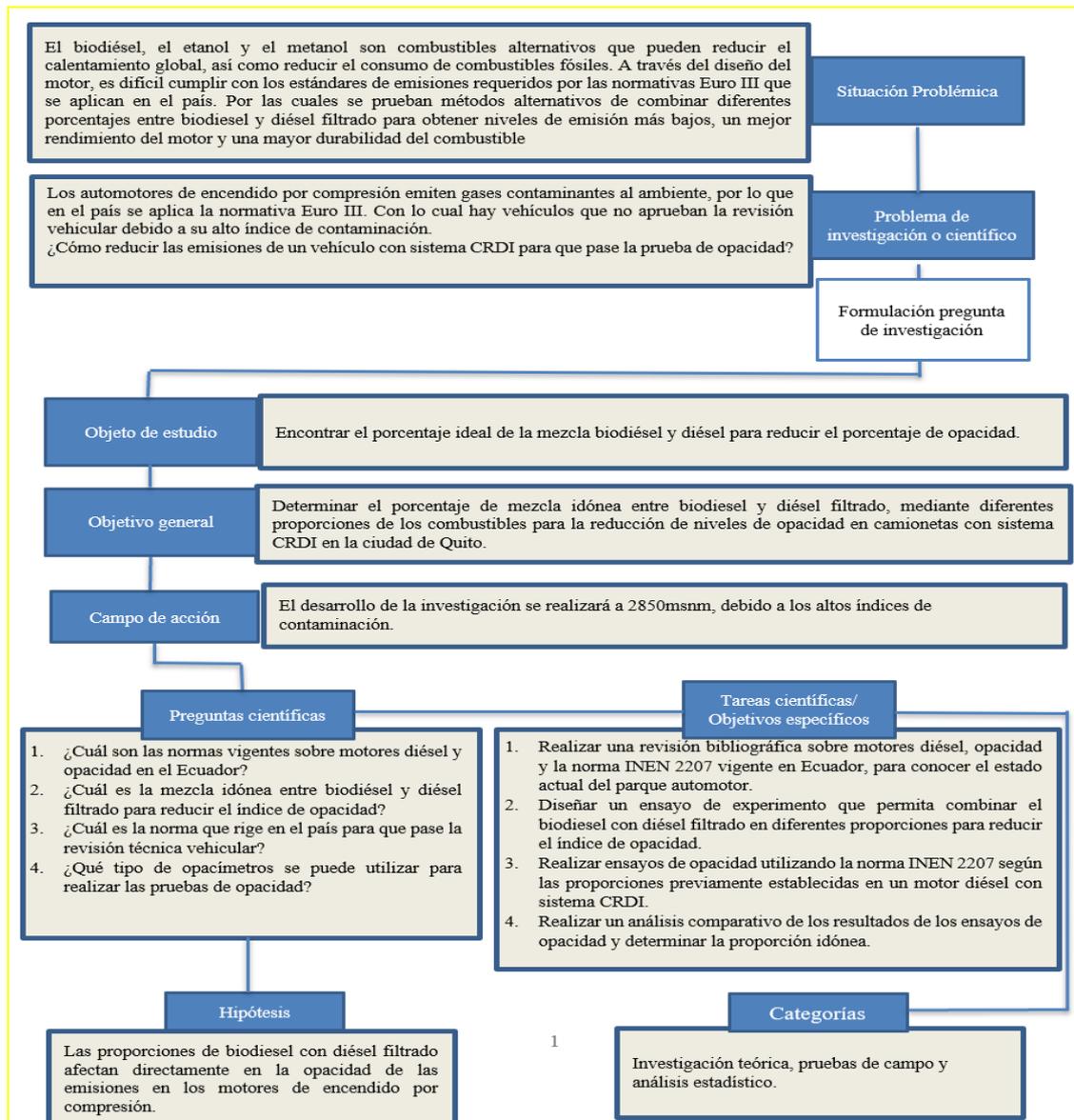


Gráfico 1-1: Organigrama del estudio del porcentaje de opacidad en los vehículos con sistema CRDi

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

1.2. Justificación y actualidad

Esta investigación busca hacer frente a los antecedentes manifestados por los altos niveles de contaminación y polución generados especialmente por el parque automotor, frente al escaso aprovechamiento energético de las materias orgánicas como fuentes de energía, a través de biocombustibles que garanticen una disminución del impacto ambiental y un óptimo funcionamiento en los motores de combustión interna (Rocha et al., 2019, p.138).

El control de las emisiones contaminantes provenientes de los automóviles es una de las líneas de la investigación constante a nivel mundial, tanto para los entes de control en cada país, como para los fabricantes de vehículos que están obligados a cumplir con la normativa medioambiental EURO y TIER, la cual se ha convertido en un reto que han sido superado parcialmente. Por otro lado, los gases de efecto invernadero que inciden en el calentamiento global están liderando actualmente el control (Jurado y Raynier, 2018, p.63). La huella de carbono que generan las fuentes móviles que está representado por el parque automotor se ha convertido en el nuevo frente de investigación.

En Ecuador desde 2004 se han implementado los centros de revisión técnica vehicular, los cuales son un ente de control, que han adoptado los lineamientos de la Normativa EURO III para su funcionamiento, con lo cual han logrado controlar parcialmente las emisiones vehiculares en las principales ciudades. Además, la introducción de biocombustibles como energía alternativa limpia ha tenido una moderada participación en la línea de combustibles que se comercializan en el país. Se refiere a la gasolina Ecopais que se compone del 90% de combustible fósil y un 10% de etanol para vehículos con motores a gasolina (Aguirre y Vaca, 2017, p.6).

La huella de contaminación atmosférica es otro tema de gran importancia que se debaten en los Tratados de Calentamiento Global; esta huella se le atribuye a la opacidad como unos de los principales precursores de su formación. La opacidad es producto de las emisiones vehiculares que se genera de la combustión del diésel en su mayor parte por el alto contenido de azufre. Entre los principales factores que inciden para la formación de opacidad en un motor, están las condiciones mecánicas del motor las cuales garantizan tener un llenado volumétrico de aire ideal en la cámara de combustión y por otro lado la calidad del combustible diésel. Al referirse a la calidad del combustible se hace alusión a la cantidad de azufre existente y al nivel de filtrado del combustible.

Los criterios de diseño mecánico, sistemas post tratamiento y los sistemas de inyección de los motores diésel son condicionantes que influyen directamente en el nivel de emisiones y particularmente en el nivel de opacidad. El sistema de inyección directa Common rail, es una mejora importante de la tecnología en la inyección tradicional, su completa arquitectura permite a través de una serie de componentes electrónicos controlar altas presiones de combustible, para

de esta manera ajustar con precisión el flujo de inyección de combustible óptimo de acuerdo con la carga del motor y evitar consumos innecesarios de combustible. Esta característica del sistema permite ahorrar combustible, reducir la contaminación causada por una combustión incompleta y mejoramiento del rendimiento de potencia (Santamaría y Javier, 2019, p.40).

El Ecuador a través de la ley de Gestión Ambiental reconoce el compromiso expuesto en el artículo 395 de marco legal: “El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras” (Asamblea Constituyente, 2008, p.1). Para lo cual promueve la protección de medio ambiente a través de reformas gubernamentales, que controlan la reducción de gases contaminantes de fuentes móviles. La fuente que tiene mayor participación es la del parque automotor con el 70% de emisiones (Ministerio del Ambiente, 2014, p.61). En tal virtud, las reformas se elaboraron en base a las normas europeas Euro III (Mediavilla y Torres, 2019, p.68).

Euro III trata de una tecnología aplicada a los motores y su sistema de inyección para generar gases más limpios que producen los automotores. Este tipo de tecnología necesita que se utilicen combustibles de mayor calidad con valores inferiores a los 350 ppm (partículas por millón) de azufre (Telégrafo, 2017, p.2).

La Norma Euro III limita las emisiones de óxido de carbono, hidrocarburos y óxido nitroso, los cuales son gases perjudiciales para la salud y el medioambiente, producidos por los vehículos pesados y ligeros. Un motor más eficiente aprovecha mejor el combustible que otros, mejorando así la combustión y emitiendo la cantidad menor de los agentes contaminantes. Además de eso, para que un vehículo cumpla con la norma Euro III, debe contar con cierta tecnología que incluye la utilización de sensores, actuadores y catalizadores.

1.3. Problema

Desde 2004, en la ciudad de Quito, se viene realizando la revisión técnica vehicular a los automotores que utilizan combustibles fósiles. Sin embargo, para los vehículos que utilizan diésel, los parámetros técnicos aprobados para su revisión son demasiado tolerantes.

El decreto municipal 213 establece: Para vehículos nuevos modelo 2019 en adelante, el límite de opacidad será del 30%, lo que reducirá las emisiones vehiculares. El límite anterior de opacidad era del 50%, exigiendo que los vehículos en circulación a diésel de transporte público y comercial sean Euro III. Además, se aprobó que Quito será la primera ciudad en el país en medir material particulado 2.5, en la revisión técnica vehicular obligatoria, que es una de las principales causas de afecciones respiratorias (Román, 2020, p.50).

Los avances tecnológicos han hecho posible proporcionar nuevos usos para el Diesel, que se relacionan principalmente con el transporte pesado y la maquinaria agrícola; estas innovaciones ayudan a reducir el consumo de combustible al agregar componentes electrónicos a los automóviles estándar, lo que puede mejorar el rendimiento y la eficiencia del motor. En general, el ambiente se ve afectada por la contaminación industrial, y una gran parte proviene de los motores de combustión interna. Por lo tanto, las fábricas deben continuar innovando y desarrollando productos para encontrar mejor energía, reducir la contaminación y mejorar el consumo de combustible.

Desde la implementación de las normas EU aplicadas en el parque automotriz, para prevenir la contaminación ambiental, los fabricantes de vehículos han mejorado sus sistemas de alimentación, tanto así que hoy en día ya no se comercializan vehículos con sistema de alimentación mecánica (bomba mecánica), debido a su alto consumo de combustible, mayor contaminación y un elevado porcentaje de opacidad (Payri y Desantes, 2011, p.9). En la actualidad en el Ecuador hay una mayor demanda de vehículos con sistemas CRDi, teniendo una gran ventaja sobre el sistema de bomba mecánica, debido a su bajo consumo de combustible, amigable con el ambiente y reducción en los niveles de opacidad, siempre y cuando el combustible cumpla con los parámetros que el sistema CRDi requiere, pero esto no sucede, por lo tanto esta investigación se enfoca en encontrar una solución a los problemas de opacidad en los sistemas CRDi en vehículos nuevos, es así que se utilizará un Biodiesel en diferentes proporciones para reducir la opacidad de los gases de escape y poder cumplir con la norma Euro III.

La última condición y la más importante es la calidad del combustible que se comercializa en el Ecuador los componentes del combustible no son los mejores. Los combustibles que produce y comercializa EP Petroecuador a escala nacional cumplen con los parámetros de calidad establecidos por la Norma INEN, en especial el Diésel Premium que es utilizado por el servicio de transporte público. Actualmente, se realiza el despacho de este combustible desde el Terminal de Productos Limpios El Beaterio, ubicado en la provincia de Pichincha, con un contenido de azufre menor a 150 partes por millón (ppm) en promedio, siendo el máximo permitido de 500 ppm. Los combustibles con bajo contenido de azufre son claves para reducir las emisiones vehiculares contaminantes (EP PETROECUADOR, 2020, p.4). Por tal razón, de acuerdo con los registros oficiales de los Centros de Revisión Técnica vehicular, la opacidad es un parámetro que muy pocos vehículos cumplen como establece la normativa. De acuerdo con el CRTV que se especifica en el anexo A, indica que el 69,9% de los vehículos en el año 2017 rebasan el nivel máximo de opacidad (Cabrera y Carpio, 2019, p.33). En tal virtud este proyecto pretende dilucidar el comportamiento del grado de opacidad a partir del uso controlado de biodiesel en vehículos con sistemas de inyección modernos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Determinar el porcentaje de mezcla idónea entre biodiesel y diésel filtrado, mediante diferentes proporciones de los combustibles para la reducción de niveles de opacidad en camionetas con sistema CRDi en la ciudad de Quito.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica sobre motores diésel, opacidad y la norma INEN 2207 vigente en Ecuador, para conocer el estado actual del parque automotor.
- Diseñar un ensayo de experimento que permita combinar el biodiesel con diésel filtrado en diferentes proporciones para reducir el índice de opacidad.
- Realizar ensayos de opacidad utilizando la norma INEN 2207 según las proporciones previamente establecidas en un motor diésel con sistema CRDi.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados de los ensayos de opacidad y determinar la proporción idónea.

1.5. Hipótesis

Las proporciones de biodiesel con diésel filtrado minimizan el porcentaje de opacidad de las emisiones en los motores de encendido por compresión.

1.6. Estado del arte

1.6.1. Funcionamiento del motor diésel de cuatro tiempos

La principal diferencia entre un motor de encendido por compresión y un motor de encendido provocado, es la ausencia de chispa generada por la bujía. En su lugar, el motor produce una autoignición (Motor.es, 2021). A nivel real en el ciclo del motor se identifica las transformaciones que tiene el fluido operante durante las carreras del pistón. Por lo tanto, en un motor de cuatro tiempos las carrera del pistón son: la carrera de admisión cuando el cilindro se llena, la carrera de compresión cuando el fluido de trabajo se comprime politrópicamente, en la carrera de explosión coincide la expansión politrópica de los gases y la carrera de escape en donde se expulsa los gases quemados (Parera, 1996, p.42).

Básicamente se trata de motores de combustión interna alternativos con autoencendido, son motores térmicos de desplazamiento volumétrico en los que el trabajo se obtiene mediante el trabajo lineal del émbolo y de un mecanismo biela-manivela (José y Marta, 2015, p.62). En la realización de este proceso se ha encontrado que fácilmente puede alcanzar temperaturas entre 600 a 1200 °C, con lo que pueden conseguirse rendimientos entre el 70 y el 80% de rendimiento (Payri y Desantes, 2011, p.13). Por otra parte, los motores de combustión interna modernos deben tener períodos de drenaje de aceite más largos para disminuir los costos operativos y los niveles de contaminación ambiental (Yüksek et al., 2009, p.95).

1.6.2. Etapas de funcionamiento de un motor diésel

1.6.2.1. Admisión

Durante este proceso se produce el llenado de aire, debido a que la válvula de admisión permanece abierta hasta que el pistón llegue al punto muerto inferior. Estos motores utilizan un intercooler, que se encarga de enfriar el aire que es comprimido por el tubocompresor o un sobrealimentador, para que ingrese con una mayor densidad que aporta favorablemente a la combustión del mismo (Arcentales y Paladines, 2014, p.70).

1.6.2.2. Compresión

Cuando el pistón alcanza el punto muerto inferior y comienza al punto muerto superior, la válvula de admisión se cierra, comprimiendo el aire en el cilindro con una relación aproximada de 18: 1 con lo cual aumenta la temperatura.

1.6.2.3. Combustión

Justo antes de llegar al punto muerto superior, el inyector se encarga de pulverizar el combustible dentro de la cámara, el mismo que se inflama de inmediato al entrar en contacto con el aire caliente.

1.6.3. Proceso de combustión del motor diésel

El proceso de combustión en un motor de encendido por compresión se estudia en términos de presión y tiempo, que está dividido en cuatro etapas. Inicia cuando el combustible se inyecta en la cámara de combustión a una alta presión con un promedio de 15 grados antes de que el pistón

alcance el punto muerto superior, es decir, cuando el aire en la cámara de combustión está a alta presión y alta temperatura (Mena Farfan y Paz Zeballos, 2017, p.39).

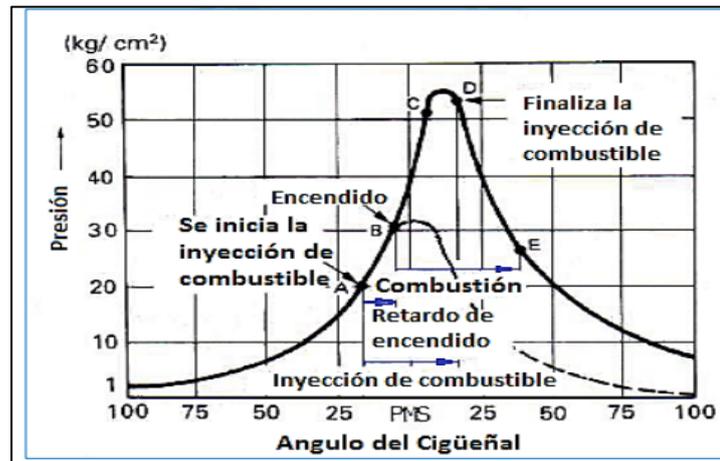


Gráfico 2-1: Proceso de combustión del motor diésel

Fuente: (Mena y Paz, 2017).

❖ Primera etapa: Retardo de encendido (A-B)

En la etapa inicial de la combustión, las partículas finas del combustible inyectado se evaporan y se mezclan con el aire en el cilindro para formar una mezcla inflamable, la presión aumenta en proporción al ángulo de rotación del cigüeñal.

❖ Segunda etapa: Propagación de la llama (B-C)

Al final de la primera fase, se forma una mezcla de combustible en varias partes del cilindro y comienza la combustión en varios puntos. Estas llamas se propagan a una velocidad muy alta, provocando que la mezcla queme de manera casi explosiva. La acumulación de presión en esta etapa debe mantenerse lo más baja posible para maximizar la eficiencia de la etapa de combustión directa, que es una etapa exclusiva de los motores diésel.

❖ Tercera etapa: Combustión directa (C-D)

Debido al encendido inmediato del combustible, el combustible que aún se está inyectando se quema directamente en esta etapa y puede ser controlado por la cantidad de combustible inyectado, por lo que también se describe como un período de combustión controladora.

❖ Cuarta etapa: Después de quemarse (D-E)

La inyección termina en el punto D, pero el combustible restante sigue quemándose, si este período es demasiado largo, la temperatura de los gases de escape aumentará y la eficiencia disminuirá.

1.6.3.1. Escape

La presión generada por la temperatura obligará al pistón a bajar con fuerza, y parte de la energía se utilizará para devolverlo al punto muerto superior, expulsando así los gases quemados. De esta forma termina un ciclo y la válvula de admisión se abriría nuevamente y el motor volverá estar en la posición inicial, para que inicie el ciclo nuevamente (Kates, 2021, p.64).

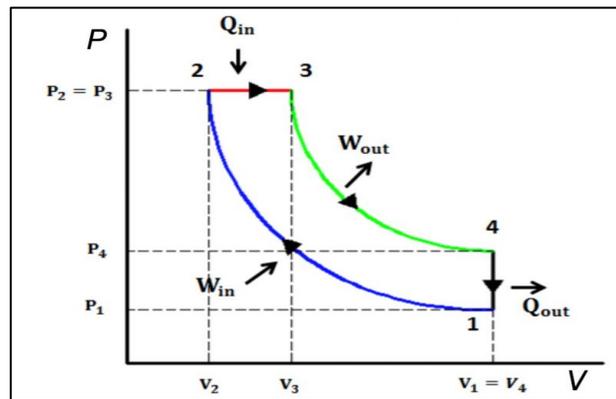


Gráfico 3-1: Ciclo termodinámico del motor diésel

Fuente: (Lara, 2019).

1.6.4. Emisiones contaminantes

Los vehículos con motores a diésel generan contaminación ambiental mediante la evacuación de los gases, compuestos de monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y material particulado, es una preocupación que lleva a realizar estudios de otras fuentes de energía como el biodiésel, siendo una segunda alternativa para reducir el consumo del diésel fósil, ya que se utilizarían mezclas con distintas proporciones de diésel y biodiésel para el funcionamiento del motor.

Si la combustión de los motores fuese completa y estequiométrica de la mezcla del aire con combustibles compuestos exclusivamente de carbono e hidrógeno (Ca Hb), las emisiones resultantes serían únicamente: nitrógeno (N₂), dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua (H₂O). Pues, esto no es así, la combustión siempre será incompleta y, dependiendo en qué clase de condiciones esté en funcionamiento cada motor, en las emisiones arrojadas al medio ambiente a

través del tubo de escape se puede determinar una cantidad de componentes nocivos próxima al 1 % (Riesco et al., 2015, p.36).

1.6.4.1. Contaminación por diésel

Los motores de ciclo diésel durante la combustión generan humo que es perjudicial para el medio ambiente y el ser humano como óxidos de nitrógeno, hidrocarburos quemados, monóxido de carbono, material particulado y óxidos de azufre. Organizaciones mundiales como la Agencia de Protección Ambiental (EPA) están identificando los gases de escape producidas por motores diésel son una de las principales causas de contaminación del aire, así como la organización mundial de la salud (OMS), asegura que el ser humano disminuye su promedio vida, en un promedio de un año cuando se encuentra expuesto a varios factores contaminantes como material particulado (Mendoza y José, 2019; Males y Leonardo, 2019).

El monóxido de carbono (CO) es uno de los gases que causan el incremento de la contaminación del medio ambiente. Este gas proviene principalmente de fuentes antropogénicas, tanto del parque automotor como de la industria, siendo el parque automotor el primer generador de monóxido de carbono (Morales, 2019, p.6).

De acuerdo a la gráfica, se realizó un análisis sobre la contaminación originada por el parque automotor a una altura de 2560 msnm (Cuenca). En la gráfica se determina el comportamiento mensual del óxido de carbono (CO) mediante el uso del diagrama de cajas, también se puede ver que la cantidad de CO aumentó a principios del semestre de septiembre de 2017 y la cantidad de CO disminuyó a fines de febrero de 2018, que es el mes de diciembre en el gráfico de caja. Se puede ver que en el mes de diciembre las emisiones contaminantes aumentan a medida que aumentan las ventas durante las vacaciones de Navidad y el movimiento que generan. Por lo que el tráfico vehicular aumenta considerablemente (Mata, 2020, p.7).

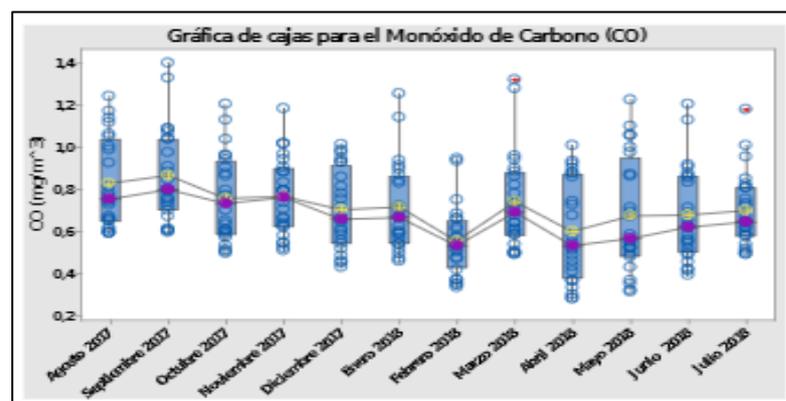


Gráfico 4-1: Gráfica de cajas para el Monóxido de Carbono (CO)

Fuente: (Mata, 2020).

Las emisiones de CO indican la falta de utilización de cierta cantidad de energía química del combustible. La emisión de CO disminuye hasta cierta carga, y aumenta para cargas más altas para todas las muestras de combustible, de acuerdo al análisis realizado en el estudio de las características de rendimiento, combustión y emisión de un motor diésel alimentado con biodiésel con nanotubo de carbono como aditivo, esto se debe a que cargas más bajas, la mezcla de aire y combustible es pobre y, debido a la deficiencia de combustible, no se produce una combustión completa. Dado que el biodiésel tiene más contenido de oxígeno que el diésel, hay más oxígeno disponible para la combustión en el caso del biodiésel. Por tanto, aumenta la tendencia a sufrir una combustión completa. Esto reduce las emisiones de CO de B20. Al agregar nanotubo de carbono a B20, las emisiones de CO se reducen aún más. Esto podría deberse a una mejor mezcla del combustible con el aire debido a la alta actividad catalítica del nanotubo de carbono (Ramesha et al, 2019, p.240).

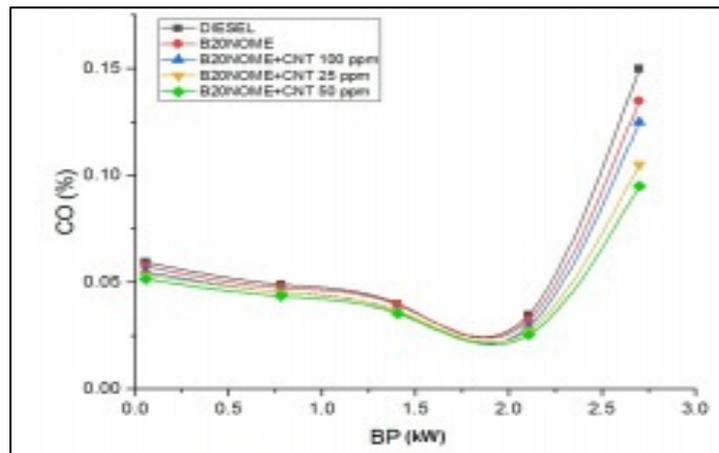


Gráfico 5-1: Variación de CO

Fuente: (Ramesha et al, 2019).

De acuerdo con el análisis se puede observar que los NOx, las emisiones de B20 y con las tres proporciones de nanotubos de carbono mostraron un aumento marginal en comparación con el diésel. Esto se debe a que la formación de óxidos de nitrógeno es un fenómeno puramente dependiente de la temperatura, ya que la temperatura del cilindro aumenta, la oxidación del aire atmosférico con nitrógeno también se eleva (Ramesha et al., 2019, p.2041).

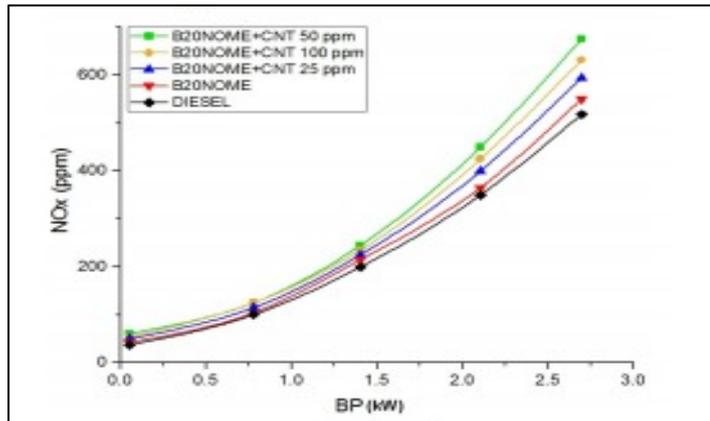


Gráfico 6-1: Variación de NOx

Fuente: (Ramesha et al., 2019).

1.6.5. Finalidad de las normas EURO y normativas nacionales

La Comunidad Europea ha desarrollado un plan de protección ambiental de acuerdo con la Directiva 98/69 / EC del Parlamento Europeo y del Consejo. La directiva tiene en cuenta los últimos avances científicos en la lucha contra la contaminación atmosférica provocada por los gases contaminantes emitidos por los vehículos de motor. El Ecuador al igual que los demás países internacionales a mostrado interés en mejorar la calidad del aire, por lo que todos los vehículos importados deberán cumplir la normativa Euro III (Castro y Esteban, 2018, p.39). Según la norma INEN 2 207:2002, establece que los límites permitidos de emisiones contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de diésel (INEN, 2002, p.4).

1.6.5.1. Ciclos de prueba

Un ciclo de prueba es un conjunto de operaciones estándar que se deben realizar para determinar el nivel de emisiones producidas por un vehículo o motor. Los ciclos que se aplican para esta norma son los siguientes:

- Ciclo ECE-15 + EUDC. La unión europea establece los ciclos de prueba dinámico para los vehículos livianos y medianos, de gasolina o diésel, definidos en la directiva 93/59/EEC (INEN, 2002, p.5).
- Ciclo ECE-49. Es el ciclo de prueba estacionario establecido por la Unión Europea para los vehículos pesados de diésel, definido en la directiva 88/77/EEC (INEN, 2002, p.5).
- Ciclo FTP-75. La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), establece los ciclos de prueba dinámico para los vehículos livianos y medianos, de gasolina o diésel, y publicado en el Código Federal de Regulaciones, partes 86 a 99 (INEN, 2002, p.5).

- Ciclo transiente pesado. La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), establece los ciclos de prueba de estado transitorio para la medición de emisiones de motores diésel y gasolina utilizados en vehículos pesados y el cual se encuentra especificados en el Código Federal de Regulaciones de ese país, CFR, título 40, partes 86 a 99, subparte N (INEN, 2002, p.5).

1.6.5.2. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de diésel. Ciclos FTP-75 y ciclo transiente pesado (prueba dinámica)

Tabla 1-1: Límites máximos de emisiones

Categoría	Peso bruto del vehículo Kg	Peso de referencia Kg	CO g/Km	HC g/Km	NOx g/Km	Partículas g/Km	CICLOS DE PRUEBA
M1 ⁽¹⁾	3 500	Todos	2,72		0,97 ⁽⁴⁾	0,14	ECE – 15 + EUDC
M1 ⁽²⁾ , N1		1 250	2,72		0,97 ⁽⁴⁾	,014	
		1 250 1 700	5,17		1,4 ⁽⁴⁾	0,19	
		>1 700	6,9		1,7 ⁽⁴⁾	0,25	
N2, N3, M2, M3 ⁽³⁾	>3 500	Todos	4,0	1,1	7,0	0,15	ECE - 49

Fuente: (INEN, 2002)

1.6.6. Sistema de inyección CRDi (Inyección Directa Riel Común)

El sistema common rail es un sistema de combustible electrónico para motores de inyección diésel en el que el diésel se extrae directamente del depósito de combustible a una bomba de alta presión, y ésta lo envía a un conducto común para cada uno de los inyectores y por alta presión al cilindro (Aguirre y Ortiz, 2013, p.19). La inyección directa common rail permite utilizar la presión del combustible según las necesidades del motor. Según (Armas y Vaca, 2013, p.26), en las inyecciones por acumulador, la generación de presión y la inyección de carburante son realizadas por separado, la alta presión se crea independientemente de la velocidad del motor y la cantidad de combustible inyectado. Con esto se trata de decir que mantendrá constante la presión el riel, ya que es regulada por una válvula que evita que la presión sea demasiado pequeña o se exceda (Santamaría y Javier, 2019, p.46).

El sistema CRDi utiliza sensores para proporcionar datos en tiempo real para realizar el proceso de inyección, con ayuda de la gestión electrónica del motor se consigue una sincronización y cantidad de combustible inyectado adecuado para un rendimiento óptimo

de los motores (Castro y Salazar, 2015, p.1). Además de trabajar a altas presión a la que funcionan los inyectores entre (15 a 200 MPa), así como las altas temperaturas a la que están sometidas superior a 500 °C (Navarrete et al., 2018, p.12).

Son mecanismos hechos con un diseño mejora y de gran exactitud, por lo tanto, deben que permanecer limpios (Acosta y Torrado, 1990, p.22). Para lograr una pulverización mucho mejor que la que se tenía en los sistemas de bomba inyectora antiguas, para mejorar el encendido instantáneo de la mezcla aire-combustible que se produce en la cámara durante la inyección de diésel, que es el principio fundamental del ciclo diésel. En cuanto a las emisiones, el uso de inyectores con mayor número de placas y resortes permite una inyección a mayor presión y con mayor alcance dentro de la cámara (Karolys et al., 2019, p.37). Para la misma tarea, se hacen orificios mucho más pequeños ubicados radialmente en la punta del inyector, también conocido como (tobera), para compensar esta pequeña sección de paso con una mayor presión (Aguirre y Ortiz, 2013, p.4).

En el proceso de combustión, influye significativamente los factores tales como el rendimiento, las emisiones de los gases de escape y el nivel de ruido, el cual depende en gran medida de cómo se prepara la mezcla aire-combustible (Castillejo Calle, 2014, p.26). Por lo que en este sistema podemos realizar pre inyecciones con una mínima cantidad de gasoil en la carrera de admisión (antes de la inyección principal de combustible) con esto se lograra una combustión más homogénea y completa dentro del cilindro esto se debe a una entrega más exacta de gasoil (Aguirre y Ortiz, 2013, p.5).

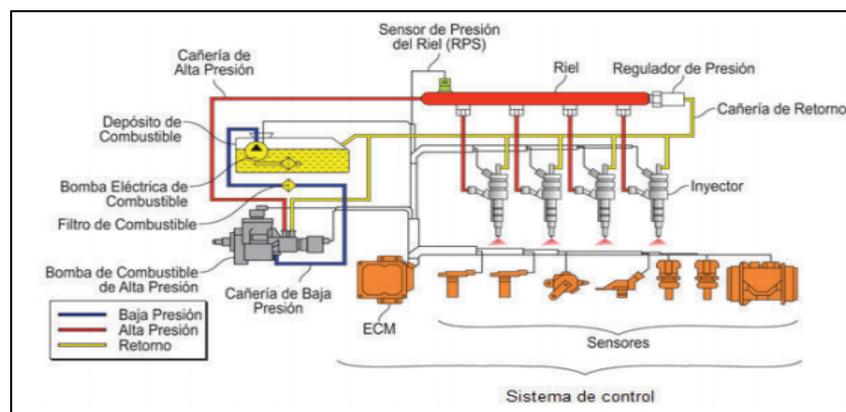


Figura 1-1: Sistema Common Rail

Fuente: (Mediavilla y Montalván, 2015).

1.6.7. El biodiésel

El biodiesel es un grupo de compuestos llamados ésteres metílicos de ácidos grasos derivados. Estos ésteres se obtienen tratando aceites vegetales y grasas animales con alcohol (generalmente metanol). Este proceso o reacción química se llama transesterificación. El biodiésel es una

sustancia líquida con propiedades muy parecidas al diésel convencional o petrodiesel (Ramos, 2019, p.41).

El biodiesel y el diésel de petróleo son combustibles muy similares, pero no idénticos. Sin embargo, las diferencias son notablemente pequeñas cuando considera el procedimiento radicalmente diferente para producir biodiesel en comparación con el diésel de petróleo (Ciolkosz, 2020, p.741). El biodiesel está recibiendo atención internacional debido a sus propiedades combustibles y compatibilidad. Tiene mejores propiedades que el petrodiesel como renovable, mayor biodegradabilidad que los combustibles fósiles, no tóxico, excelente lubricidad y esencialmente libre de azufre y aromáticos (Keera et al., 2018, p.1).

También se puede decir que el biodiesel es el recurso más importante de energía sostenible y se produce en grandes cantidades en todo el mundo. Una gran cantidad de producción de biodiesel también genera cantidades significativas de depósitos y subproductos que plantean preocupaciones ambientales y económicas (Vignesh y Barik, 2019, p.71). Solo se puede lograr un funcionamiento confiable y un bajo impacto ambiental con el uso de motores de combustión interna si las propiedades relevantes de estos combustibles están definidas y con valores de acuerdo a los limitantes especificados (Laurel et al., 2012, p.651).

Una comparación entre diésel y biodiesel para determinar que combustible rinde más kilómetros por peso gastado.

Tabla 2-1: Comparación entre diésel y biodiesel

	Diesel Puro	Mezclas				Biodiesel Puro
Mezcla	0%	10%	20%	30%	50%	100%
	B0	B10	B20	B30	B50	B100
Km/L	2.60	2.58	2.55	2.53	2.48	2.37
\$/L	\$20.50	\$20.21	\$19.91	\$19.62	\$19.03	\$18.55
Ahorro						
\$/Km	0.00%	1.46%	2.96%	4.51%	7.75%	16.81%
\$/L	0.00%	1.46%	2.96%	4.51%	7.75%	16.81%

Fuente: (Vignesh y Barik, 2019).

La ventaja más llamativa del biodiesel es que es un material biodegradable, no explosivo, no inflamable, renovable y no tóxico y su combustión da como resultado niveles bajos de emisiones de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y material particulado (Mofijur et al, 2016, p.266). Además, en comparación con el diésel obtenido a partir de combustibles fósiles, tiene un punto de inflamación de índice de cetano más alto y excelentes propiedades lubricantes sin las fluctuaciones térmicas de la combustión (Mahesh et al., 2015; Cheung y Huang, 2009). Por lo contrario, para poder ser utilizados como combustible requiere de tratamientos para reducir su alta

viscosidad, su alto contenido de ácidos grasos que pueden formar gomas, residuos de carbono y polimerización durante la combustión y el almacenamiento (Fukuda et al., 2001, p.405).

1.6.7.1. Obtención del biodiesel

En el proceso de obtención del biodiesel de *Jatropha*, donde las semillas deben ser seleccionadas y tratadas. El proceso de secado de las semillas se produce a través de su exposición a la radiación solar, y luego ser llevadas al laboratorio para la extracción de aceites y ésteres etílicos de ácidos grasos (Sánchez et al., 2012, p.150). Por otro lado, el método de la higuera se puede producir biodiésel mediante el proceso de transesterificación de aceites, en este caso el del ricino. Esta reacción implica la conversión de triglicéridos en ésteres alquílicos de ácidos grasos en presencia de un alcohol, como es el metanol o etanol, y un catalizador, con glicerol como coproducto (Jurado y Raynier, 2018, p.39).

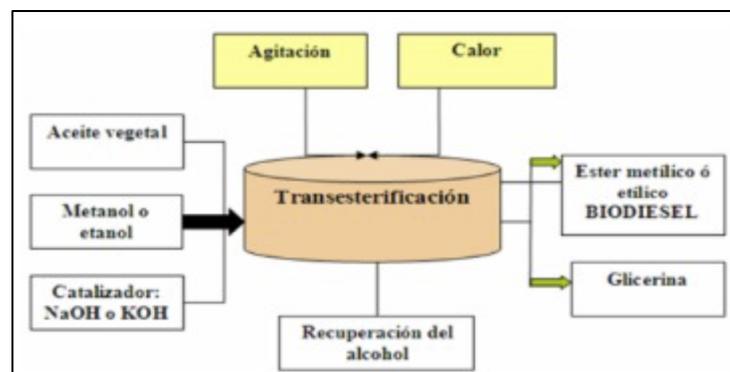


Figura 2-1: Obtención de biodiesel

Fuente: (Jurado y Raynier, 2018).

Como se observa en la figura, el proceso de transesterificación de los ácidos grasos del aceite de higuera para producir ésteres metílicos, se usa un catalizador NaOH o KOH, puede ser en rangos de 0,3 a 1,5% dependiendo del catalizador usado, el aceite se precalienta con la temperatura del proceso y se obtiene metóxido al disolverse el catalizador en alcohol, se mantiene temperatura 65° aproximadamente y agitación constante para beneficiar el proceso de la mezcla, al terminar el proceso de transesterificación se separa la glicerina del éster metílico o etílico (biodiésel) según sea el caso (Jurado y Raynier, 2018, p.40).

La composición química de los biocombustibles derivados de aceites vegetales se basa en las proporciones de ésteres metílicos derivados de ácidos grasos (fatty acid methyl ester, FAME) presentes en el biocombustible. Los ácidos grasos difieren en la longitud de la cadena de carbono y el número de dobles enlaces. Los ácidos grasos pueden ser saturados, insaturados, lineales o ramificados (Gopinath et al., 2010, p.297). El número de cetano es uno de los parámetros más

importantes que caracterizan un combustible diésel desde el punto de vista químico y de su proceso de combustión (Sánchez et al., 2012; Liotta, 1993; Lujaji et al., 2010). La determinación del cetano está basada en mediciones experimentales en bancos de motores diésel. Hasta la actualidad se ha desarrollado tres procesos para el desarrollo de biodiésel como son el pirólisis, la micro-emulsificación y la transesterificación. En este sentido, la transesterificación es actualmente el método más atractivo y ampliamente aceptado para la producción de biodiésel, siendo un proceso sencillo y con mejores rendimientos (Bayetero, 2020, p.13).

1.6.7.2. Uso del biodiésel y almacenamiento

La estabilidad del biodiésel se encuentra influenciada por las condiciones de almacenamiento y la cantidad de ésteres insaturados, además, el calor, la luz y el aire apresuran su degradación por lo que el tiempo de exposición a estas condiciones deben minimizarse durante el almacenamiento. Por otra parte, el biodiésel también puede degradarse al contacto con el agua que conduce a la formación de ácidos, oxidación de los elementos de los motores y depósitos de almacenamiento. Por estas razones, los tanques de almacenamiento deben limpiarse y secarse de manera correcta mientras que el contacto con el aire debe minimizarse (Bayetero, 2020, p.15).

1.6.8. La opacidad

Las emisiones de gases de escape dependen a diversos factores como la configuración del motor, calidad de la combustión, calidad de combustible, la vida del motor, tipo de inyección y tecnología, entre otros. Dichos factores son importantes relacionados con la concentración de hollín que presentan los gases de escape, dicho de otra manera, si un motor presenta una mejor combustión, mejor será la opacidad de sus gases.

1.6.8.1. Comparativa de opacidad a diferente altitud entre diésel y biodiésel

Según Jurado y Raynier detalla en la siguiente tabla una reducción de opacidad de 54.01% a 1500m, 51.75% a 2207m y 23.09% a 2800m, lo que resulta en una reducción de opacidad promedio de 42.95%, donde se puede analizar el impacto del biodiesel. En los motores diésel de combustión interna, la opacidad se puede reducir significativamente mediante una mejor combustión de los niveles de hollín en los gases de escape (Jurado y Raynier, 2018, p.72).

Tabla 3-1: Comparativa de opacidad promedio entre el diésel fósil y el biodiesel B5 a diferente altitud

Altura	Opacidad promedio a 720 RPM (%)	Opacidad promedio a 1500 RPM (%)	Opacidad promedio a 2200 RPM (%)
1607	19,96	9,18	54,01
2207	21,18	10,22	51,75
2895	11,26	8,66	23,09
Promedio de reducción de opacidad (%)			
			42,95

Fuente: (Jurado y Raynier, 2018).

De acuerdo Jurado y Rainier (2018, p.72), se puede probar y fundamentar que el biodiesel ayuda en la disminución de la opacidad que el diésel en un 42,95% debido a su alta viscosidad, alto contenido de oxígeno, bajo contenido de azufre y su número de cetano en comparación con los combustibles diésel convencionales derivados de fósiles, es más amigable con el medio ambiente y cumple con los estándares de control establecidos por el país, así como con ciertos estándares internacionales. Conforme a la investigación realizada por Castro y Esteban el diésel Premium en Ecuador posee 500 ppm de azufre, en estas condiciones, no está apto para ser utilizado en un motor Euro III debido a que origina desgaste en la bomba de inyección, inyector, cilindros y pistones produciendo elevadas emisiones de gases de escape; para reducir los desgastes prematuros en el motor habría que reducir el 40 % de contenido de azufre.

La diferencia existente de la presión atmosférica entre las alturas se redujo en un 24,71 % desde los 617 metros hasta los 2953 metros sobre el nivel del mar; el aceite de higuera biodiésel B5 reduce las emisiones en comparación con el diésel fósil. En función de las revoluciones del motor a 750 rpm, la reducción de CO es del 21,79%, mientras que el CO₂ obtiene un 5,28% y un 8,30% respectivamente frente al NOX. Por otro lado, a 1500 rpm, el CO disminuyó un 16,03 %, el CO₂ y el NOX alcanzaron un 4,55 % y un 12,00 %, respectivamente. A 2500 rpm disminuyó un 6,99 %, el CO, CO y NOX fueron un 1,61 % y un 11,31 %, respectivamente (Castro y Esteban, 2018: p.89).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Métodos de investigación

2.1.1. *Método inductivo*

De acuerdo con Zendejas, el método inductivo utiliza el razonamiento para obtener conclusiones a partir de hechos que se aceptan como válidos, para llegar a conclusiones, donde su aplicación será de carácter general, partiendo del estudio individual de los hechos y formulando conclusiones generales que se postulan como leyes, de principio o fundamentos una teoría (Zendejas, 2015, p.53). El problema de la investigación se realizará mediante el análisis de datos de opacidad obtenidos mediante las pruebas realizadas, con los cuales se realizará una comparativa y definir la proporción idónea entre biodiesel y diésel filtrado. “La norma Técnica Ecuatoriana INEN 2 207: 2002 Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites Permitidos de Emisiones producidas por Fuentes Móviles Terrestres de diésel” (INEN, 2002, p.4).

2.1.2. *Método analítico*

Es el proceso cognoscitivo en el que consiste en descomponer un objeto de estudio dividiendo cada una de las partes del todo, para estudiarlas en forma individual (Zendejas, 2015, p.53). Con este método se realizará el cálculo para determinar el porcentaje de la mezcla biodiesel y diésel filtrado que se aplicará en camionetas con sistema CRDi para la reducción de niveles de opacidad, y de esta manera el vehículo cumpla con la normativa Euro III. Para verificar la variación de la opacidad con los tres tipos de mezclas se realizará un análisis de varianza (ANOVA). En la cual se plantera la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

2.1.3. *Método hipotético-deductivo*

Para Zendejas, el método incluye un procedimiento que parte de algunas afirmaciones como hipótesis e intenta refutar o falsear tales, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos (Zendejas, 2015, p.54). A través de los procedimientos de mezcla de combustible entre biodiesel y diésel filtrado se trata de encontrar el porcentaje idóneo entre dichos combustibles para reducir las emisiones continentales en motores diésel con sistemas CRDi.

2.2. Método científico

2.2.1. Método empírico

Los métodos de investigación empírica de acuerdo con Ramos, “representan un nivel en el proceso de investigación cuyo contenido procede fundamentalmente de la experiencia, el cual es sometido a cierta elaboración racional y que es expresado en un lenguaje determinado” (Ramos, 2008, p.2). En este estudio se considerará los métodos empíricos de medición y experimentación, ya que se analizará el porcentaje de opacidad de acuerdo con la norma INEN 2202: 2013 y el protocolo establecido por el equipo de medición de gases con los accesorios del opacímetro.

2.2.2. Método experimental

El experimento del método experimental es el más complejo y eficaz, es el resultado del desarrollo de la técnica y del conocimiento humano, como resultado de los esfuerzos que realiza el hombre por entrar a lo desconocido a través de su actividad transformadora (Zendejas, 2015, p.55). En la presente investigación se aplicará el método de experimentación ya que se realizarán diferentes proporciones de muestras de los combustibles antes mencionadas. Las pruebas se realizarán con la finalidad de determinar el porcentaje idóneo para la reducción de la opacidad en los vehículos con motor diésel.

2.2.3. Medición

El protocolo que se llevara a cabo para las mediciones de los gases, se llevara el registro de los datos generales del vehículo (tipo de vehículo, marca, placa y kilometraje) en el equipo analizador de gases y esperar un determinado tiempo donde los datos queden grabados en el equipo, procediendo a la fase de estabilización según la norma INEN 2 207: 2002. Los pasos para la recolección de los datos se cumplirán de acuerdo con la metodología y los procedimientos que se establece en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2202: 2013.

2.2.4. Método cuantitativo

Según Zendejas (2015, p.56), “el método de investigación cuantitativo o tradicional se fundamenta en la medición de las características de los fenómenos sociales”. El enfoque en que se va a realizar esta investigación será de tipo cuantitativo ya que se interpretara la metodología para la adquisición de datos de la reducción del índice de opacidad utilizando diferentes porcentajes de

mezcla entre biodiesel y diésel filtrado, durante la pruebas y monitoreo de datos de niveles de emisiones y se buscará la mejor alternativa para la mezcla idónea, al mismo tiempo, el presente trabajo es de tipo investigativo ya que este proyecto servirá para futuros estudios de nuestra carrera universitaria.

Se realizarán estudios sobre la opacidad en los vehículos con motor a diésel, que permitirán evaluar de forma cuantitativa, los niveles de emisiones contaminantes a 2850msnm. Para la cuantificación de las emisiones, se emplearán los dos tipos de combustibles antes mencionados. Las pruebas de mezclas con diferentes porcentajes de cada combustible serán realizadas y analizadas siguiendo los procedimientos estandarizados de acuerdo con la norma INEN 2202: 2013 e INEN 2 207: 2002.

Mediante un diseño completamente al azar (ANOVA), se evaluarán los resultados obtenidos en los ensayos experimentales realizados en los diferentes vehículos en el dinamómetro, con proporciones de mezclas: (5% biodiesel y 95% diésel filtrado), (10% biodiesel y 90% diésel filtrado), (15% biodiesel y 85% diésel filtrado), siendo estas mezclas variables dependientes y como variable independiente el porcentaje de opacidad para el cálculo estadístico que se ocupara en este estudio.

Los datos de las pruebas de emisiones se tomarán de un promedio de tres pruebas que se realizarán en el opacímetro con el vehículo anclado en el dinamómetro. El mismo procedimiento se realizará para los tres tipos de mezclas en los cuatro vehículos que serán seleccionados para las pruebas, los mismos que servirán para hacer un análisis con la finalidad de encontrar la proporción idónea entre la mezcla de biodiesel y diésel filtrado para reducir la opacidad en los vehículos diésel con sistema CRDi.

2.3. Sistema del trabajo de investigación

En el siguiente diagrama se presenta el orden cronológico a seguir durante la investigación haciendo énfasis en los puntos más importantes como probeta, análisis de ensayo, pruebas en dinamómetro y comparación de resultados.

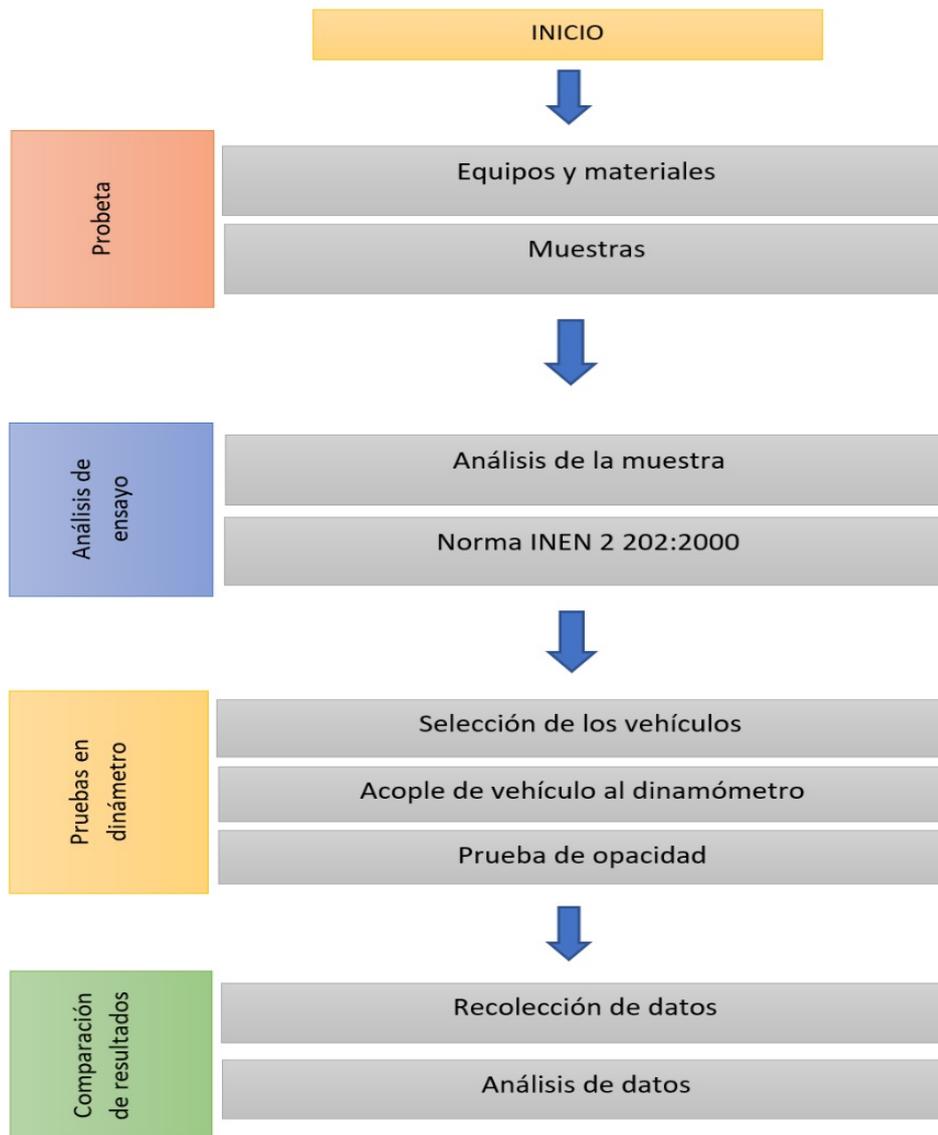


Gráfico 1-2: Orden cronológico de la investigación

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

2.3.1. *Materiales y equipos*

2.3.1.1. *Dinamómetro de Chasis LPS 3000*

El dinamómetro LPS 3000 es un dispositivo capaz de medir la potencia y el par de las ruedas motrices, no solo puede determinar el estado del vehículo según los parámetros del fabricante, sino también realizar pruebas. Simulación de carga, medición de elasticidad, prueba de velocímetro, adaptación de carga, prueba Lug Down, medición de consumo de combustible, medición de emisiones contaminantes (Rosas y Barahona, 2011, p.8).

Los principales complementos del dinamómetro son: freno de corrientes, juego de rodillos, parásitas, cardan, bomba hidráulica, ventiladores, cilindros hidráulicos, sistema de adquisición de datos y los complementos del dinamómetro como (pupitre de comunicaciones, ventilador de refrigeración del motor, caja de interfaces, pinzas trigger, sensor piezoeléctrico, Modulo OBD, Sonda de temperatura del aceite, Extractor de gases, Equipo de medición de gases contaminantes) (Yerovi Altamirano, 2019, p.44).



Figura 1-2: Dinamómetro LPS 3000

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

❖ Especificaciones técnicas del Dinamómetro LPS 3000 R200/2

Tabla 1-2: Especificaciones dinamómetro LPS 3000

Descripción	Capacidad
Caja sobre eje	15 toneladas
Diámetro mínimo de la rueda a ensayar	R 12
Velocidad de ensayo	Máximo 200 km/h
Fuerza de tracción	Máximo 15000 N
Número de revoluciones	10 – 10000 rpm
Precisión de medición	+ o – 12% del valor de medición

Fuente: (Rosas y Barahona, 2011).

2.3.1.2. Opacímetro MDO2 LON

El principio de medición del opacímetro es mediante absorción fotométrica, el gas de humo pasa por una cámara de medición en donde se encuentra un lente emisor y un lente receptor, el emisor consta de un diodo emisor de luz con longitud de onda de 567 nm, esta longitud de onda está adaptada al comportamiento de absorción de los gases de humo, en el extremo opuesto el lente

receptor (fotodiodo) recibe la luz incidente, el cual evalúa el grado de obscuridad de los gases de escape, propio de los motores a Diesel.

Tabla 2-2: Especificaciones de opacímetro MDO2 LON

Descripción	Capacidad
Principio de medición	Procedimiento de medición de opacidad (absorción fotométrica)
Longitud de la célula de medición	430 mm
Longitud de onda de la luz proyectada	567 nm
Diámetro exterior/interior de la célula de medición	28 / 25 mm
Tiempo de calentamiento de la célula de medición	aprox. 3 min
Dimensiones (La x An x Al)	550 x 245 x 240 mm
Peso	aprox. 13 kg
Alimentación de corriente	230 V / 50 Hz
Consumo de potencia medio/máx.	12/24 V
Interfaz	RS 232 y teclado MF2
Intervalo de medición opacidad	0 – 100 %
Coefficiente de absorción	$0 m^{-1} - 9,99 m^{-1}$

Fuente: (Yerovi, 2019).



Figura 2-2: Opacímetro MDO2 LON

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

2.3.1.3. Probeta de laboratorio

Los tubos de ensayo es un instrumento volumétrico que permite medir un determinado volumen de las proporciones exactas de los combustibles diésel filtrado y biodiesel. Para la realización de dichas pruebas se utilizará tubos de ensayos de vidrio y así lograr que las mediciones sean más exactas para encontrar el porcentaje idóneo entre los combustibles antes mencionados.



Figura 3-2: Probeta de laboratorio

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

2.3.1.4. Sistema de filtrado para combustible diésel por bombeo

La máquina de filtrado Harvard Corporation & FSCHEM, tiene un sistema en la cual se cumple el proceso de filtrado de dos contaminantes que se encuentra comúnmente en el diésel como son el agua y el particulado, estos deben ser retenidos por medio de filtros y así mejorar la pureza del combustible, para evitar daños en los elementos del motor.



Figura 4-2: Sistema de filtrado diésel

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

Tabla 3-2: Especificación técnica de máquina de filtrado de diésel

Características	Especificaciones
Modelo	FS-1200-HF-3
Motor eléctrico	2 HP
Capacidad de bombeo	200 l/min
Elemento filtrante	1.2KDF-5679
Presión máxima de funcionamiento	80 PSI

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

2.3.1.5. Contador de partículas

Schroder es un contador de partículas de clase industrial que puede ser adaptado en línea para resultados en tiempo real para conocer el grado de limpieza de un fluido en este caso del diésel. Utiliza un método de codificación del grado de contaminación por partículas sólidas bajo norma ISO 4406:99.



Figura 5-2: Contador de partículas

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

2.3.1.6. Filtro de combustible

Los filtros de combustible RACOR PFDE – 10/30 están diseñados para eliminar las impurezas presentes en el combustible que pueden proceder de diferentes fuentes como: la contaminación durante la producción, entrada de partículas al depósito de combustible, entre otros. Para el siguiente estudio el uso del filtro de combustible será de gran importancia ya que ayudará a realizar un mejor filtrado de diésel común que se comercializa a nivel nacional.



Figura 6-2: Filtro RACOR PFDE – 10/30

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

2.3.2. Muestras

2.3.2.1. Especificaciones técnicas del combustible biodiésel

Es un líquido de color amarillo producido fundamentalmente con aceites vegetales y grasas animales, siendo la soja, la colza, y el girasol, las materias primas más utilizadas para este fin.

Tabla 4-2: Especificaciones técnicas del biodiesel

Características	Especificaciones
Densidad a 15°C	860 a 900 (Kg/m ³)
Viscosidad a 40°C	3,50 a 5,00 (mm ² /gr)
Punto de inflamación	120 (°C)
Contenido de azufre	10 (mg/Kg)
Contenido máximo de agua	500 (mgr/Kg)
Contenido de metanol	0,20 % (m/m)
Glicerol total	0,025 % (m/m)
Contenido de fosforo	10 (mgr/Kg)

Fuente: (Yepez et al., 2018)

2.3.2.2. Especificaciones técnicas del combustible diésel

Es un líquido de color blancuzco o verdoso, compuesto fundamentalmente por parafinas y utilizado principalmente como combustible en motores diésel.

Tabla 5-2: Especificaciones técnicas del diésel

Características	Especificaciones
Viscosidad a 40°C	1,9 a 5,00 (mm ² /gr)
Punto de inflamación mínima	42 (°C)
Punto de inflamación máxima	50 (°C)
Contenido de azufre	50 (mg/Kg)
Contenido máximo de agua	0,05 % (v/v)
Contenido de cetano	45 (N°)
Residuo carbonoso en 10% de residuos destilado	0,25 % (m/m)
Lubricidad máxima	460 (um)

Fuente: (Mantilla y Acevedo, 2010).

En la siguiente tabla se presenta la composición del combustible que se utilizara para las pruebas de opacidad por el método de aceleración libre.

Tabla 6-2: Porcentaje de la mezcla entre Biodiesel y Diesel filtrado

N° de muestra	Biodiesel (B)	Diesel filtrado (DF)
1	-	100 %
2	B5 %	95 %
3	B15 %	85 %
4	B25 %	75%

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

2.3.3. Análisis del ensayo

2.3.3.1. Obtención de diésel filtrado

La capacidad de filtración micrométrica correcta viene dada por los niveles de limpieza impuestos por las normas ISO 4406 que indican la cantidad de partículas que están presentes en el fluido. De acuerdo con la norma ISO 14/13/11 el combustible debe tener estas características razón por la cual se seleccionó el filtro RACOR PFDE – 10/30, que cumple con las especificaciones. Para el estudio se realizó un filtrado de diésel comercial con un nivel de pureza ISO 22/21/19, hasta lograr alcanzar un nivel de limpieza ISO 14/13/9.



Figura 7-2: Filtrado de diésel

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

2.3.3.2. Norma INEN 2202:2013

“De acuerdo con el objetivo planteado de esta norma, establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de opacidad de las emisiones de escape de las fuentes móviles con motor de diésel mediante el método de aceleración libre. Para la realización de las pruebas se debe tomar las siguientes consideraciones: aceleración libre, año modelo, auto calibración, la calibración. “Densidad del humo (K) (“Coeficiente de extinción de luz” o “Coeficiente de absorción de luz”)” (INEN, 2013, p.5).

“Medio fundamental para cuantificar la capacidad de una corriente de humo o del humo de una muestra para oscurecer la luz. Por convención, la densidad del humo se expresa en metros elevado a menos uno (m-1). La densidad del humo es una función del número de partículas de humo por unidad de volumen de gas, la distribución por tamaño de las partículas de humo, y las propiedades de absorción y dispersión de las partículas. Sin la presencia de humos azules o blancos, la distribución de tamaño y las propiedades de absorción / dispersión son similares para todas las muestras de gases de escape diésel y la densidad de humo es principalmente una función de la densidad de las partículas de humo. La densidad de humo o coeficiente de absorción, K, (o m), de una corriente de humo se define de la siguiente manera, a partir de la ley de Beer- Lambert” (INEN, 2013, p.5).

Fórmula

$$K = - \left(\frac{1}{L} \right) \ln \left(\frac{1-N}{100} \right)$$

Ecu.1-2.

Donde:

K = densidad del humo m^{-1}

L = longitud de trayectoria óptica efectiva en m

N = opacidad en porcentaje

❖ **Ley de Beer-Lambert**

“Para propósitos de medición del humo diésel, se puede utilizar una ecuación que expresa la relación entre la opacidad de una corriente de humo, la longitud de trayectoria óptica efectiva a través de la corriente, y la opacidad del humo por unidad de longitud de trayectoria” (INEN, 2013, p.6).

Fórmula

$$T = \frac{\text{Luz transmitida}}{\text{Luz incidente}} = e^{-KL} \quad \text{Ecu.2-2.}$$

$$N = 100(1 - e^{-KL}) \quad \text{Ecu.3-2.}$$

Donde:

T = transmitancia

K = densidad de humo

N = opacidad

L = longitud de trayectoria optima efectiva

❖ **Opacidad (N)**

“Fracción de la luz expresada en porcentaje (%), que al ser enviada desde una fuente se le impide llegar al receptor del instrumento observador y que se expresa en función de la transmitancia” (INEN, 2013).

$$N = 100 (1 - \text{Transmitancia}) \quad \text{Ecu.4-2.}$$

❖ Opacímetro de tipo muestreo

“También denominado opacímetro de flujo parcial es el medidor de humo que toma continuamente una muestra de una porción de la totalidad de los gases de escape que fluyen y los dirige a una celda de medida. Con este tipo de medidores de humo, la trayectoria óptica efectiva es función del diseño del medidor de humo” (INEN, 2013, p.7).

Para la realización de las pruebas se tomará las siguientes consideraciones: el operador es la persona capacitada para realizar la prueba de humos, y que trabaja para el centro de diagnóstico automotor autorizado. El porcentaje de opacidad es la unidad de medición que determina el grado de opacidad de las emisiones de escape de una fuente móvil a diésel.

2.3.4. Pruebas en dinámetro

2.3.4.1. Selección de vehículo

Para este estudio se seleccionaron vehículos tipo camioneta con sistema de alimentación Common Rail Direct Injection (CRDI), ya que actualmente es el sistema más utilizado por los fabricantes de vehículos, por esta razón fue el interés de realizar las pruebas de opacidad en los vehículos más comercializados en el Ecuador y así tratar de reducir los niveles de opacidad provocados por los mismos.

Tabla 7-2: Especificaciones técnicas del vehículo 1

Características	Especificaciones
Modelo	Chevrolet D-max 2.5 4x2
Cilindraje (cc)	2499
Potencia (Kw)	100 Kw @ 3600 RPM
Torque (Nm/RPM)	320 Nm @ 1800 RPM
Sistema de inyección	CRDi
Año modelo vehículo	2020
Kilometraje (Km)	83363

Fuente: (Chevrolet D-max, 2018).



Figura 8-2: Chevrolet D-max 2.5 4x2

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

Tabla 8-2: Especificaciones técnicas del vehículo 2

Características	Especificaciones
Modelo	Chevrolet D-max 3.0 4x2
Cilindraje (cc)	2999
Potencia (Kw)	100 kw @ 3600 RPM
Torque (Nm/RPM)	294 Nm @ (1400-3000) RPM
Sistema de inyección	CRDi
Año modelo vehículo	2017
Kilometraje (Km)	173469

Fuente: (Chevrolet D-max, 2020).



Figura 9-2: Chevrolet D-max 3.0 4x2

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

Tabla 9-2: Especificaciones técnicas del vehículo 3

Características	Especificaciones
Modelo	Volkswagen Amarok 2.0 4x2
Cilindraje (cc)	1968
Potencia (Kw)	134 Kw @ 4000 RPM
Torque (Nm/RPM)	400 Nm @ 2250 RPM
Sistema de inyección	CRDi
Año modelo vehículo	2017
Kilometraje (Km)	152864

Fuente: (Volkswagen Amarok, 2018).

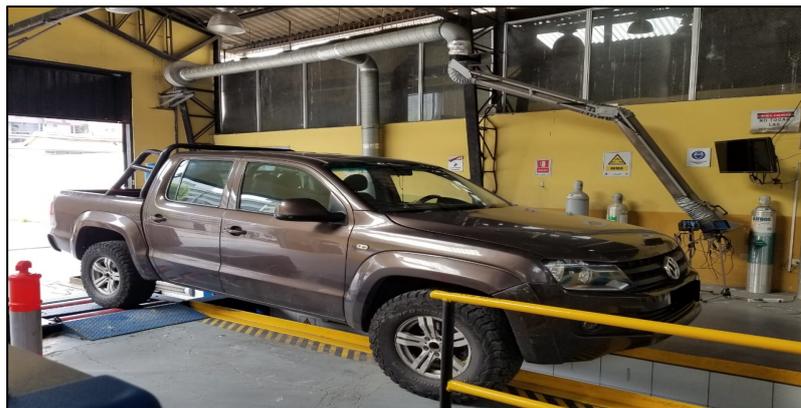


Figura 10-2: Volkswagen Amarok 2.0 4x2

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

Tabla 10-2: Especificaciones técnicas del vehículo 4

Características	Especificaciones
Modelo	Mazda BT-50 2.5 4X4
Cilindraje (cc)	2500
Potencia (Kw)	105 Kw @ 3500 RPM
Torque (Nm/rpm)	330 Nm @ 1800 RPM
Sistema de inyección	CRDi
Año modelo vehículo	2017
Kilometraje (Km)	167428

Fuente: (Mazda BT-50, 2017).



Figura 11-2: Mazda BT-50 2.5 4X4

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

2.3.4.2. Ubicación del vehículo en el dinamómetro

Es de suma importancia asegurar que el dinamómetro aplique correctamente la carga de camino, de lo contrario, podría esforzar en mayor medida o no exigirle lo suficiente a los vehículos durante la prueba, perdiendo el control de los parámetros mínimos necesarios para llevar a cabo la medición de las emisiones vehiculares. Para asegurar la confiabilidad de la prueba se requiere que los dinamómetros se encuentren calibrados (Muñiz, 2019, p.1).

2.3.4.3. Pruebas de opacidad

De acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2202: 2013 que habla sobre la determinación de la opacada de emisiones de escape de motores de diésel (INEN, 2002, p.5). Para la realización de la prueba se debe seguir los siguientes procedimientos en la cual se realizará la preparación de los equipos a utilizar como también las siguientes recomendaciones:

- Revisar que el sistema de escape se encuentre en buenas condiciones, sin salidas adicionales que no consten en el diseño original del vehículo.
- Verificar los niveles de líquidos que se encuentren dentro de los parámetros que exige el fabricante (nivel de aceite y líquido refrigerante).
- Encender el motor.
- Revisar en el tablero que no esté encendida ninguna luz testigo (CHECK ENGINE).
- Colocar el vehículo sobre el dinamómetro a utilizar.
- Revisar que la temperatura de operación sea la adecuada.

- Colocar en posición de neutro a la transmisión del vehículo en caso de ser manual, o en parking (P) en caso de tener transmisión automática.
- Acelerar el vehículo hasta su potencia máxima, con el fin de limpiar el sistema de escape, se recomienda realizar esta operación en 2 ocasiones.
- Colocar la sonda del opacímetro en la salida del tubo de escape.
- Preparar el dinamómetro para la medición.
- Acelerar el vehículo a la potencia máxima según el fabricante (repetir esta operación 3 veces).

2.3.5. Comparación de resultados

2.3.5.1. Recolección y análisis de datos

La estrategia natural para resolver este problema es obtener una muestra representativa de mediciones en cada uno de los tratamientos, y construir un estadístico de prueba para decidir el resultado de dicha comparación. El análisis de varianza (ANOVA) es la técnica central en el análisis de datos experimentales. La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento (Gutiérrez y Salazar, 2008, pp.62-65).

Para verificar la variación de la opacidad con los tres tipos de mezclas se realizará un análisis de varianza (ANOVA). En la cual se plantea la hipótesis nula (H_0 : se define que las tres mezclas son iguales) y la hipótesis alternativa (H_1 : al menos dos de las mezclas son diferentes). Si se rechaza H_0 , se realizará la significancia Tukey.

❖ Resultados de los vehículos analizados

Recolección de datos del vehículo Chevrolet D-max 2.5 CD 4X2

Después de realizar 3 pruebas con cada combustible por el método de aceleración libre en el vehículo Chevrolet D-max 2.5, se puede observar en la siguiente tabla una reducción significativa de opacidad al utilizar diésel filtrado, diésel filtrado & B5, diésel filtrado & B10, diésel filtrado & B15 con respecto al diésel comercial.

Tabla 11-2: Resultados de opacidad con diferentes porcentajes de mezclas por el método de aceleración libre en el vehículo 1

CHEVROLET D-MAX 2.5 CD 4X2							
Porcentaje de Opacidad de los combustibles							
	RPM	Nº de repeticiones	% D. Comercial	% D. Filtrado	% B5	% B10	% B15
Aceleración libre	3600	1	17	12	10	11	9
		2	13	15	12	13	9
		3	12	12	12	11	9
		1	13	12	12	13	8
		2	12	12	13	13	8
		3	14	12	13	12	10
		1	18	14	12	10	12
		2	16	13	13	10	10
		3	15	12	13	11	8
D. Comercial		Diésel comercial al 100%					
D. Filtrado		Diésel filtrado al 100%					
B5		Porcentaje de la mezcla entre: 95 D. Filtrado & 5% Biodiésel					
B10		Porcentaje de la mezcla entre: 90 D. Filtrado & 10% Biodiésel					
B15		Porcentaje de la mezcla entre: 85 D. Filtrado & 15% Biodiésel					

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

De acuerdo con el software estadístico Minitab, el análisis de varianza (ANOVA) indica que el promedio de las medias del diésel comercial, diésel filtrado, diésel filtrado & B5, diésel filtrado & B10 y diésel filtrado & B15 al menos dos de las mezclas son diferentes con respecto al porcentaje de opacidad, debido a que el valor-p es menor a 0.05.

Tabla 12-2: Análisis de varianza del vehículo Chevrolet D-max 2.5 CD 4X2

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Combustible	4	129,42	32,356	15,87	0,000
Error	40	81,56	2,039		
Total	44	210,98			

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

Al aplicar el método de Tukey con un 95% de confianza, donde las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Por lo tanto, el tratamiento que minimiza el porcentaje de opacidad es el B15.

Tabla 13-2: Método de Tukey con una confianza de 95% del vehículo Chevrolet D-max 2.5 4X2

Combustible	N	Media	Agrupación
D. Comercial	9	14,444	A
D. Filtrado	9	12,667	A B
B5	9	12,222	B
B10	9	11,556	B
B15	9	9,222	C

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

Recolección de datos del vehículo Chevrolet D-max 3.0 CD 4X2

Después de realizar 3 pruebas con cada combustible por el método de aceleración libre en el vehículo Chevrolet D-max 3.0, se puede observar en la siguiente tabla una reducción significativa de opacidad al utilizar diésel filtrado, diésel filtrado & B5, diésel filtrado & B10, diésel filtrado & B15 con respecto al diésel comercial.

Tabla 14-2: Resultados de opacidad con diferentes porcentajes de mezclas por el método de aceleración libre en el vehículo 2

CHEVROLET D-MAX 3.0 CD 4X2							
Porcentaje de Opacidad de los combustibles							
	RPM	Nº de repeticiones	% D. Comercial	% D. Filtrado	% B5	% B10	% B15
Aceleración libre	3600	1	18	16	10	8	9
		2	16	13	11	7	8
		3	17	12	11	11	8
		1	16	13	9	11	8
		2	17	12	9	10	10
		3	16	18	10	11	8
		1	14	12	12	11	8
		2	12	12	12	12	8
		3	21	15	11	10	9
D. Comercial	Diésel comercial al 100%						
D. Filtrado	Diésel filtrado al 100%						
B5	Porcentaje de la mezcla entre: 95 D. Filtrado & 5% Biodiésel						
B10	Porcentaje de la mezcla entre: 90 D. Filtrado & 10% Biodiésel						
B15	Porcentaje de la mezcla entre: 85 D. Filtrado & 15% Biodiésel						

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

De acuerdo con el software estadístico Minitab, el análisis de varianza (ANOVA) indica que el promedio de las medias del diésel comercial, diésel filtrado, diésel filtrado & B5, diésel filtrado

& B10 y diésel filtrado & B15 al menos dos de las mezclas son diferentes con respecto al porcentaje de opacidad, debido a que el valor-p es menor a 0.05.

Tabla 15-2: Análisis de varianza del vehículo Chevrolet D-max 3.0 CD 4X2

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Combustible	4	357,2	89,311	28,97	0,000
Error	40	123,3	3,083		
Total	44	480,6			

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

Al aplicar el método de Tukey con un 95% de confianza, donde las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Por lo tanto, el tratamiento que minimiza el porcentaje de opacidad es el B15.

Tabla 16-2: Método de Tukey con una confianza de 95% del vehículo Chevrolet D-max 3.0 4X2

Combustible	N	Media	Agrupación
D. Comercial	9	16,333	A
D. Filtrado	9	13,667	B
B5	9	10,556	C
B10	9	10,111	C
B15	9	8,444	C

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

Recolección de datos del vehículo Volkswagen Amarok 2.0 CD 4X2

Después de realizar 3 pruebas con cada combustible por el método de aceleración libre en el vehículo Volkswagen Amarok 2.0, se puede observar en la siguiente tabla una reducción significativa de opacidad al utilizar diésel filtrado, diésel filtrado & B5, diésel filtrado & B10, diésel filtrado & B15 con respecto al diésel comercial.

Tabla 17-2: Resultados de opacidad con diferentes porcentajes de mezclas por el método de aceleración libre en el vehículo 3

VW AMAROK 2.0 CD 4X2							
Porcentaje de Opacidad de los combustibles							
	RPM	Nº de repeticiones	% D. Comercial	% D. Filtrado	% B5	% B10	% B15
Aceleración Libre	3600	1	13	12	10	9	9
		2	11	10	11	11	9
		3	10	13	9	10	8

	1	11	11	11	12	10
	2	12	10	11	10	10
	3	13	12	11	9	9
	1	12	11	11	11	11
	2	11	10	10	9	10
	3	11	12	12	11	9
D. Comercial	Diésel comercial al 100%					
D. Filtrado	Diésel filtrado al 100%					
B5	Porcentaje de la mezcla entre: 95 D. Filtrado & 5% Biodiésel					
B10	Porcentaje de la mezcla entre: 90 D. Filtrado & 10% Biodiésel					
B15	Porcentaje de la mezcla entre: 85 D. Filtrado & 15% Biodiésel					

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

De acuerdo con el software estadístico Minitab, el análisis de varianza (ANOVA) indica que el promedio de las medias del diésel comercial, diésel filtrado, diésel filtrado & B5, diésel filtrado & B10 y diésel filtrado & B15 al menos dos de las mezclas son diferentes con respecto al porcentaje de opacidad, debido a que el valor-p es menor a 0.05.

Tabla 18-2: Análisis de varianza del vehículo Volkswagen Amarok 2.0 CD 4X2

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Combustible	4	25,02	6,2556	6,33	0,000
Error	40	39,56	0,9889		
Total	44	64,58			

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

Al aplicar el método de Tukey con un 95% de confianza, donde las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Por lo tanto, el tratamiento que minimiza el porcentaje de opacidad es el B15.

Tabla 19-2: Método de Tukey con una confianza de 95% del vehículo Volkswagen Amarok 2.0 CD 4X2

Combustible	N	Media	Agrupación	
D. Comercial	9	11,556	A	
D. Filtrado	9	11,222	A	
B5	9	10,667	A	B
B10	9	10,222	A	B
B15	9	9,444	B	

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

Recolección de datos del vehículo Mazda BT-50 OUTDOORS 2.5 4X4

Después de realizar 3 pruebas con cada combustible por el método de aceleración libre en el vehículo Mazda BT-50 4x4, se puede observar en la siguiente tabla una reducción significativa de opacidad al utilizar diésel filtrado, diésel filtrado & B5, diésel filtrado & B10, diésel filtrado & B15 con respecto al diésel comercial.

Tabla 20-2: Resultados de opacidad con diferentes porcentajes de mezclas por el método de aceleración libre en el vehículo 4

MAZDA BT-50 OUTDOORS CD 2.5 4X4							
Porcentaje de Opacidad de los combustibles							
	RPM	Nº de repeticiones	% D. Comercial	% D. Filtrado	% B5	% B10	% B15
Aceleración libre	3600	1	22	19	20	17	15
		2	19	20	17	17	16
		3	20	19	18	16	15
		1	20	22	19	17	17
		2	21	20	18	19	15
		3	21	21	17	18	15
		1	24	20	20	16	14
		2	21	19	18	18	16
		3	22	20	19	18	17
D. Comercial	Diésel comercial al 100%						
D. Filtrado	Diésel filtrado al 100%						
B5	Porcentaje de la mezcla entre: 95 D. Filtrado & 5% Biodiésel						
B10	Porcentaje de la mezcla entre: 90 D. Filtrado & 10% Biodiésel						
B15	Porcentaje de la mezcla entre: 85 D. Filtrado & 15% Biodiésel						

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

De acuerdo con el software estadístico Minitab, el análisis de varianza (ANOVA) indica que el promedio de las medias del diésel comercial, diésel filtrado, diésel filtrado & B5, diésel filtrado & B10 y diésel filtrado & B15 al menos dos de las mezclas son diferentes con respecto al porcentaje de opacidad, debido a que el valor-p es menor a 0.05.

Tabla 21-2: Análisis de varianza del vehículo Mazda BT-50 OUTDOORS 2.5 4X4

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Combustible	4	171,91	42,978	33,49	0,000
Error	40	51,33	1,283		
Total	44	223,24			

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

Al aplicar el método de Tukey con un 95% de confianza, donde las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Por lo tanto, el tratamiento que minimiza el porcentaje de opacidad es el B15.

Tabla 22-2: Método de Tukey con una confianza de 95% del vehículo Mazda BT-50 OUTDOORS 2.5 4X4

Combustible	N	Media	Agrupación
D. Comercial	9	21,111	A
D. Filtrado	9	20,000	A
B5	9	18,444	B
B10	9	17,333	B
B15	9	15,556	C

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

Tablas de porcentaje de opacidad de diésel filtrado & B15%

De acuerdo con la recolección de datos de los vehículos analizados se observa que al utilizar la mezcla del diésel filtrado & B15 hay una disminución considerable en comparación con las otras mezclas, por lo que en la siguiente tabla se visualiza los valores obtenidos en las pruebas de los cuatro los vehículos.

Tabla 23-2: Resultados de opacidad de la mezcla diésel filtrado & B15 en los vehículos analizados

Porcentaje de opacidad del Diésel Filtrado con B15						
Vehículos Analizados						
	RPM	Nº de repeticiones	D-MAX 2.5 4X2	D-MAX 3.0 4X2	VW AMAROK 4X2	MAZDA BT-50 4X4
Aceleración libre	3600	1	9	9	9	15
		2	9	8	9	16
		3	9	8	8	15
		1	8	8	10	17
		2	8	10	10	15
		3	10	8	9	15
		1	12	8	11	14
		2	10	8	10	16
		3	8	9	9	17
Promedios de % Opacidad			9,22	8,44	9,44	15,56

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Prueba de opacidad estática en el vehículo Chevrolet D-max 2.5 CD 4X2

3.1.1. Para el análisis se utilizó del software estadístico Minitab

Mediante la gráfica de normalidad se puede verificar que los residuos obtenidos durante la prueba de opacidad de diferentes mezclas se encuentran cerca de la línea de tendencia central. Además, en la gráfica “vs ajustes” los residuos no tienen ninguna tendencia por lo que la varianza es constante, es decir, que existe homocedasticidad (la varianza de los residuos es contante respecto a la variable independiente “combustibles”), en el histograma se puede observar que los residuos se ajustan a una distribución normal. Por último, en la gráfica “vs orden” se aprecia que los residuos no siguen ningún patrón, por lo tanto, los residuos son independientes, esto ayudará a continuar con la investigación ya que se cumple con los supuestos requeridos durante la recolección de datos del vehículo D-max 2.5 CD 4x2.

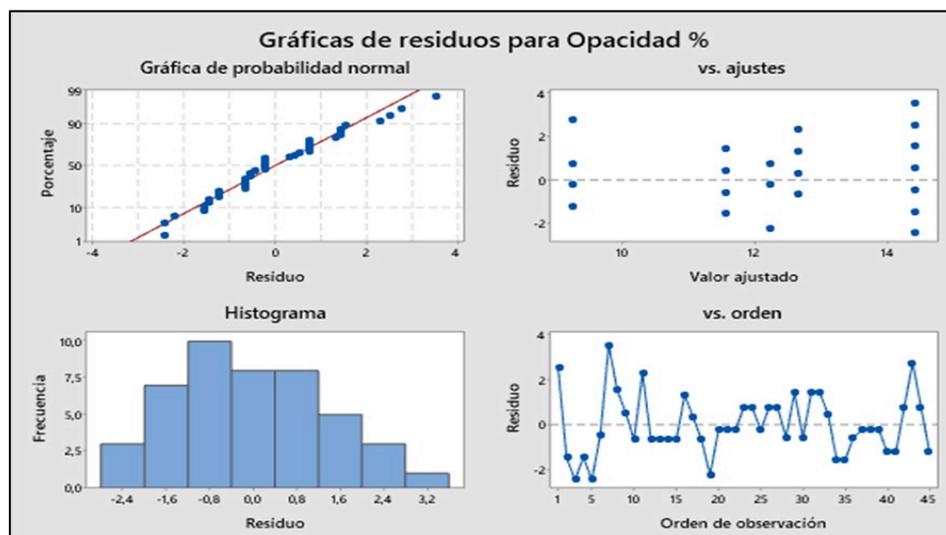


Gráfico 1-3: Grafica de residuos sobre los resultados de la opacidad

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

La grafica 1-3 muestra los resultados de la prueba de opacidad estática del vehículo 1 para obtener una media con los resultados adquiridos de varias repeticiones por el método de aceleración libre, tomando como base el diésel comercial con 13,94 % de opacidad, al utilizar diésel filtrado se puede ver que hay una reducción con un porcentaje de opacidad del 12,66 %, con la mezcla diésel filtrado & B5 hay una reducción al 12,22 % de opacidad, por consiguiente al realizar la prueba

con el diésel filtrado & B10 se disminuye al 11,56% de opacidad, mientras que con una mezcla del diésel filtrado & B15 disminución al 9,22%, llegando a reducir la opacidad un 34% con respecto al diésel comercial.

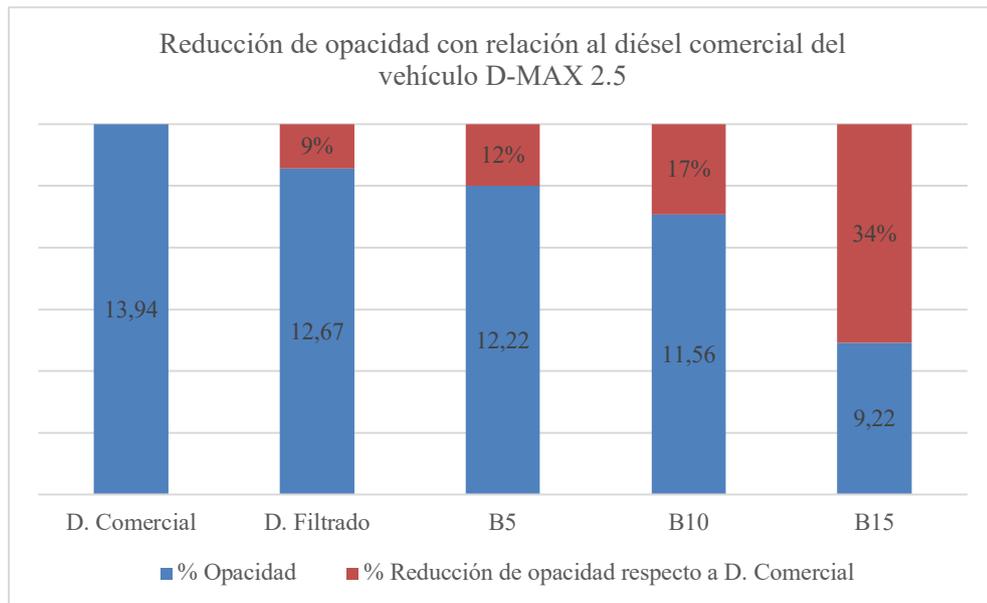


Gráfico 2-3: Grafica de disminución de opacidad del vehículo Chevrolet D-max 2.5

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

3.1.2. Prueba de opacidad estática en el vehículo Chevrolet D-max 3.0 CD 4X2

Mediante la gráfica de normalidad se puede verificar que los residuos obtenidos durante la prueba de opacidad de diferentes mezclas se encuentran cerca de la línea de tendencia central. Además, en la gráfica “vs ajustes” los residuos no tienen ninguna tendencia por lo que la varianza es constante, es decir, que existe homocedasticidad (la varianza de los residuos es contante respecto a la variable independiente “combustibles”), en el histograma se puede observar que los residuos se ajustan a una distribución normal. Por último, en la gráfica “vs orden” se aprecia que los residuos no siguen ningún patrón, por lo tanto, los residuos son independientes, esto ayudará a continuar con la investigación ya que se cumple con los supuestos requeridos durante la recolección de datos del vehículo D-max 3.0 CD 4x2.

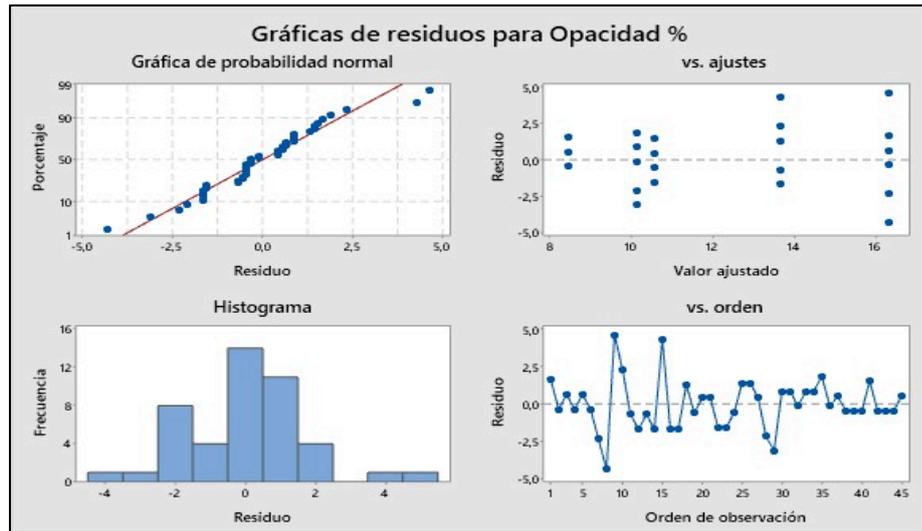


Gráfico 3-3: Grafica de residuos sobre los resultados de la opacidad

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

La grafica 3-3 muestra los resultados de la prueba de opacidad estática del vehículo 2 para obtener una media con los resultados adquiridos de varias repeticiones por el método de aceleración libre, tomando como base el diésel comercial con 16,33 % de opacidad, al utilizar diésel filtrado se puede ver que hay una reducción con un porcentaje de opacidad del 13,67%, con la mezcla diésel filtrado & B5 hay una reducción al 10,56 % de opacidad, por consiguiente al realizar la prueba con el diésel filtrado & B10 se disminuye al 10,11% de opacidad, mientras que con una mezcla del diésel filtrado & B15 disminución al 8,44%, llegando a reducir la opacidad un 48% con respecto al diésel comercial.

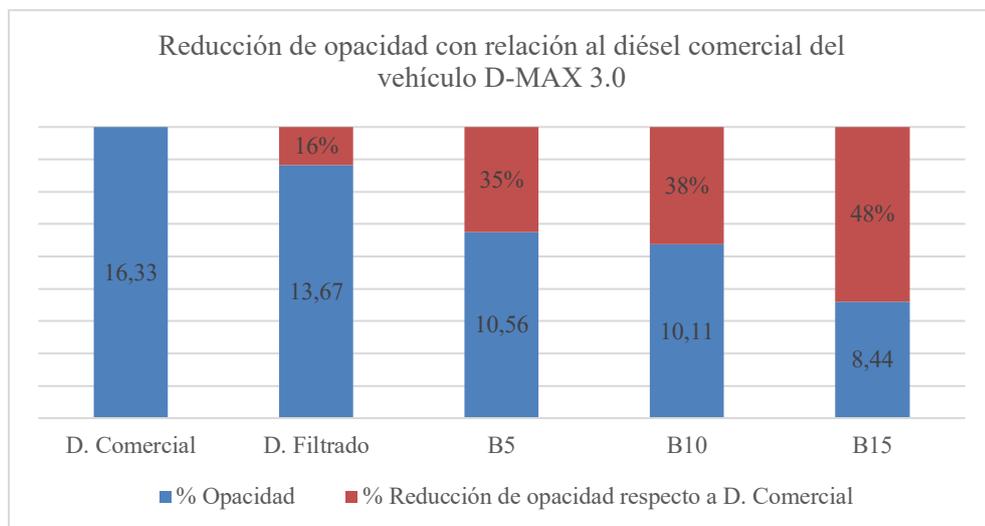


Gráfico 4-3: Grafica de disminución de opacidad del vehículo Chevrolet D-max 3.0

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

3.1.3. Prueba de opacidad estática en el vehículo Volkswagen Amarok 2.0 CD 4X2

Mediante la gráfica de normalidad se puede verificar que los residuos obtenidos durante la prueba de opacidad de diferentes mezclas se encuentran cerca de la línea de tendencia central. Además, en la gráfica “vs ajustes” los residuos no tienen ninguna tendencia por lo que la varianza es constante, es decir, que existe homocedasticidad (la varianza de los residuos es constante respecto a la variable independiente “combustibles”), en el histograma se puede observar que los residuos se ajustan a una distribución normal. Por último, en la gráfica “vs orden” se aprecia que los residuos no siguen ningún patrón, por lo tanto, los residuos son independientes, esto ayudará a continuar con la investigación ya que se cumple con los supuestos requeridos durante la recolección de datos del vehículo Volkswagen Amarok 2.0 CD 4X2.

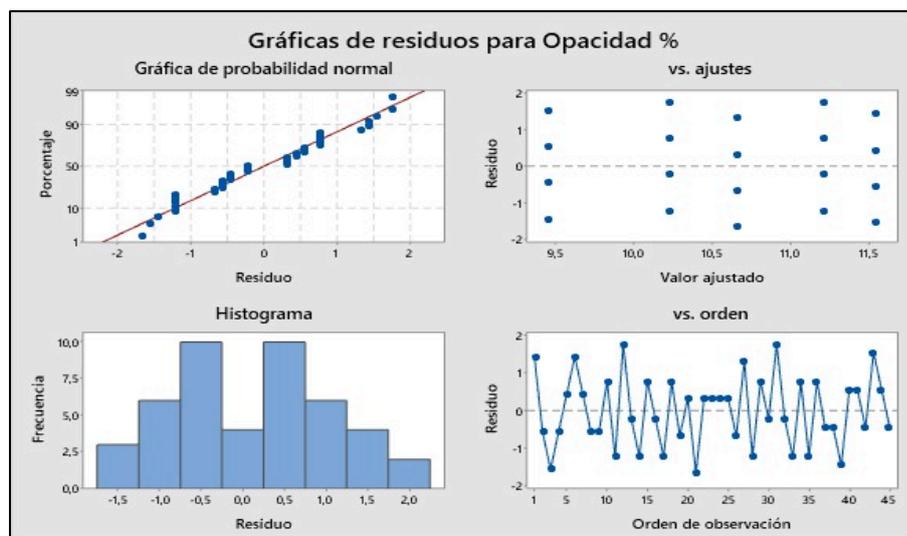


Gráfico 5-3: Grafica de residuos sobre los resultados de la opacidad

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

La grafica 5-3 muestra los resultados de la prueba de opacidad estática del vehículo 3 para obtener una media con los resultados adquiridos de varias repeticiones por el método de aceleración libre, tomando como base el diésel comercial con 11,56% de opacidad, al utilizar diésel filtrado se puede ver que hay una reducción con un porcentaje de opacidad del 11,22 %, con la mezcla diésel filtrado & B5 hay una reducción al 10,67 % de opacidad, por consiguiente al realizar la prueba con el diésel filtrado & B10 se disminuye al 10,22% de opacidad, mientras que con una mezcla del diésel filtrado & B15 disminución al 9,44%, llegando a reducir la opacidad un 18% con respecto al diésel comercial.

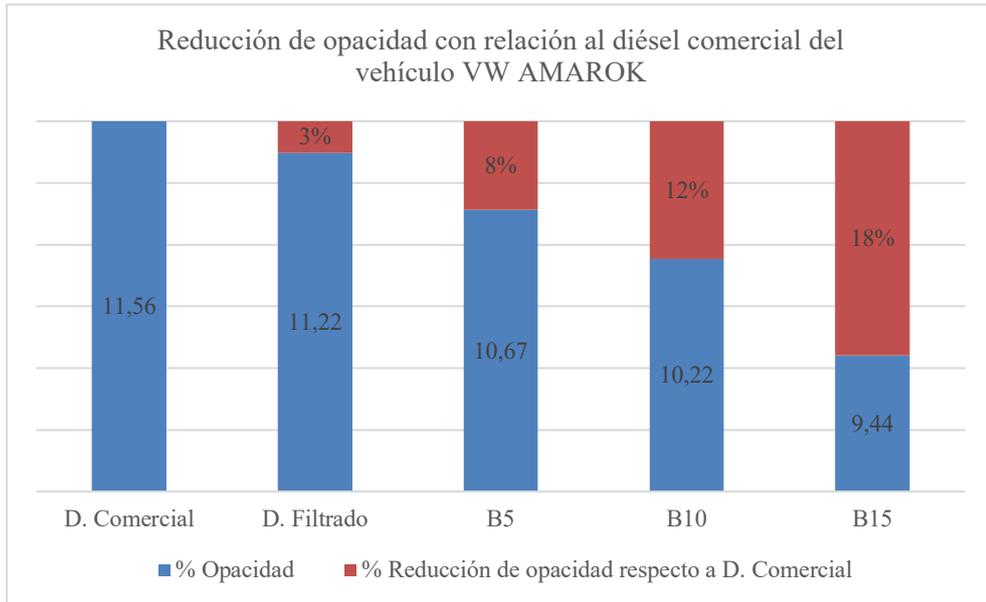


Gráfico 6-3: Grafica de disminución de opacidad del vehículo VW Amarok 2.0

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

3.1.4. Prueba de opacidad estática en el vehículo Mazda BT-50 OUTDOORS 2.5 4X4

Mediante la gráfica de normalidad se puede verificar que los residuos obtenidos durante la prueba de opacidad de diferentes mezclas se encuentran cerca de la línea de tendencia central. Además, en la gráfica “vs ajustes” los residuos no tienen ninguna tendencia por lo que la varianza es constante, es decir, que existe homocedasticidad (la varianza de los residuos es contante respecto a la variable independiente “combustibles”), en el histograma se puede observar que los residuos se ajustan a una distribución normal. Por último, en la gráfica “vs orden” se aprecia que los residuos no siguen ningún patrón, por lo tanto, los residuos son independientes, esto ayudará a continuar con la investigación ya que se cumple con los supuestos requeridos durante la recolección de datos del vehículo Mazda BT-50 OUTDOORS 2.5 4X4.

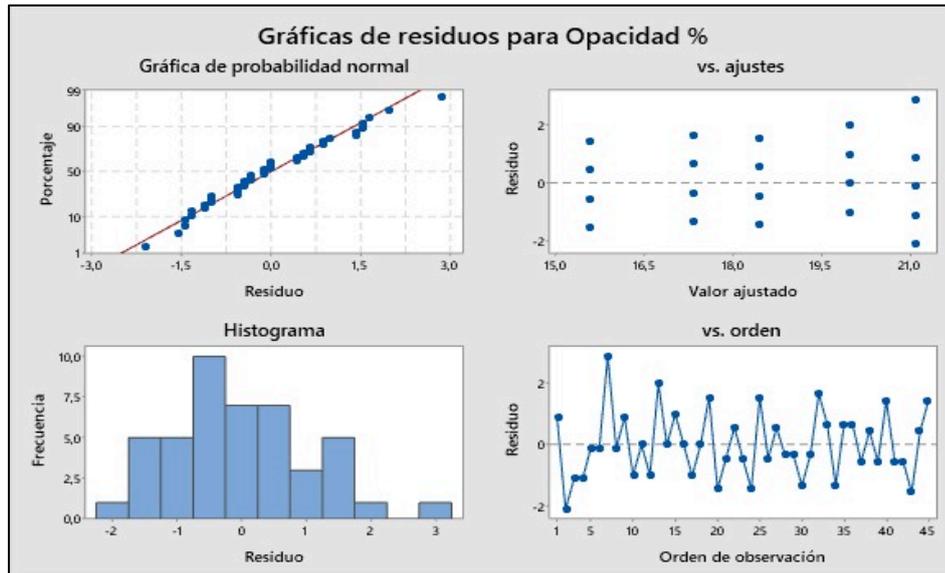


Gráfico 7-3: Grafica de residuos sobre los resultados de la opacidad

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

La grafica 7-3 muestra los resultados de la prueba de opacidad estática del vehículo 4 para obtener una media con los resultados adquiridos de varias repeticiones por el método de aceleración libre, tomando como base el diésel comercial con 21,11% de opacidad, al utilizar diésel filtrado se puede ver que hay una reducción con un porcentaje de opacidad del 20,00 %, con la mezcla diésel filtrado & B5 hay una reducción al 18,44 % de opacidad, por consiguiente al realizar la prueba con el diésel filtrado & B10 se disminuye al 17,33% de opacidad, mientras que con una mezcla del diésel filtrado & B15 disminución al 15,56%, llegando a reducir la opacidad un 26% con respecto al diésel comercial.

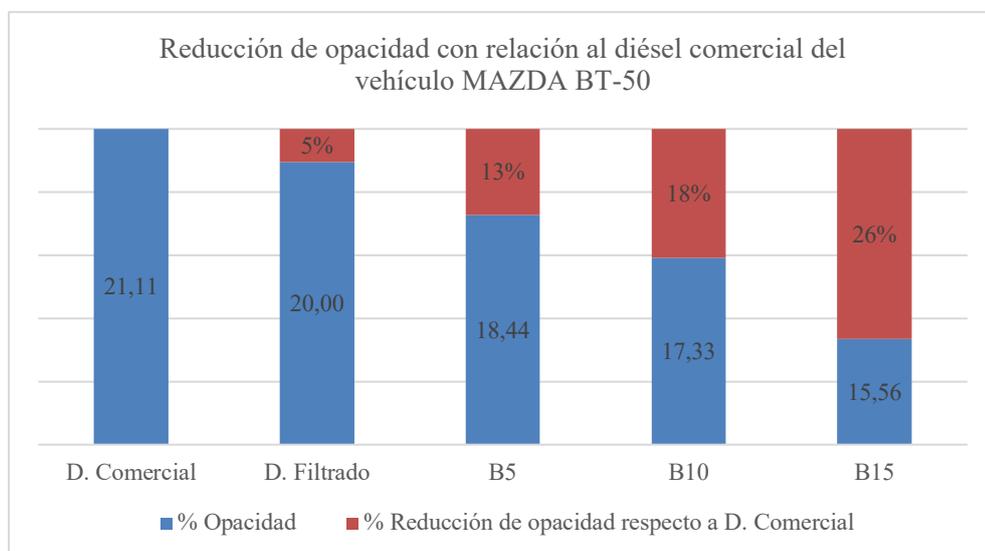


Gráfico 8-3: Grafica de disminución de opacidad del vehículo Mazda BT-50

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

3.2. Discusión de resultados

Una vez realizado las pruebas de opacidad en los vehículos seleccionados con distintas mezclas de biodiesel, se establece los siguientes resultados.

3.2.1. Resultados de opacidad estática con diésel comercial

Los resultados muestran una opacidad del 11,56% siendo este el punto más bajo generado por el vehículo Volkswagen Amarok, en el caso del vehículo D-max 2.5 tiene un porcentaje de opacidad de 13,94%, el vehículo D-max 3.0 con una opacidad del 16,33%, por último, el vehículo Mazda BT-50 aumenta la opacidad en un 4,78% con respecto al vehículo anterior, los resultados representados en la gráfica 9-3, Por consecuencia el vehículo Volkswagen Amarok presenta una disminución de opacidad del 9,52% con respecto al vehículo Mazda que tiene la opacidad más alta. Esta diferencia de reducción de opacidad depende mucho de los fabricantes, además los motores Volkswagen están diseñados para funcionar de mejor manera con combustibles de baja calidad que se comercializa en el Ecuador.

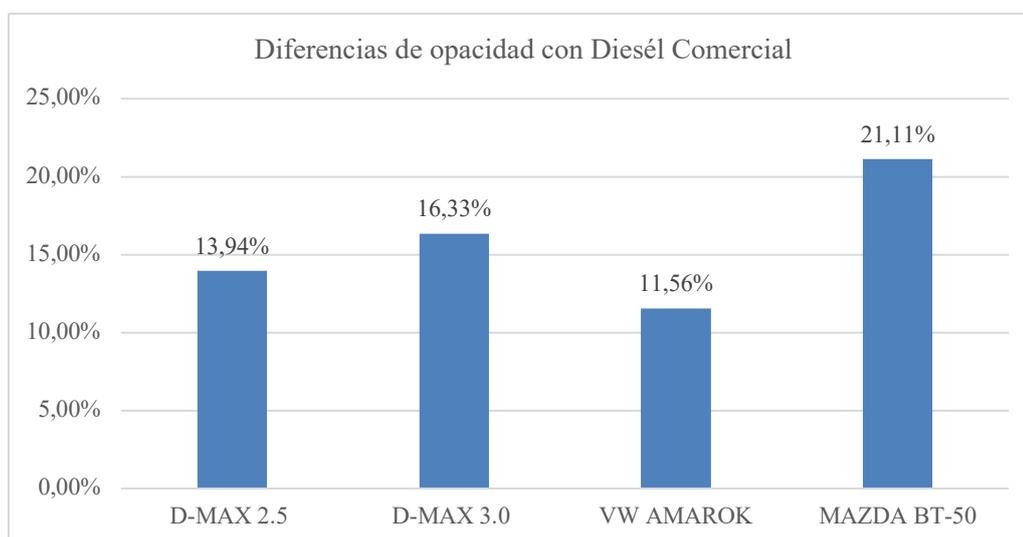


Gráfico 9-3: Grafica de porcentaje de opacidad del diésel comercial

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

3.2.2. Resultados de opacidad estática con diésel filtrado

Los resultados muestran una opacidad del 11,22% siendo este el punto más bajo generado por el vehículo Volkswagen Amarok, en el caso del vehículo D-max 2.5 tiene un porcentaje de opacidad de 12,67%, el vehículo D-max 3.0 con una opacidad del 13,67%, por último, el vehículo Mazda BT-50 aumenta la opacidad en un 6,33% con respecto al vehículo anterior, los resultados

representados en la gráfica 10-3, Por consecuencia el vehículo Volkswagen Amarok representa una disminución de opacidad del 8,78% con respecto al vehículo Mazda que tiene la opacidad más alta. Haciendo referencia al vehículo Volkswagen que mejor resultado ha arrojado en la disminución del porcentaje de opacidad, se evidencia que hay una reducción del 2.9% con respecto al diésel comercial, por lo que el método de filtrado de diésel comercial resulta eficaz ya que hay una ligera disminución del porcentaje de opacidad.

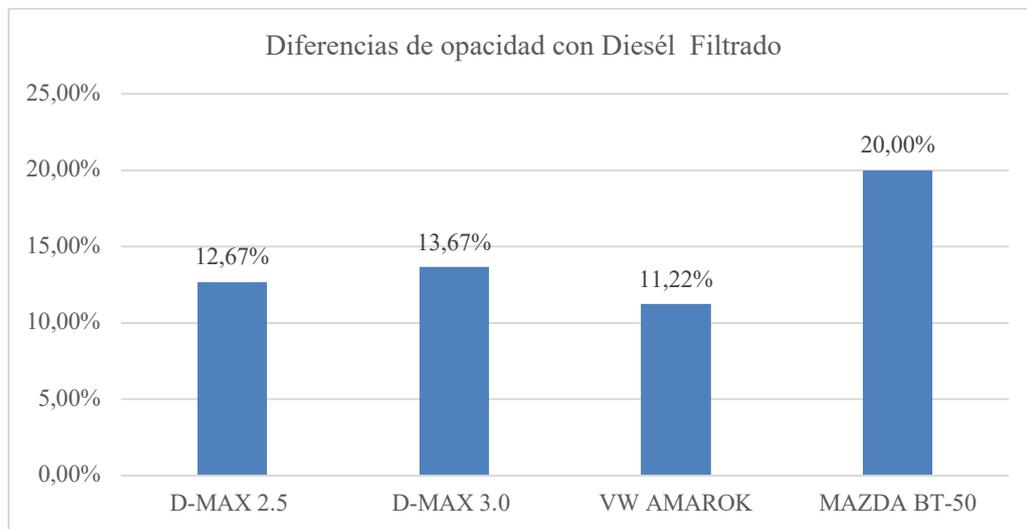


Gráfico 10-3: Grafica de porcentaje de opacidad del diésel filtrado

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

3.2.3. Resultados de opacidad estática con diésel filtrado & B5

En la Figura 11-3 se presenta los resultados de la investigación con una mezcla de diésel filtrado & B5% para determinar la reducción de opacidad; el vehículo Mazda BT-50 presentó una opacidad del 18,44%, para el vehículo D-max 2.5 se redujo 6,22% de opacidad con respecto al anterior, mientras que en el vehículo Volkswagen Amarok se redujo 7,77% de opacidad con respecto al vehículo Mazda, por último el mejor resultado en cuanto a la reducción de opacidad con un valor de 10,56% se obtuvo en el vehículo D-max 3.0.

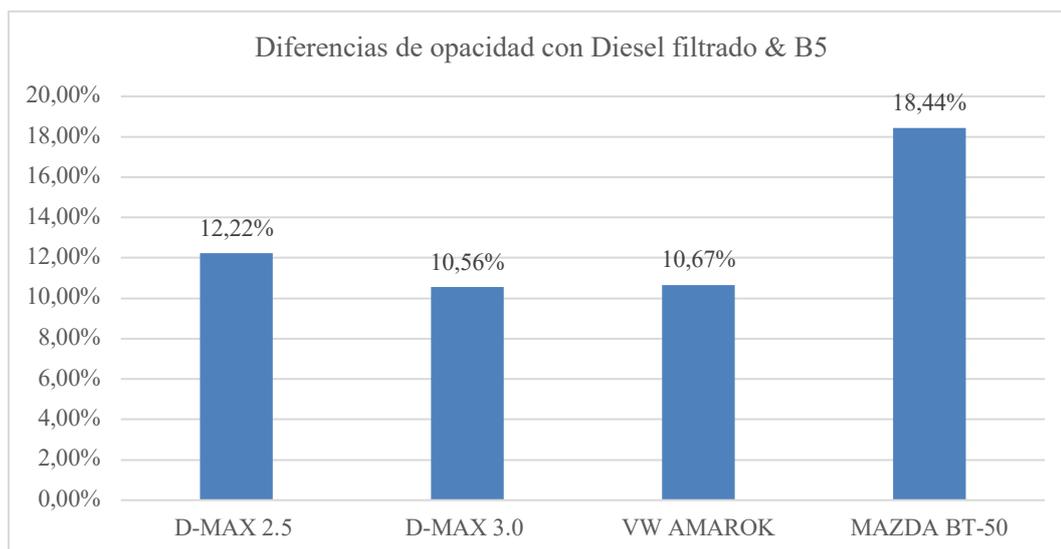


Gráfico 11-3: Grafica de porcentaje de opacidad de la mezcla diésel filtrado & B5

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

3.2.4. Resultados de opacidad estática con diésel filtrado & B10

En la prueba con diésel filtrado & B10 el vehículo Mazda BT-50 presento una opacidad de 17,33% siendo este el punto más elevado de opacidad en este porcentaje de mezcla, en el caso de la D-max 2.5 tiene 5,77% menos de opacidad que la Mazda y la Amarok reduce 7,11 % de opacidad a comparación del primer vehículo, la D-max 3.0 presenta una reducción de opacidad del 7,22%, siendo este le mejor resultado obtenido.

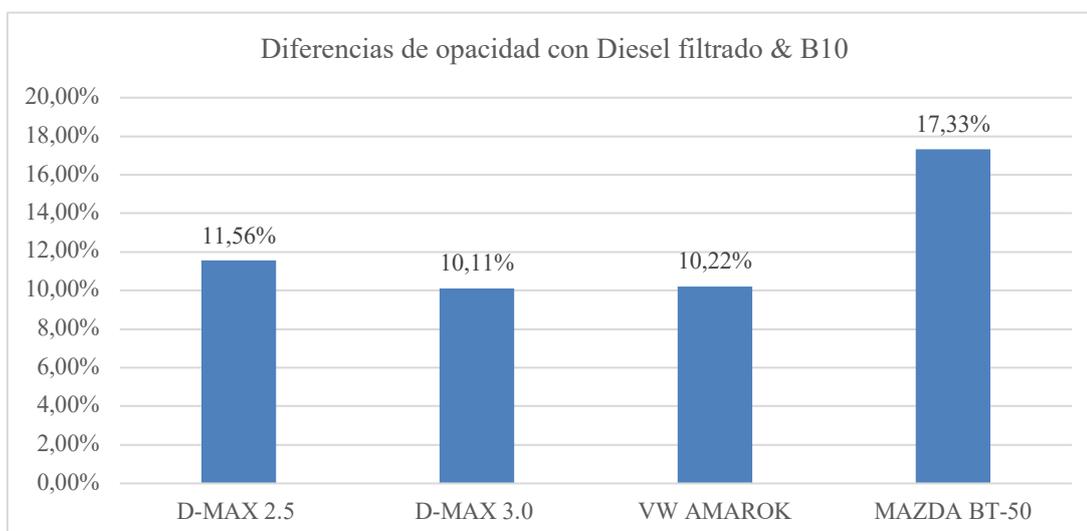


Gráfico 12-3: Grafica de porcentaje de opacidad de la mezcla diésel filtrado & B10

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

3.2.5. Resultados de opacidad estática con diésel filtrado & B15

En esta prueba el diésel filtrado & B15 presentó una opacidad del 8,44% siendo este el punto más bajo generado por el vehículo D-max 3.0, para generar las siguientes comparaciones: en el caso del vehículo Volkswagen Amarok tiene un incremento de opacidad del 1% con respecto al vehículo anterior, mientras que en el vehículo D-max 2.5 hay un incremento leve de 0,78% de opacidad, por último el vehículo Mazda BT-50 tiene una opacidad del 15,56%, resultados representados en la gráfica 13-3, donde se muestra una disminución de opacidad, debido al beneficio que aporta el biodiésel al mezclar con el diésel filtrado ya que este no contiene azufre y es un combustible ecológico.

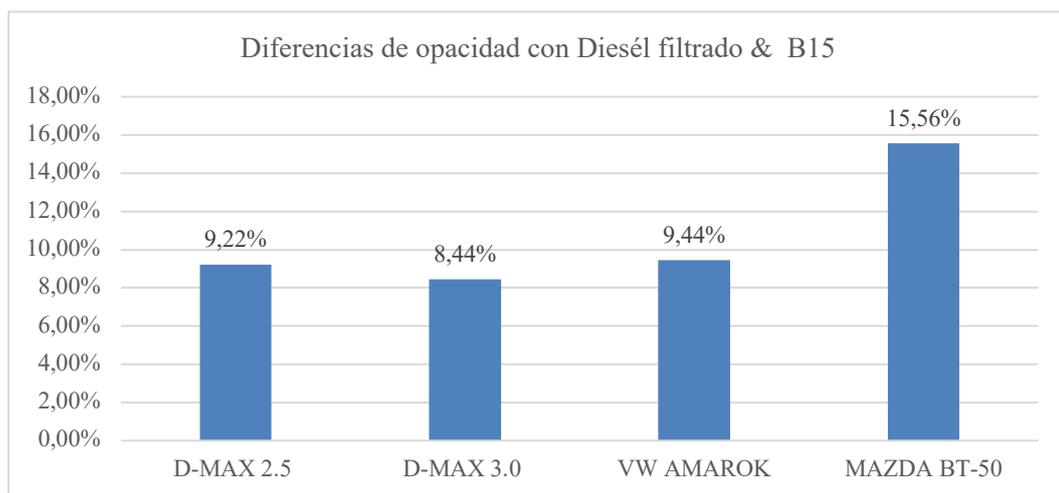


Gráfico 13-3: Grafica de porcentaje de opacidad de la mezcla diésel filtrado & B15

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

La muestra de los porcentajes de opacidad de acuerdo con el método de aceleración libre, que se realizaron en distintos vehículos con sistema CRDi, tomando en cuenta que el mejor resultado se obtuvo en el vehículo D-max 3.0 con una reducción significativa del 8,44% de opacidad al mezclar diésel filtrado & B15, con respecto a las pruebas que se realizaron con el diésel comercial, la cual fue de 16,33% de opacidad. De acuerdo al decreto municipal 213 establece que para los vehículos con motor diésel el límite de opacidad de acuerdo a la normativa Euro III es del 50% en vehículos inferiores al año 2019 mientras que en los vehículos del año 2019 en adelante el límite es del 30% de opacidad. Analizando los resultados se concluye que usando una mezcla de diésel filtrado & B15 los porcentajes de opacidad disminuyen en valores considerables permitiendo que el vehículo cumpla con la norma Euro III.

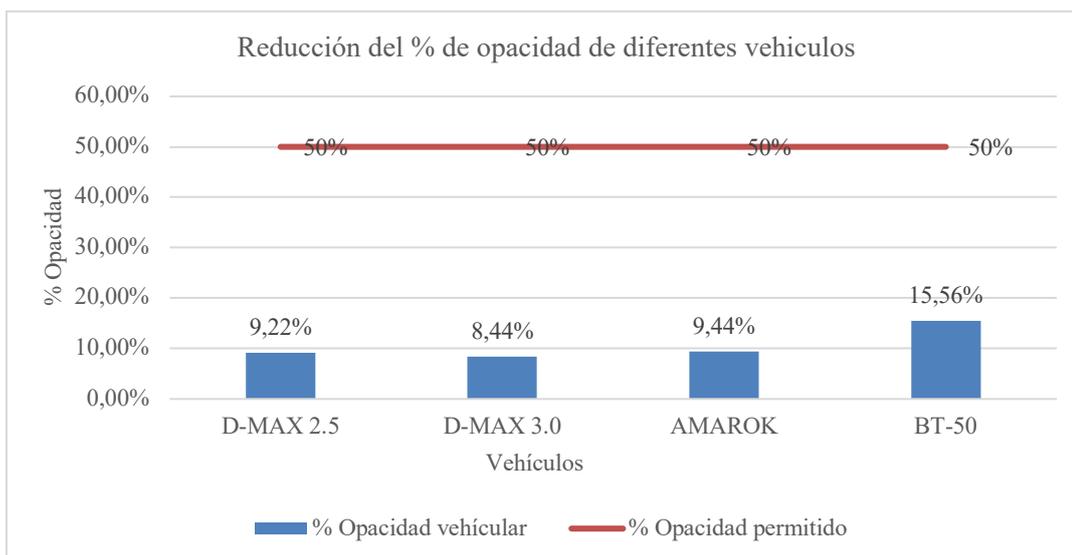


Gráfico 14-3: Grafica del porcentaje de opacidad con la mezcla idónea respecto al decreto municipal 213

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

En la gráfica 14-3, se presenta la gráfica de barras con el promedio de cada uno de los combustibles empleados en diferentes camionetas, donde se evidenció que la mezcla de diésel filtrado & B15% se logra la mayor reducción de la opacidad con respecto al diésel comercial. En el caso de la camioneta D-max 3.0 se presenta la mayor reducción de opacidad con el combustible B15 en un 7,12%;1%;0,78% con respecto a los demás vehículos estudiados con la misma mezcla del combustible.

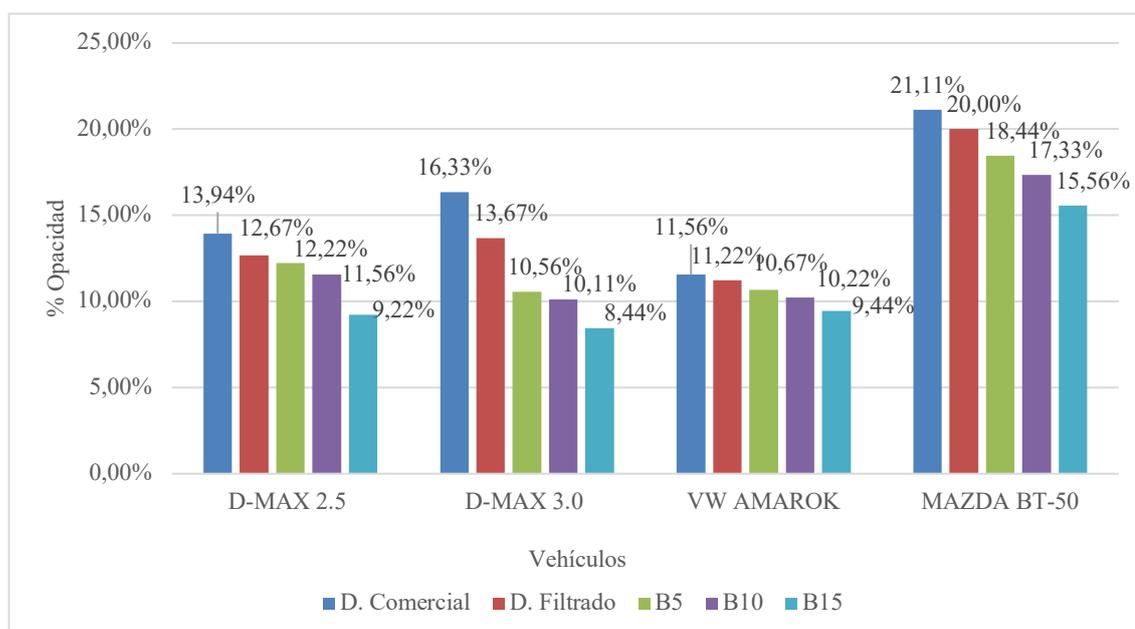


Gráfico 15-3: Opacidad promedio de las mezclas analizadas

Realizado por: Encalada C y Zhunin M, 2021.

En la gráfica 15-3 se observa que la mezcla entre diésel filtrado & B15 es el que minimiza el porcentaje de opacidad en los vehículos analizados. Por lo tanto, el promedio general en los cuatro tipos de vehículos con la mezcla del diésel filtrado & B15 es del 10,67 % de reducción de opacidad. Comprobando así la hipótesis planteada en la investigación y corroborando investigaciones de opacidad de varios estudios realizados por diferentes autores que en efecto hay una disminución de gases de escape con relación al combustible diésel comercial debido a sus propiedades.

Según la investigación Efecto de la Adición de Biodiésel en el Rendimiento y la Opacidad de un Motor Diésel, donde se asevera: que la mezcla de combustible B20 con respecto al diésel fósil redujo la opacidad en un 37.35 % en la GW Wingle, en cambio en la MBT-50 se obtuvo una reducción del 4 % con la mezcla de combustible B10; deduciéndose que los combustibles con mezclas de biodiésel sí reducen la emanación de hollín u opacidad de los vehículos de acuerdo con (Rocha et al., 2019, p.144), resultados que coinciden con la presente investigación.

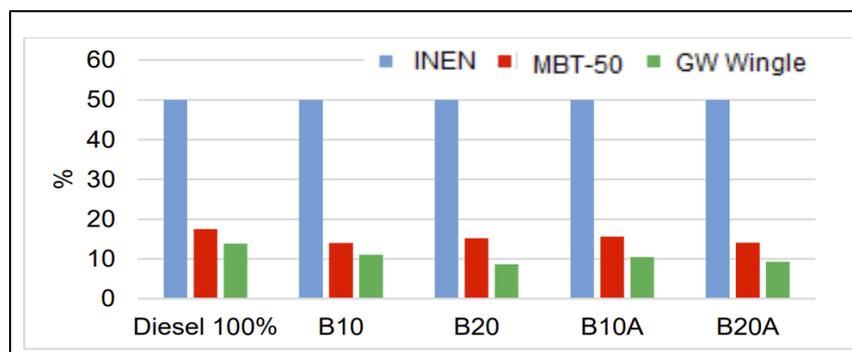


Gráfico 16-3: Opacidad promedio con diésel y mezclas, camionetas MBT-50 y GW Wingle

Fuente: (Rocha et al, 2019).

Según Stefan Reccius (2015, p.72) los vehículos con motores Volkswagen se encontraron envueltos en una problemática debido a la creación y uso ilegal de un software que alteraba los valores de medición en carretera y los de laboratorio, estos últimos eran mucho menores. Este software detectaba cuando un vehículo se encontraba en el banco de pruebas debido a que sus revoluciones (variación del ángulo del pedal de aceleración) no coincidían con los movimientos del volante, esto debido que para ser una prueba de medición del porcentaje de opacidad hay que simular una prueba de ruta establecida según la normativa europea.

CONCLUSIONES

- Las emisiones de los motores de encendido por compresión analizadas por opacidad es el principal foco de estudio debido a que hay una alta tasa de contaminación por parte del parque automotor y la norma INEN 2 207 es muy flexible al porcentaje permitido de contaminación y opacidad tomando en cuenta que existe normas más estrictas como la EURO 6.
- El diésel que se comercializa en el Ecuador no cumple con ciertas características de la norma Euro III, por tal razón en el estudio realizado se implementó diferentes porcentajes del biodiesel para que los vehículos cumplan con la normativa, tomando en cuenta un estudio antes donde: la mezcla mayor al B20 no es favorable.
- Para la realización de las pruebas de opacidad en los diferentes vehículos estudiados con el diésel comercial, diésel filtrado, diésel filtrado &B5, diésel filtrado & B10 y diésel filtrado & 15, las pruebas se realizaron por el método de aceleración libre. Tomando en cuenta que al utilizar una nueva mezcla se realiza una prueba de ruta esto con el fin de que el nuevo combustible llegue al sistema y el motor se encuentre a una temperatura normal de funcionamiento para obtener valores exactos de medición de opacidad. De esta manera se cumple las pruebas de estudio de opacidad bajo la norma INEN 2 207.
- El porcentaje de opacidad disminuye significativamente al utilizar la mezcla entre diésel filtrado y biodiesel, debido a que el poder calorífico de las mezclas es más alto, por lo tanto, se puede afirmar que el tratamiento que minimiza el porcentaje de opacidad es la mezcla del diésel filtrado & B15%.
- Mediante el análisis de varianza (ANOVA) y entre la prueba de comparación múltiples (TUKEY) se determinó que el tratamiento que minimiza el porcentaje de opacidad es la mezcla de diésel filtrado & B15, respondiendo así la hipótesis de la investigación: “Las proporciones de biodiesel con diésel filtrado minimizan el porcentaje de opacidad de las emisiones en los motores de encendido por compresión”.
- Se evidencia que al realizar un filtrado del diésel comercial mejora la calidad del combustible reduciendo considerablemente el porcentaje de opacidad en los vehículos analizados. En consecuencia, si se comercializara diésel filtrado en todo el Ecuador se mejoraría la combustión y se reducirá las emisiones contaminantes.

RECOMENDACIONES

- La temperatura de trabajo del motor es uno de los factores importantes para una mayor precisión en el resultado obtenido de las repeticiones de pruebas de opacidad, debido a que habrá una variación de valores de emisiones de gases, a temperaturas no adecuadas.
- Se sugiere realizar un estudio de opacidad dinámica específicamente en los vehículos Volkswagen y evaluar el porcentaje real de opacidad ya que es posible que estos motores cuenten con un software que alteran los valores de medición en carretera y los de laboratorio.
- Para las pruebas llevadas a cabo en laboratorio o en bancos dinamómetros es necesario tener precisión en los equipos de medición para tener una efectividad de medición.
- Para mayor efectividad es necesario repetir la prueba de opacidad al menos tres veces pudiendo obtener así resultados más precisos.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, J. y TORRADO A., R. Funcionamiento del motor diesel. En: Accepted: 2019-02-12T04:19:18Z [en línea], 1990. Disponible en: <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/5032>.

AFZAL, S., MUMTAZ, M.W., RASHID, U., DANISH, M., RAZA, M.A., RAZA, A., MUKHTAR, H. y AL-RESAYES, S.I. Exhaust emission profiling of fatty acid methyl esters and NO_x control studies using selective synthetic and natural additives. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2018. vol. 20, no. 3, pp. 589-601. ISSN 1618-9558. DOI 10.1007/s10098-018-1489-3.

AGUIRRE AYALA, V.B. y ORTIZ HERNÁNDEZ, B.R. Elaboración de un módulo didáctico del sistema common rail del motor mazda BT 50 WL-C 2.5 CRDi diesel. En: Accepted: 2014-05-29T21:10:05Z [en línea], 2013. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/3438>.

AGUIRRE, G. y VACA, L. Estudio de las propiedades fisicoquímicas de la gasolina extra aditivada con alcoholes, en la refinería esmeraldas. [en línea]. 2017. Quito: Universidad Central del Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/9783/1/T-UCE-0017-008-2017.pdf>.

ARCENALES ANGAMARCA, S.P. y PALADINES BRAVO, L.A. Estudio termodinámico del motor Toyota turbo diésel modelo 2KD-FTV, mediante la implementación de un intercambiador de calor al sistema de admisión. En: Accepted: 2014-03-07T01:02:10Z [en línea], 2014. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6060>.

ARMAS POZO, B.D. y VACA ROSERO, G.D. Módulo didáctico de la bomba de inyección de alta presión Common-Rail de la camioneta Volkswagen Amarok 4x2. En: Accepted: 2014-05-29T16:17:31Z [en línea], 2013. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/3406>.

ASAMBLEA CONSTITUYENTE. Ley de Gestión Ambiental [en línea]. 2008. Disponible en: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/constitucion_de_bolsillo_final.pdf.

BAYETERO, C.M. Evaluación del comportamiento mecánico y ambiental de combustible alternativo en motores de encendido a compresión (mec) [en línea]. 2020. Quito: Universidad Internacional SEK. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3813/1/C%c3%a9sar%20Fabricio%20Morales%20Bayetero.pdf>.

CABRERA, E. y CARPIO, C. Análisis de la opacidad del parque automotor diésel mediante una comparación con las redes de monitoreo de calidad de aire en el centro historico del canton Cuenca [en línea]. Cuenca: 2019. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17786/1/UPS-CT008414.pdf>.

CASTILLEJO CALLE, A. Sistemas de Inyección en Motores Diesel. 2014, pp. 127.

CASTRO, C. y ESTEBAN, C. Identificación de las emisiones de gases de escape en motores diésel con normativa euro 3 a diferentes alturas sobre el nivel del mar. En: Accepted: 2018-10-09T21:46:20Z [en línea], 2018. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8609>.

CASTRO MEDIAVILLA, J.J. y SALAZAR MONTALVÁN, M.Á. Análisis del desempeño de motores CRDi (Common rail direct injection) a través de formas de onda procesadas por osciloscopio. En: Accepted: 2015-10-06T22:54:56Z [en línea], 2015. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11722>.

CHEVROLET D-MAX. Chevrolet D-max High Country. [en línea]. 2018. Disponible en: <https://www.chevrolet.com.ec/content/dam/chevrolet/south-america/ecuador/espanol/index/pickups-and-trucks/2019-dmax-high-country/mov/02-pdfs/d-max-high-country-ficha-tecnica.pdf>.

CIOLKOSZ, D. Chapter 37 - What's so different about biodiesel fuel? En: A. DAHIYA (ed.), *Bioenergy (Second Edition)* [en línea]. 2020. Academic Press, pp. 739-744. ISBN 978-0-12-815497-7. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128154977000373>.

CLAVERO, D. Cómo es la prueba de gases y opacidad de la ITV para coches diésel: desmontando mitos. *article* [en línea]. 2020. Disponible en: <https://www.diarimotor.com/esenciales/itv/diesel-opacidad-gases/>.

DI, Y., CHEUNG, C.S. y HUANG, Z. Experimental investigation on regulated and unregulated emissions of a diesel engine fueled with ultra-low sulfur diesel fuel blended with biodiesel from waste cooking oil. *The Science of the Total Environment*, 2009. vol. 407, no. 2, pp. 835-846. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2008.09.023.

DONG, K., JIANG, H., SUN, R. y DONG, X. Driving forces and mitigation potential of global CO₂ emissions from 1980 through 2030: Evidence from countries with different income levels. *Science of The Total Environment*, 2019. vol. 649, pp. 335-343. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.08.326.

EP PETROECUADOR. EP Petroecuador comercializa Diésel Premium con contenido de azufre de 150 partes por millón – EP PETROECUADOR. EP Petroecuador comercializa Diésel Premium con contenido de azufre de 150 partes por millón [en línea]. 2020. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=8954>.

FUKUDA, H., KONDO, A. y NODA, H. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2001. vol. 92, no. 5, pp. 405-416. ISSN 1389-1723. DOI 10.1263/jbb.92.405.

GOPINATH, A., PUHAN, S. y GOVINDAN, N. Effect of biodiesel structural configuration on its ignition quality. *International Journal of Energy and Environment*, 2010. vol. 1.

GUTIERREZ PULIDO, H. y SALAZAR, R. de la V. Análisis y diseño de experimento [en línea]. Segunda Edición. S.l.: McGraw-Hill Interamericano. 2008. Disponible en: https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf.

HODAC, I., MCCURDI, D., MANDEL, J. y NAO, Y. Primera edición de la directrices de biodiesel. *Marzo/2009*, vol. Primera edicion, pp. 21.

INEN. Gestion ambiental. aire. vehiculos automotores. limites permitidos por emisiones por fuentes moviles terrestres de diesel. [en línea]. 2002. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2207.pdf>.

INEN. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diésel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre [en línea]. 2013. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2202-1.pdf>.

REBORT José y R.D.A.A. Motores de combustión interna. 2015. Editorial UNED. ISBN 978-84-362-7086-0.

JURADO, G. y RAYNIER, C. Análisis de emisiones de gases de escape en un motor diésel con inyección UPS utilizando biodiésel B5 a base de aceite de higuera. En: Accepted: 2018-05-16T13:49:38Z [en línea], 2018. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8199>.

KAROLYS, B., CEDEÑO, E.A., VEGA, W., CEVALLOS, S. y ROCHA-HOYOS, J. Effect of Injection Parameters and Emission characteristics in a Common-Rail Direct Injection Diesel Engine in Height Conditions: A Review. Journal of Engineering Science and Technology Review, 2019. pp. 164-171. DOI 10.25103/jestr.123.22.

KATES, E.J. Motores Diesel y de gas de alta compresión. 2021. Reverte. ISBN 978-84-291-9098-4.

KEERA, S.T., EL SABAGH, S.M. y TAMAN, A.R. Castor oil biodiesel production and optimization. Egyptian Journal of Petroleum, 2018. vol. 27, no. 4, pp. 979-984. ISSN 1110-0621. DOI 10.1016/j.ejpe.2018.02.007.

KIM, N.-H. Comparison of the Dehumidification Performance Between LiCl and LiBr in a Liquid Desiccant Dehumidifying Element Having Criss-Cross Sinusoidal Channels (Celdek). Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 2018. vol. 19, no. 5, pp. 27-34. ISSN 1975-4701. DOI 10.5762/KAIS.2018.19.5.27.

LAUREL, H., KIPPING, D. y SCHÜMANN, U. Potencial para el uso directo de los aceites vegetales en los motores de combustión. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 2012. vol. 3, pp. 650-658.

LIOTTA, F.J. A Peroxide Based Cetane Improvement Additive with Favorable Fuel Blending Properties. [en línea]. SAE Technical Paper. Warrendale, PA: SAE International. 1993. 932767. Disponible en: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/932767/>.

LUJAJI, F., BERECZKY, A., JANOSI, L., NOVAK, Cs. y MBARAWA, M. Cetane number and thermal properties of vegetable oil, biodiesel, 1-butanol and diesel blends. Journal of Thermal

Analysis and Calorimetry, 2010. vol. 102, no. 3, pp. 1175-1181. ISSN 1572-8943. DOI 10.1007/s10973-010-0733-9.

MAHESH, S.E., RAMANATHAN, A., BEGUM, K.M.M.S. y NARAYANAN, A. Biodiesel production from waste cooking oil using KBr impregnated CaO as catalyst. Energy Conversion and Management, 2015. vol. 91, pp. 442-450. ISSN 0196-8904. DOI 10.1016/j.enconman.2014.12.031.

MALES, T. y LEONARDO, E. Evaluación de las emisiones de gases de escape de un motor de encendido por compresión utilizando mezclas de diésel, biodiésel supercrítico y óxido de cerio. En: Accepted: 2019-04-24T13:37:24Z [en línea], 2019. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20174>.

MANTILLA GONZÁLEZ, J.M., RONCANCIO G., J.A. y ACEVEDO G., H.R. Análisis comparativo del desempeño y emisiones de un motor diesel de gran capacidad operando bajo dos escenarios: trabajo en ruta activa y trabajo en banco. SciELO - Scientific Electronic Library Online [en línea]. 2010. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092010000100020.

MATA, C. Analysis of pollutant emissions originated by the automotive fleet in Cuenca. RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao, 2020. vol. 30, pp. 364-380.

MAZDA BT-50. Ficha técnica, prestaciones y dimensiones del Mazda BT-50 2.5TD 143 Cv Active 4P. [en línea]. 2017. Disponible en: <https://www.cochesyconcesionarios.com/fichas/mazda/bt-50/76099760002-prestaciones-dimensiones.html>.

MEDIAVILLA, J.J.C. y TORRES, M.E.G. Análisis comparativo del funcionamiento del inyector de un motor CRDI bajo diferentes alturas geográficas. INNOVA Research Journal, 2019. vol. 4, no. 1, pp. 60-74. ISSN 2477-9024. DOI 10.33890/innova.v4.n1.2019.906.

MENA FARFAN, M.A. y PAZ ZEBALLOS, R.T. Análisis del rendimiento del motor diesel utilizando biodiesel como combustible en la altitud [en línea]. Thesis. S.l.: s.n. 2017. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/13602>.

MENDOZA, V. y JOSÉ, I. Emisiones contaminantes y autonomía a efecto del uso del diésel y aditivos bajo ciclos dinámometro. En: Accepted: 2019-07-25T22:00:59Z [en línea], 2019. Disponible en: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/3438>.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire, de los cantones Ambato, Riobamba, Santo Domingo de los Colorados, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro [en línea]. 2014. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/Libro-Resumen-Inventario-13-02-2014-prensa.pdf>.

MOFIJUR, M., MASJUKI, H.H., KALAM, M.A., ATABANI, A.E., FATTAH, I.M.R. y MOBARAK, H.M. Comparative evaluation of performance and emission characteristics of Moringa oleifera and Palm oil based biodiesel in a diesel engine. *Industrial Crops and Products*, 2014. vol. 53, pp. 78-84. ISSN 0926-6690. DOI 10.1016/j.indcrop.2013.12.011.

MOFIJUR, M., RASUL, M.G., HYDE, J., AZAD, A.K., MAMAT, R. y BHUIYA, M.M.K. Role of biofuel and their binary (diesel–biodiesel) and ternary (ethanol–biodiesel–diesel) blends on internal combustion engines emission reduction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016. vol. 53, pp. 265-278. ISSN 1364-0321. DOI 10.1016/j.rser.2015.08.046.

MORALES NOVELLA, V.E. Alternativas para la reducción de gases de combustión en vehículos automotores [en línea]. Lima - Perú: Universidad Científica del Sur. 2019. Disponible en: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1354/TB-Morales%20V.pdf?sequence=6&isAllowed=y>.

MOTORES. El motor diésel: funcionamiento y aplicaciones. Motor.es [en línea]. 2021. Disponible en: <https://www.motor.es/que-es/motor-diesel>.

MUÑIZ MENDOZA, L.M. ¿Qué es un dinamómetro vehicular y cómo se usa para la medición de emisiones contaminantes de los vehículos? *gob.mx* [en línea], 2019. Disponible en: <http://www.gob.mx/cenam/articulos/que-es-un-dinamometro-vehicular-y-como-se-usa-para-la-medicion-de-emisiones-contaminantes-de-los-vehiculos?idiom=es>.

NAVARRETE, L., ROMAN, W., CEDEÑO, E.A., BARRENO, N., PALACIO, S. y ROCHA-HOYOS, J. Estudio de rugosidad por análisis de Fourier de las toberas de inyectores

en sistemas riel común (CRDI). *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 2018. vol. 26, pp. 654-662. DOI 10.4067/S0718-33052018000400654.

PARERA, A.M. Inyección Electrónica en Motores Diesel. 1996. Marcombo. ISBN 978-84-267-1076-5.

PAYRI GONZÁLEZ, F. y DESANTES FERNÁNDEZ, J.M. Motores de combustión interna alternativoS. En: Accepted: 2016-10-03T15:43:55Z Artwork Medium: Físico Interview Medium: Físico, Colección Académica. Editorial UPV [en línea]. 2011, Editorial Universitat Politècnica de València. ISBN 978-84-8363-705-0. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/70998>.

RAMESHA, D.K., VIDYASAGAR, H.N., TRILOK, G., LAKSHMI PRASAD, A. y VINAY KUMAR REDDY, V. Study of Performance, Combustion and Emission Characteristics of DI Diesel Engine Fuelled with Neem Biodiesel with Carbon Nano Tube as Additive. *Applied Mechanics and Materials*, 2019. vol. 895, pp. 237-243. ISSN 1662-7482. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.895.237.

RAMOS CHOGOYA, E. *Metodos y tecnicas de investigación*. 2008, pp. 37.

RAMOS, J.M. OPINIÓN: Entendiendo la naturaleza del biodiésel. [en línea]. 2019. Disponible en: <https://news.culturacolectiva.com/mexico/opinion-cual-es-la-diferencia-entre-el-diesel-y-el-biodiesel/>.

RECCIUS, S. Diéselgate VW: donde todo comenzó | DW | 07.10.2015. DW.COM [en línea]. 2015. Disponible en: <https://www.dw.com/es/di%C3%A9selgate-vw-donde-todo-comenz%C3%B3/a-18766937>.

RIESCO ÁVILA, J.M., GALLEGOS MUÑOZ, A., MONTEFORT SÁNCHEZ, J.M. y MARTÍNEZ MARTÍNEZ, S. Procesos Alternativos de Combustión en Motores debCombustión Interna. *Acta Universitaria*, 2015, vol. Vol. 15, pp. 20.

ROCHA-HOYOS, CEDEÑO, E.A., CELI, S. y PERALTA, D. Efecto de la Adición de Biodiésel en el Rendimiento y la Opacidad de un Motor Diésel. *Información tecnológica*, 2019. vol. 30, pp. 137-146. DOI 10.4067/S0718-07642019000300137.

ROCHA-HOYOS, Juan, CEDEÑO, E.A., CELI, S. y PERALTA, D. Efecto de la Adición de Biodiésel en el Rendimiento y la Opacidad de un Motor Diésel. *Información tecnológica*, 2019. vol. 30, pp. 137-146. DOI 10.4067/S0718-07642019000300137.

ROCHA-HOYOS, Juan C., LLANES-CEDEÑO, E.A., CELI-ORTEGA, S.F., PERALTA-ZURITA, D.C., ROCHA-HOYOS, J.C., LLANES-CEDEÑO, E.A., CELI-ORTEGA, S.F. y PERALTA-ZURITA, D.C. Effect of the Addition of Biodiesel on the Performance and Opacity of a Diesel Engine. *Información tecnológica*, 2019. vol. 30, no. 3, pp. 137-146. ISSN 0718-0764. DOI 10.4067/S0718-07642019000300137.

ROMÁN GÍA, R.A. Análisis de los parámetros controlados en la norma técnica ecuatoriana inen 2207:2002 aplicada en la revisión técnica vehicular para automotores diésel en el distrito metropolitano de quito [en línea]. Quito: Escuela Politecnica Nacional. 2020. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21274/1/CD%2010790.pdf>.

ROSAS HUERTA, Á.J. y BARAHONA LÓPEZ, G.A. En esta situación el dinamómetro de chasis LPS 3000 es un equipo que posibilita medir la potencia y el par motor en las ruedas motrices, de tal forma que se logre decidir las condiciones del transporte con en relación a las especificaciones del fabricante, además posibilita hacer pruebas como simulación de carga, medición de elasticidad, control de tacómetro, habituación de carga, prueba Lug Down, medición de consumo de combustible, medición de emisiones contaminantes, etcétera. 2011, pp. 190.

SÁNCHEZ-BORROTO, Y., PILOTO-RODRÍGUEZ, R., GOYOS-PÉREZ, L. y FERRER-FRONTALA, N. Predicción del número de cetano de biocombustibles a partir de su composición de ácidos grasos. 2012, vol. 15, pp. 147-157.

SANTAMARÍA, M. y JAVIER, J. Análisis de los parámetros mecánicos y electrónicos de funcionamiento del sistema de alta presión del conjunto CRDI del motor diésel Kia 2.0L tipo D4EA. En: Accepted: 2019-08-26T16:11:43Z [en línea], 2019. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/20716>.

TELÉGRAFO, E. Autos tienen tres meses más para cumplir norma Euro 3. *El Telégrafo* [en línea]. 2017. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/autos-tienen-tres-meses-mas-para-cumplir-norma-euro-3>.

THIYAGARAJAN, S., GEO, V.E., MARTIN, L.J. y NAGALINGAM, B. Simultaneous reduction of NO–smoke–CO₂ emission in a biodiesel engine using low-carbon biofuel and exhaust after-treatment system. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2017. vol. 19, no. 5, pp. 1271-1283. ISSN 1618-9558. DOI 10.1007/s10098-016-1326-5.

VERA CORNEJO, J.A. “Análisis de opacidad del motor j3 del hyundai terracan gl ex crdi en el uso de combustible diésel de diferentes proveedores" [en línea]. Guayaquil: Universidad Internacional del Ecuador. 2018. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2516/3/T-UIDE-175.pdf>.

VIGNESH, G. y BARIK, D. Chapter 6 - Toxic Waste From Biodiesel Production Industries and Its Utilization. En: D. BARIK (ed.), *Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation* [en línea]. S.l.: Woodhead Publishing, Woodhead Publishing Series in Energy, pp. 69-82. 2019. ISBN 978-0-08-102528-4. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081025284000067>.

VOLKSWAGEN AMAROK. Ficha Técnica: Volkswagen Amarok (2018) - Monkey Motor. [en línea]. 2018. Disponible en: <https://www.monkeymotor.net/>.

WADE, W., WHITE, J. y FLOREK, J. Filtros de partículas diésel. DieselNet [en línea]. 2020. Disponible en: <https://dieselnet.com/tech/dpf.php#performance>.

YEPEZ, C.M., NAVARRETE, R.I., OBANDO, J.M., BENAVIDES CEVALLOS, I. y FERNANDEZ RUEDA, E. Cauntificación de la opacidad en motores electronicos diesel usando diesel y biodiesel. 2017, pp. 6.

YEPEZ, C.N.M., CEVALLOS, I.B.B., RUEDA, E.P.H. y PAREDES, F.R.R. Caracterización y análisis comparativo de biodiesel a base de higuierilla B10, respecto de diésel comercial de alta calidad: *INNOVA Research Journal*, 2018. vol. 3, no. 7, pp. 53-60. ISSN 2477-9024. DOI 10.33890/innova.v3.n7.2018.580.

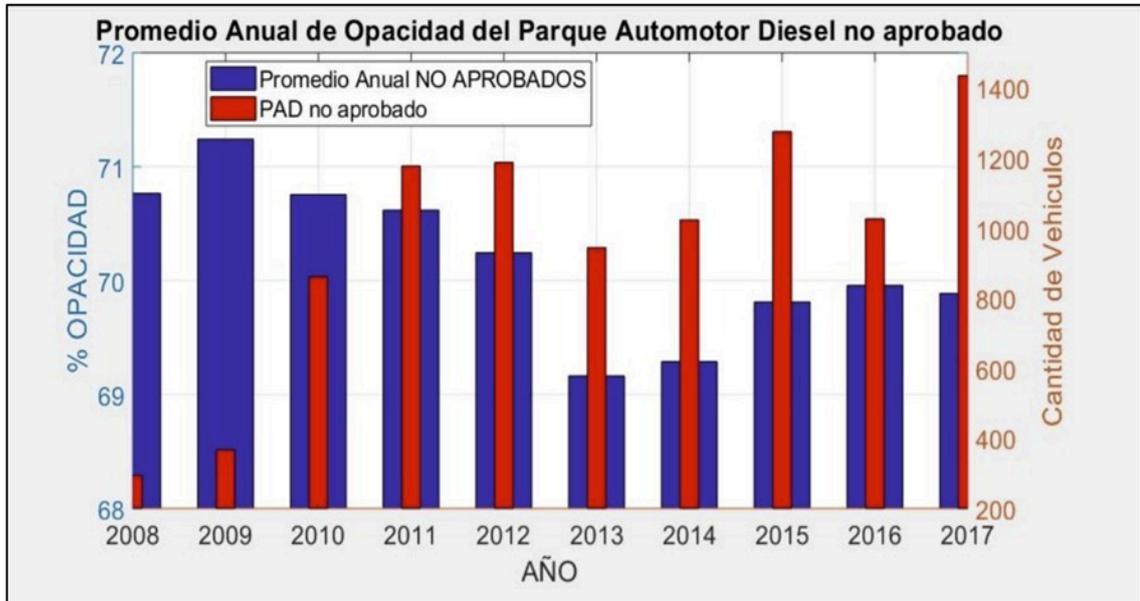
YEROVI ALTAMIRANO, E. Emisiones contaminantes a efecto del uso del diésel y aditivos en motores de inyección bajo ciclos en dinamómetro. [en línea], 2019. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3485/2/Proyecto%20de%20Tesis.pdf>.

YÜKSEK, L., KALELI, H., ÖZENER, O. y ÖZOĞUZ, B. The effect and comparison of biodiesel-diesel fuel on crankcase oil, diesel engine performance and emissions. FME Transactions, 2009. vol. 37, pp. 91-97.

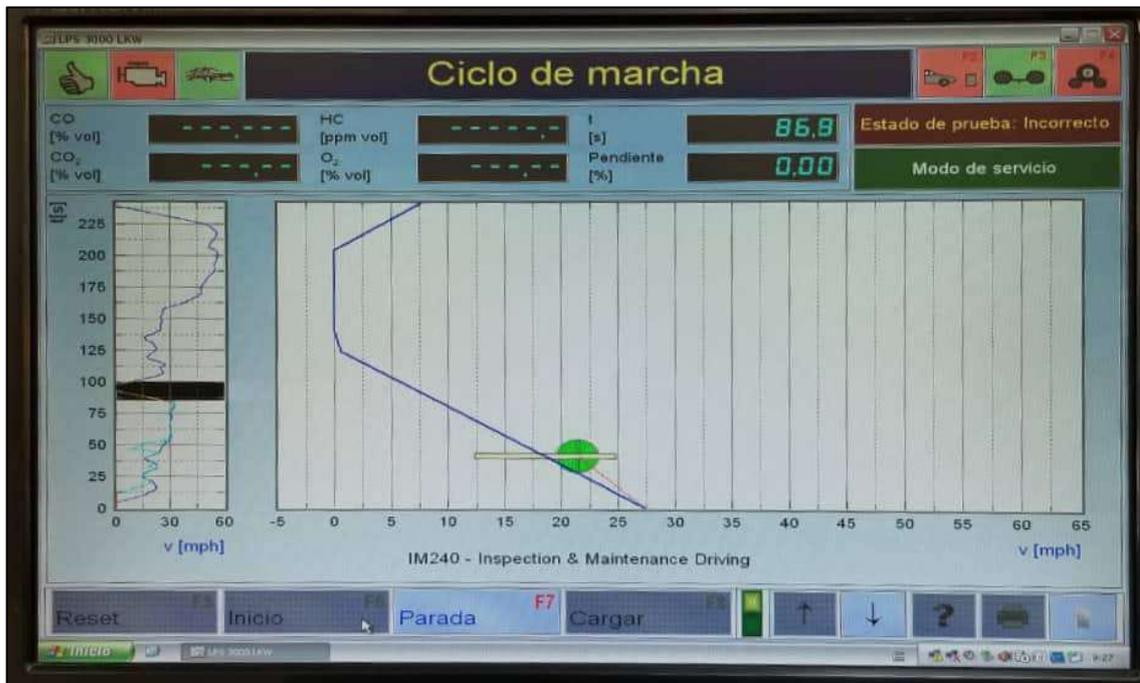
ZENDEJAS PEREZ, K. 2.3 Tipos de métodos - fundamentos de la investigación. [en línea]. 2015. Disponible en: <https://sites.google.com/site/kandyzendejas/2-3-tipos-de-metodos>.

ANEXOS

ANEXO A: CICLO DE CONDUCCIÓN AMERICANA



ANEXO B: CICLO DE CONDUCCIÓN EUROPEA



ANEXO C: TANQUE EXTERNO DE COMBUSTIBLE



ANEXO D: MEZCLAS DE COMBUSTIBLES



ANEXO E: MUESTRAS DE COMBUSTIBLES



ANEXO F: REGISTROS DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES ESTÁTICOS DIESEL

CCICEV		Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares				
REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES ESTATICOS DIESEL						
CODIGO: CCICEV-04-00-03-OED	Revisión 3	N°	CCICEV-04-00-03-2021-OED - 021 - P5			
	Página 1 / 1	FECHA:	18 de agosto de 2021			
TÉCNICOS RESPONSABLES	Fabián Iza					
OBJETIVO DE LA EVALUACION	TIPO DE EVALUACION					
Evaluación Inicial <input type="checkbox"/>	Evaluación Regular <input type="checkbox"/>	Prechequeo RTV* <input type="checkbox"/>				
Reevaluación <input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación RTV*4 ^{ta} rev <input type="checkbox"/>	Evaluación Tesis <input checked="" type="checkbox"/>				
No. Visita <input type="text" value="5"/>	Otros <input type="checkbox"/>					
<small>*RTV: Revisión Técnica Vehicular ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV</small>						
DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO						
Marca	CHEVROLET	VIN Chasis / Placa:	8LBETF3TXH0366923 / PAC8794			
Modelo:	D-MAX CRDI 3.0 CD 4X2 TM DIESEL	Versión	N/D			
Fabricante	GENERAL MOTORS	Kilometraje:	173496			
MOTOR (Datos del fabricante)**						
Marca motor	N/D	Modelo/Tipo	N/D			
Posición de motor	DELANTERO LONGITUDINAL	No. Motor	4JJ1PV8092			
No. de cilindros y disposición	4 CILINDROS EN LÍNEA	Cilindrada [cm3]	2999			
Maxima Potencia (kw/rpm)	100 kw @ 3600 RPM	Máximo Torque (Nm/rpm)	294 Nm @ (1400-3000)RPM			
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	TURBOCARGADO			
Combustible / Fuente de energía	BIODIESEL B15	Tipo (NTE INEN 2656)	CAMIONETA DE DOBLE CABINA			
Subcategoría (NTE INEN 2656)	N_1	Año modelo vehículo	2017			
Tonelaje (t)	2,85	País de origen	ECUADOR			
TRANSMISIÓN /CAMBIO DE VELOCIDADES						
Tipo	MANUAL	Nro. De marchas	5 MARCHAS + 1 REVERSA			
Relación marcha directa	N/A	Neumáticos (dimensiones)	265/60 R18			
<small>**Opcional en RTV</small>						
Hora de inicio	11 h 40 min	Hora final	12 h 00	Serie equipo	8690/534093	
Temperatura ambiente °C	22	Humedad Relativa (%)	51	Presión Atmosférica (hPa)	732	
RESULTADOS DEL OPACÍMETRO						
Parámetros	PRUEBAS DE OPACIDAD ESTÁTICA NTE INEN 2207					
	RPM	Opacidad 1 [%]	Opacidad 2 [%]	Opacidad 3 [%]	Promedio Parcial [%]	Desviación máxima [%]
PRUEBA 1	ACELERACIÓN LIBRE	9	8	8	8,33	1
PRUEBA 2	ACELERACIÓN LIBRE	8	10	8	8,67	2
PRUEBA 3	ACELERACIÓN LIBRE	8	8	9	8,33	1
VALOR PROMEDIO					8	
OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante						
Técnico No 1			Técnico No 2			
Firma Responsables:		Firmado electrónicamente por: FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO		Firma Responsable de Unidad:		Firmado electrónicamente por: DIEGO LUIS LINCANGO
Nombres:	Fabián Iza			Nombre:	Ing. Diego Lincango	
<small>Formato de registro primario para prueba de emisiones de gases estáticas en fuentes móviles ciclo Diesel / Los resultados apl ican únicamente al ítem evaluado</small>						

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES ESTATICOS DIESEL

CODIGO: CCICEV-04-00-03-OED	Revisión 3	N°	CCICEV-04-00-03-2022-OED - 020 - P5
	Página 1 / 1	FECHA:	17 de agosto de 2021
TÉCNICOS RESPONSABLES		Fabián Iza	
OBJETIVO DE LA EVALUACION		TIPO DE EVALUACION	
Evaluación Inicial <input type="checkbox"/>	Evaluación Regular <input type="checkbox"/>	Prechequeo RTV* <input type="checkbox"/>	
Reevaluación <input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación RTV*4ta rev <input type="checkbox"/>	Evaluación Tesis <input checked="" type="checkbox"/>	
No. Visita <input type="text" value="5"/>	Otros <input type="checkbox"/>		

*RTV: Revisión Técnica Vehicular ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV

DATOS GENERALES DEL VEHICULO

Marca	CHEVROLET	VIN Chasis / Placa:	8LBETF3P3L0002483 / PDN6410
Modelo:	D-MAX CRDI 2.5 CD 4X2 TM DIESEL	Versión	N/D
Fabricante	GENERAL MOTORS	Kilometraje:	83390

MOTOR (Datos del fabricante)**

Marca motor	N/D	Modelo/Tipo	N/D
Posición de motor	DELANTERO LONGITUDINAL	No. Motor	4JK1UE0952
No. de cilindros y disposición	4 CILINDROS EN LÍNEA	Cilindrada [cm3]	2499
Maxima Potencia (kw/rpm)	N/D	Máximo Torque (Nm/rpm)	320 Nm @ 1800 RPM
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	TURBOCARGADO
Combustible / Fuente de energía	BIODIESEL B15	Tipo (NTE INEN 2656)	CAMIONETA DE DOBLE CABINA
Subcategoría (NTE INEN 2656)	N_1	Año modelo vehículo	2020
Tonelaje (t)	2,85	País de origen	ECUADOR

TRANSMISIÓN /CAMBIO DE VELOCIDADES

Tipo	MANUAL	Nro. De marchas	5 MARCHAS + 1 REVERSA
Relación marcha directa	N/A	Neumáticos (dimensiones)	225/70 R15

**Opcional en RTV

Hora de inicio	14 h 00	Hora final	14 h 20 min	Serie equipo	8690/534093	
Temperatura ambiente °C	20	Humedad Relativa (%)	56	Presión Atmosférica (hPa)	732	
RESULTADOS DEL OPACÍMETRO						
Parámetros	PRUEBAS DE OPACIDAD ESTÁTICA NTE INEN 2207					
	RPM	Opacidad 1 [%]	Opacidad 2 [%]	Opacidad 3 [%]	Promedio Parcial [%]	Desviación máxima [%]
PRUEBA 1	ACELERACIÓN LIBRE	9	9	9	9,00	0
PRUEBA 2	ACELERACIÓN LIBRE	8	8	10	8,67	2
PRUEBA 3	ACELERACIÓN LIBRE	12	10	8	10,00	4
VALOR PROMEDIO					9	

OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante

Firma Responsables:  Técnico No 1
Firmado electrónicamente por:
FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO

Nombres: Fabián Iza

Técnico No 2

Firma Responsable de Unidad:  Firmado electrónicamente por:
DIEGO LUIS LINCANGO

Nombre: Ing. Diego Lincango

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES ESTATICOS DIESEL

CODIGO: CCICEV-04-00-03-OED	Revisión 3	N°	CCICEV-04-00-03-2021-OED - 022 - P5
	Página 1 / 1	FECHA:	19 de agosto de 2021

TÉCNICOS RESPONSABLES	Fabián Iza
-----------------------	------------

OBJETIVO DE LA EVALUACION	TIPO DE EVALUACION		
Evaluación Inicial <input type="checkbox"/>	Evaluación Regular <input type="checkbox"/>	Prechequeo RTV* <input type="checkbox"/>	
Reevaluación <input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación RTV*4 ^{ta} rev <input type="checkbox"/>	Evaluación Tesis <input checked="" type="checkbox"/>	
No. Visita <input type="text" value="5"/>	Otros <input type="checkbox"/>		

*RTV: Revisión Técnica Vehicular ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV

DATOS GENERALES DEL VEHICULO

Marca	VOLKSWAGEN	VIN Chasis / Placa:	WV1ZZZ2HZB8010521
Modelo:	AMAROK COMFORLINE 2.0 CD 4X2 TM	Versión	N/D
Fabricante	N/D	Kilometraje:	152899

MOTOR (Datos del fabricante)**

Marca motor	N/D	Modelo/Tipo	N/D
Posición de motor	DELANTERO LONGITUDINAL	No. Motor	CDC013320
No. de cilindros y disposición	4 CILINDROS EN LÍNEA	Cilindrada [cm3]	1968
Maxima Potencia (kw/rpm)	134 Kw @ 4000 RPM	Máximo Torque (Nm/rpm)	400 Nm @ 2250 RPM
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	TURBOCARGADO
Combustible / Fuente de energía	BIODIESEL B15	Tipo (NTE INEN 2656)	CAMIONETA DE DOBLE CABINA
Subcategoría (NTE INEN 2656)	N_1	Año modelo vehículo	2017
Tonelaje (t)	2,8	País de origen	ECUADOR

TRANSMISIÓN /CAMBIO DE VELOCIDADES

Tipo	MANUAL	Nro. De marchas	6 MARCHAS + 1 REVERSA
Relación marcha directa	N/A	Neumáticos (dimensiones)	245/65 R17

**Opcional en RTV

Hora de inicio	14 h 00 min	Hora final	14 h 20 min	Serie equipo	8690/534093
Temperatura ambiente °C	22	Humedad Relativa (%)	51,9	Presión Atmosférica (hPa)	732

RESULTADOS DEL OPACÍMETRO

Parámetros	PRUEBAS DE OPACIDAD ESTÁTICA NTE INEN 2207					
	RPM	Opacidad 1 [%]	Opacidad 2 [%]	Opacidad 3 [%]	Promedio Parcial [%]	Desviación máxima [%]
PRUEBA 1	ACELERACIÓN LIBRE	9	9	9	9,00	0
PRUEBA 2	ACELERACIÓN LIBRE	8	8	10	8,67	2
PRUEBA 3	ACELERACIÓN LIBRE	12	10	8	10,00	4
VALOR PROMEDIO					9	

OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante

Firma Responsables:	 Técnico No 1 Firmado electrónicamente por: FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO	Técnico No 2	Firma Responsable de Unidad:	 Firmado electrónicamente por: DIEGO LUIS LINCANGO
Nombres:	Fabián Iza		Nombre :	Ing. DiegoLincango

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES ESTATICOS DIESEL

CODIGO: CCICEV-04-00-03-OED	Revisión 3	N°	CCICEV-04-00-03-2021-OED – 023 – P5
	Página 1 / 1	FECHA:	20 de agosto de 2021
TÉCNICOS RESPONSABLES		Fabián Iza	
OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN		TIPO DE EVALUACIÓN	
Evaluación Inicial <input type="checkbox"/>	Evaluación Regular <input type="checkbox"/>	Prechequeo RTV* <input type="checkbox"/>	
Reevaluación <input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación RTV*4 ^{ta} rev <input type="checkbox"/>	Evaluación Tesis <input checked="" type="checkbox"/>	
No. Visita <input type="text" value="5"/>	Otros <input type="checkbox"/>		

* RTV: Revisión Técnica Vehicular ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO

Marca	MAZDA	VIN Chasis / Placa:	8LFUNY0QRBM001512
Modelo:	BT-50 CD 4X4 STD CRDi 2.5	Versión	N/D
Fabricante	CORPORACION MARESA	Kilometraje:	167470

MOTOR (Datos del fabricante)**

Marca motor	N/D	Modelo/Tipo	N/D
Posición de motor	DELANTERO LONGITUDINAL	No. Motor	WLAT1177477
No. de cilindros y disposición	4 CILINDROS EN LÍNEA	Cilindrada [cm3]	2500
Maxima Potencia (kw/rpm)	105 Kw @ 3500 RPM	Máximo Torque (Nm/rpm)	330 Nm @ 1800 RPM
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	TURBOCARGADO
Combustible / Fuente de energía	BIODIESEL B15	Tipo (NTE INEN 2656)	CAMIONETA DE DOBLE CABINA
Subcategoría (NTE INEN 2656)	N_1	Año modelo vehículo	2017
Tonelaje (t)	2,8	País de origen	ECUADOR

TRANSMISIÓN /CAMBIO DE VELOCIDADES

Tipo	MANUAL	Nro. De marchas	5 MARCHAS + 1 REVERSA
Relación marcha directa	N/A	Neumáticos (dimensiones)	255/70 R16

**Opcional en RTV

Hora de inicio	12 h 20 min	Hora final	12 h 40 min	Serie equipo	8690/534093	
Temperatura ambiente °C	21	Humedad Relativa (%)	55,2	Presión Atmosférica (hPa)	732	
RESULTADOS DEL OPACÍMETRO						
Parámetros	PRUEBAS DE OPACIDAD ESTÁTICA NTE INEN 2207					
	RPM	Opacidad 1 [%]	Opacidad 2 [%]	Opacidad 3 [%]	Promedio Parcial [%]	Desviación máxima [%]
PRUEBA 1	ACELERACIÓN LIBRE	15	16	15	15,33	1
PRUEBA 2	ACELERACIÓN LIBRE	17	15	15	15,67	2
PRUEBA 3	ACELERACIÓN LIBRE	14	16	17	15,67	3
VALOR PROMEDIO					16	

OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante

Firma Responsables:		Técnico No 1 Firmado electrónicamente por: FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO	Técnico No 2	Firma Responsable de:		Firmado electrónicamente por: DIEGO LUIS LINCANGO
Nombres:	Fabián Iza			Nombre :	Ing. Diego Lincango	