

Análisis de biodiésel a base de aceite de fuente vegetal

Edwin Roberto Castro Quilumba

Universidad Particular Internacional SEK

Nota del autor

Edwin Roberto Castro Quilumba, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Particular internacional SEK

Director Ing. Juan Carlos Rocha, M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:  
[ecabascango.mec@uisek.edu.ec](mailto:ecabascango.mec@uisek.edu.ec)

## **DECLARACIÓN JURAMENTADA**

Yo, Edwin Roberto Castro Quilumba, con cédula de identidad 171613164-2, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

EDWIN ROBERTO CASTRO QUILUMBA  
C.I.: 171613164-2

## **DEDICATORIA**

Deseo dedicar este trabajo a mis padres en especial a mi padre Manuel que siempre estuvo ahí otorgándome sabiduría y compañía en el transcurso de toda la carrera estudiantil y en general del transcurso de mí vida y por estar presentes para verme cumplir este logro tan anhelado.

Por otra parte, le dedico a Sandra por el apoyo incondicional durante todo este tiempo, por el esfuerzo puesto en mí para que logre terminar mi meta, solo me queda agradecerte por tanto amor y apoyo incondicional para mí.

A mis hermanos les dedico este trabajo, deseando que no complementemos para lograr así una meta en común.

“La vida es dura y nada fácil hay saber levantarse y seguir lo dice mi padre”

## **AGRADECIMIENTO**

A mi padre, quien me ha concedido algo que para mí es más importante que es enseñarme a trabajar junto a él, con caídas y tropiezos, fortaleza que me ha servido y servirá en cada momento de mi vida.

A mi esposa Sandra que hizo posible la culminación de esta etapa importante de mi vida y de muchas etapas vividas.

A nuestros profesores que compartieron sus experiencias de la mejor manera, con dedicación y responsabilidad, de quienes llevamos los más grandes recuerdos.

¡Gracias totales!

**ÍNDICE**

PORTADA.....	1
DECLARACIÓN JURAMENTADA .....	2
ÍNDICE .....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS. ....	8
LISTA DE ECUACIONES.....	10
LISTA DE ANEXOS .....	11
RESUMEN.....	11
ABSTRACT .....	12
INTRODUCCIÓN. ....	13
Antecedentes .....	14
Planteamiento del problema.....	15
Justificación.....	16
Estudio del arte.....	17
Biodiésel naturaleza.....	17
Motor térmico de encendido por compresión.....	18
Composición y propiedades.....	20
Prestaciones.....	28
Emisiones del diésel y biodiésel.....	30
Rutas o ciclos de prueba.....	32
Opacímetro Automotriz.....	33
Dinamómetro .....	34
Resumen de experiencia.....	35
MÉTODO.....	39
Caracterización del biodiésel.....	39
Caracterización del diésel/biodiésel 10%.....	40
Caracterización de mezcla biodiésel/diésel 20%.....	41
Preparación de mezclas biodiésel/ diésel.....	41
Cantidad de las mezclas .....	44
Cálculo matemático para combustible B10 .....	44
Cálculo matemático para combustible B20 .....	45
Color de las mezclas de combustible.....	46
Equipo a utilizarse para las pruebas.....	46
Vehículos a emplearse en las pruebas.....	47
Dinamómetro .....	47
Analizador de opacidad.....	49
Desarrollo para ejecución de pruebas.....	50
Preparación del vehículo.....	51
Purga del sistema de combustible.....	54
Pruebas en el dinamómetro.....	54
Captura de datos.....	55
Pruebas en el opacímetro.....	56
Método estadístico.....	58
Resultados .....	60
Resultados de torque y potencia.....	60

Resultados de potencia.....	60
Resultados de torque.....	66
Resultados de opacidad.....	72
Resultados de opacidad para vehículo Mazda.....	72
Resultados de opacidad para vehículo Great Wall.....	73
Análisis y discusión de resultados.....	73
Análisis de Potencia.....	74
Análisis estadístico de Potencia de los vehículos V1 y V2.....	77
Análisis de Torque.....	79
Análisis estadístico de Torque de los vehículos V1 y V2.....	83
Discusión de potencia y torque.....	85
Análisis de opacidad.....	86
Análisis de opacidad del vehículo Great Wall.....	87
Análisis estadístico de Opacidad de los vehículos V1 y V2.....	88
Discusión de opacidad.....	90
Conclusiones.....	92
Recomendaciones.....	94
Bibliografía.....	95
ANEXOS.....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Obtención de biodiésel con aceite vegetal.....	18
Figura 2. Ciclo de trabajo de un motor diésel de cuatro tiempos (Motto, 2006). .....	19
Figura 3. (Reyes G., 2016) Gráfico de potencia y torque. ....	36
Figura 4. (Reyes G., 2016) Gráfico de opacidad estática.....	38
Figura 5. Flujograma del Método. ....	39
Figura 6. Probeta de 500ml. ....	42
Figura 7. Probeta de 100ml. ....	42
Figura 8. Peso de 500ml de diésel.....	42
Figura 9. Peso de 500ml de diésel.....	43
Figura 10. Mezcla 10.000ml .....	46
Figura 11. Color de mezclas B20 y B10 .....	46
Figura 12. Diagrama de conexiones de líneas de combustible .....	51
Figura 13. Sistema de cambio de combustibles en las pruebas.....	52
Figura 14. Acople de presión asociado al turbo del vehículo. ....	52
Figura 15. Ventilación del vehículo en las pruebas. ....	53
Figura 16. Datos característicos del vehículo. ....	53
Figura 17. Vehículo en el dinamómetro.....	55
Figura 18. Opacímetro MAHA .....	56
Figura 19. Terminal de mano del opacímetro. ....	57
Figura 20. Sonda landa conectada al tubo de escape. ....	57
Figura 21. Vehículo en pruebas de opacidad. ....	58
Figura 22. Gráfica de potencia de 3 pruebas realizadas con diésel 100% en el vehículo Mazda. ....	61
Figura 23. Gráfica de potencia de 3 pruebas realizadas con diésel 100% en el vehículo Great Wall.....	62
Figura 24. Gráfica de potencia de 3 pruebas realizadas con B10 en el vehículo Mazda. ....	62
Figura 25. Gráfica de potencia de 3 pruebas realizadas con B10 en el vehículo Great Wall. ....	63
Figura 26. Gráfica de potencia de 3 pruebas realizadas con B20 en el vehículo Mazda. ....	64
Figura 27. Gráfica de potencia de 3 pruebas realizadas con B20 en el vehículo Great Wall. ....	65
Figura 28. Gráfica de torque de 3 pruebas realizadas con diésel 100% en el vehículo Mazda.....	66
Figura 29. Gráfica de torque de 2 pruebas realizadas con diésel 100% en el vehículo Great Wall.....	67
Figura 30. Gráfica de torque de 3 pruebas realizadas con B10 en el vehículo Mazda.....	68
Figura 31. Gráfica de torque de 3 pruebas realizadas con B10 en el vehículo Great Wall.....	69
Figura 32. Gráfica de torque de 3 pruebas realizadas con B20 en el vehículo Mazda.....	70
Figura 33. Gráfica de torque de 3 pruebas realizadas con B20 en el vehículo Great Wall.....	71
Figura 34. Gráficas de opacidad de 6 pruebas realizadas con cada combustible en el vehículo Mazda.....	72
Figura 35. Gráficas de opacidad de 6 pruebas realizadas con cada combustible en el vehículo Great Wall. ....	73
Figura 36. Gráficas de Potencia con los 3 combustibles empleados en el vehículo Mazda. ....	74
Figura 37. Potencias promedio a 4300 rpm para vehículo Mazda. ....	75
Figura 38. Gráficas de Potencia con los 3 combustibles empleados en el vehículo Great Wall.....	76
Figura 39. Potencias promedio a 2700 rpm para vehículo Great Wall. ....	77
Figura 40. Gráfica de caja y bigotes para la potencia .....	79
Figura 41. Gráficas de Torque con los 3 combustibles empleados en el vehículo Mazda.....	80
Figura 42. Potencias promedio a 3400 rpm para vehículo Mazda. ....	81
Figura 43. Gráficas de Torque con los 3 combustibles empleados en el vehículo Great Wall.....	82
Figura 44. Torque promedio a 2400 rpm para vehículo Great Wall.....	83
Figura 45. Gráfica de caja y bigotes para el torque.....	85
Figura 46. % promedio de opacidad para vehículo Mazda. ....	87
Figura 47. % promedio de opacidad para vehículo Great Wall. ....	87
Figura 48. Opacidad comparada con norma INEN.....	88
Figura 49. Gráfica de caja y bigotes para la opacidad .....	90

**ÍNDICE DE TABLAS.**

Tabla 1 Densidad en las normas de combustible diésel.....	21
Tabla 2 Módulo de elasticidad y velocidad del sonido de varios combustibles, a presión atmosférica y temperatura de 40°C .....	22
Tabla 3 Viscosidad cinemática (a 40°C) en las normas de combustibles diésel.....	24
Tabla 4 Diámetro de huella en el ensayo HFRR, a 60°C.....	24
Tabla 5 Límites de la curva de deslizamiento de diésel y biodiésel en las normativas.....	25
Tabla 6 Límites del número de cetano en las normas de calidad diésel y biodiésel. ....	26
Tabla 7 Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) * a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos) .....	30
Tabla 8 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) * a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos).....	31
Tabla 9 Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba de aceleración libre).....	31
Tabla 10 Ejemplos de rutas con su descripción. ....	32
Tabla 11 Caracterización del biocombustible B100 .....	40
Tabla 12. Caracterización de mezcla diésel/biodiésel 10% .....	41
Tabla 13. Caracterización de mezcla diésel/biodiésel 20% .....	41
Tabla 14 Densidad de diésel y biodiésel.....	44
Tabla 17 Ficha técnica del Mazda BT-50 Doble Cabina 2.5L 4x4 Di 2015.....	47
Tabla 18 Especificaciones técnicas Wingle 5 Cabina Doble Diésel.....	47
Tabla 19 Especificaciones técnicas del dinamómetro usado para las pruebas de potencia y toque.....	48
Tabla 20 Ficha técnica del opacímetro utilizado para las pruebas del combustible.....	49
Tabla 21 Estructura y etiquetas para el ingreso de datos en el programa STARGRAPHICS .....	59
Tabla 22 Resultados de las pruebas de potencia en vehículo Mazda, con combustible diésel 100% .....	60
Tabla 23 Resultados de las pruebas de potencia en vehículo Great Wall, con combustible diésel 100% ..	61
Tabla 24 Resultados de las pruebas de potencia en vehículo Mazda, con combustible B10.....	63
Tabla 25 Resultados de las pruebas de potencia en vehículo Great Wall, con combustible B10. ....	63
Tabla 26 Resultados de las pruebas de potencia en vehículo Mazda, con combustible B20.....	64
Tabla 27 Resultados de las pruebas de potencia en vehículo Great Wall, con combustible B20. ....	65
Tabla 28 Resultados de las pruebas de torque en vehículo Mazda, con combustible diésel 100% .....	67
Tabla 29 Resultados de las pruebas de torque en vehículo Great Wall, con combustible diésel 100% ....	67
Tabla 30 Resultados de las pruebas de torque en vehículo Mazda, con combustible B10. ....	68
Tabla 31 Resultados de las pruebas de torque en vehículo Great Wall, con combustible B10. ....	69
Tabla 32 Resultados de las pruebas de torque en vehículo Mazda, con combustible B20. ....	70
Tabla 33 Resultados de las pruebas de torque en vehículo Great Wall, con combustible B20. ....	71
Tabla 34 Opacidad de vehículo Mazda empleando diésel 100%, B10 y B20. ....	72
Tabla 35 Opacidad de vehículo Great Wall empleando diésel 100%, B10 y B20.....	73
Tabla 36 Potencia promedio a 4300rpm para cada combustible del vehículo Mazda. ....	75
Tabla 37 Potencia promedio a 2700rpm para cada combustible del vehículo Great Wall. ....	76
Tabla 38 Resultados de los estadígrafos de posición.....	77
Tabla 39 Comparación de las diferencias entre grupos experimentados (potencia) .....	78
Tabla 40 Comparación de las diferencias entre grupos experimentales (potencia) .....	78
Tabla 41 Torque promedio a 3400rpm para cada combustible del vehículo Mazda. ....	80
Tabla 42 Torque promedio a 2400rpm para cada combustible del vehículo Great Wall.....	82
Tabla 43 Resultados de los estadígrafos de posición.....	83
Tabla 44 Comparación de las diferencias entre grupos experimentados de Torque.....	84
Tabla 45 Comparación de las diferencias entre grupos experimentados (Torque) .....	84
Tabla 46 Resultado de los estadígrafos de posición (opacidad) .....	88
Tabla 47 Comparación de las diferencias entre grupos experimentados (opacidad) .....	89
Tabla 48 Comparación de las diferencias entre grupos experimentados (opacidad) .....	89

**LISTA DE ECUACIONES**

Ecuación 1. Potencia.....	28
Ecuación 2. Torque .....	35
Ecuación 3. Ecuación de densidad.....	43

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Prueba de Torque con diésel 100% en camioneta Mazda .....	98
Anexo B Prueba de Torque con B10 en camioneta Mazda .....	99
Anexo C Prueba de Torque con B20 en camioneta Mazda .....	100
Anexo D Prueba de Torque con Diésel 100% en camioneta Great Wall.....	101
Anexo E Prueba de Torque con B10 en camioneta Great Wall.....	102
Anexo F Prueba de Torque con B20 en camioneta Great Wall.....	103
Anexo G Prueba de Potencia con Diésel 100% en camioneta Mazda.....	104
Anexo H Prueba de Potencia con B10 en camioneta Mazda.....	105
Anexo I Prueba de Potencia con B20 en camioneta Mazda.....	106
Anexo J Prueba de Potencia con Diésel 100% en camioneta Great Wall.....	107
Anexo K Prueba de Potencia con B10 en camioneta Great Wall .....	108
Anexo L Prueba de Potencia con B20 en camioneta Great Wall.....	109
Anexo M Caracterización del biodiésel .....	110
Anexo N Caracterización del diésel/biodiésel al 10% .....	111
Anexo O Caracterización del diésel/biodiésel al 20% .....	112

## RESUMEN

El trabajo de titulación logró obtener biodiésel mediante aceites vegetales reutilizados, por medio del proceso químico llamado transesterificación, con este se realizó mezclas de combustibles al 10% y al 20% de biodiésel con diésel premium ecuatoriano, este biodiésel y las mezclas fueron caracterizados mediante pruebas físicas y químicas, que determinan niveles de azufre, índice de cetano, densidad, viscosidad, punto de inflamación, entre otros, todos bajo normas INEN y ASTM que establecen las mejores muestras. Para usarlas en motores de combustión interna diésel como son el vehículo Mazda BT50 y el vehículo Great Wall Wingle5, determinando la incidencia en el rendimiento mecánico del vehículo; con pruebas de torque, potencia y opacidad, para con ellas analizar y comparar estadísticamente en función de los valores nominales de los vehículos y en base a las normas nacionales vigentes en el Ecuador. Se concluyó que la mezcla B10 es la más óptima para sustituir al diésel al 100%, obteniendo solo una reducción del 2.37% en torque y una reducción de 1.367% en potencia con respecto al diésel estos datos fueron obtenidos en el vehículo Great Wall. En cambio, en el vehículo Mazda se obtuvo una reducción de 0.94% en torque con el combustible B10 y una reducción del 1.21% en potencia con la mezcla de combustible B20. Por lo que concluye que a medida que se aumenta la concentración de biodiésel en la mezcla la eficiencia térmica disminuye, esto debido a los problemas de atomización y aumento de viscosidad y densidad del combustible, por otra parte, se concluye que los combustibles con mezclas de biodiésel si reducen la emanación de humo negro

**Palabras Claves:**

- Biodiésel
- Torque y Potencia
- Opacidad

**ABSTRACT**

The titulation work managed to obtain biodiésel using reused vegetable oils, by means of the chemical process called transesterification, with this was made blends of 10% and 20% biodiésel fuels with premium Ecuadorian diésel, this biodiésel and mixtures were characterized by tests physical and chemical, which determine levels of sulfur, cetane number, density, viscosity, flash point, among others, all under INEN and ASTM standards that establish the best samples. For use in diésel internal combustion engines such as the Mazda BT50 vehicle and the Great Wall Wingle5 vehicle, determining the impact on the mechanical performance of the vehicle; with tests of torque, power and opacity, to analyze and compare them statistically based on the nominal values of the vehicles and based on the national regulations in force in Ecuador. It was concluded that the B10 mixture is the most optimal to replace the diesel at 100%, obtaining only a reduction of 2.37% in torque and a reduction of 1.367% in power with respect to diesel these data were obtained in the Great Wall vehicle. On the other hand, the Mazda vehicle obtained a reduction of 0.94% in torque with the B10 fuel and a reduction of 1.21% in power with the B20 fuel mixture. So it concludes that as the concentration of biodiesel in the mixture increases the thermal efficiency decreases, this due to the problems of atomization and increase of viscosity and density of the fuel, on the other hand, it is concluded that the fuels with mixtures of biodiesel if they reduce the emanation of black smoke

**Key words:**

- Biodiésel
- Torque and Power
- Opacity

**INTRODUCCIÓN.**

## **Antecedentes**

El incremento en las ventas de vehículos Diésel, las preocupaciones, cada vez mayores, por los desequilibrios climáticos, el calentamiento global del planeta y los compromisos adquiridos por los países desarrollados para mejorar la seguridad del suministro energético y fomentar el uso de las energías renovables son solo algunos de los factores que convierten al biodiésel, al día de hoy, en una interesante alternativa para reemplazar parcialmente el consumo de Diésel.

La idea de utilizar productos vegetales en el corazón mismo del motor no es ninguna novedad. Solo con citar la experiencia del creador de motor de encendido por compresión, o motor diésel, el propio Rudolf Diésel, quien utilizó aceite de maní para impulsar una de sus creaciones en la exposición de Paris de 1900, nos indica, que las raíces de este asunto se remontan un centenar de años atrás (Pérez, Otero, & Delgado, 2012).

El cambio de los combustibles fósiles o tradicionales, derivados del petróleo, por otros de origen vegetal, va tomando una gran importancia en nuestros días por fundamentales razones, como el hecho de provenir de una fuente renovable, ser un instrumento de lucha contra el deterioro ambiental, además de un factor de desarrollo en la industria de derivados.

El biodiésel, ha enfocado la atención durante la última década como combustible renovable, biodegradable debido a su composición química y propiedades termodinámicas similares con el diésel de petróleo, que presenta ventajas como: mayor número de cetano, no contiene azufre y proviene de aceites vegetales la contribución de CO<sub>2</sub> a la atmósfera es mínima, sumado al hecho de que es biodegradable y no tóxico, lo anterior hace del biodiésel uno de los biocombustibles más importantes a considerar (HL Méndez, 2015).

Por otra parte, en Ecuador en el año 2013 el gobierno decretó que, para el combustible de origen fósil, el denominado diésel Premium, contenga el 5% de biodiésel y se incremente hasta lograr

alcanzar el 10%. Esto por la alta demanda de diésel debido en gran parte del sector automotriz, con el objetivo de reducir la degradación de los ecosistemas naturales. (Decreto Ejecutivo 1303, 2012)

### **Planteamiento del problema**

La investigación inicia por los antecedentes manifestados, por los altos niveles de contaminación y polución generados especialmente por el parque automotriz, el escaso aprovechamiento energético de las materias orgánicas como fuentes de energía y la producción de biocombustibles que garanticen un óptimo funcionamiento en motores de combustión interna. Al poder realizar una producción de biodiésel y utilizarlo como aditivo para los vehículos que utilizan como combustible el diésel fósil.

En la república del Ecuador los biocombustibles pueden ser fuente de energía renovable proviniendo de recursos orgánicos. El campo de la bioenergía en el país podría generar gran posibilidad de crecimiento dada la demanda interna ayudando así al cambio de la matriz productiva, generando fuentes de trabajo, así como también contribuyendo a la conservación del ambiente.

El consumo de combustibles fósiles está ligado al transporte, principalmente al transporte terrestre. Este problema con lleva a la alta contaminación del aire que afectan la salud de personas, animales y a largo plazo aumenta el calentamiento global. Ante ello es necesario optimizar la eficiencia energética en el sector de transporte.

El desarrollo sostenible del país requiere de métodos que se refieran a eficiencia energética en el sector de transportación vehicular terrestre.

Al utilizar biocombustibles se reduce la cantidad de gases contaminantes los cuales se generan a la hora de realizar la combustión. Dentro de los principales biocombustibles se encuentra el

biodiésel. Sin embargo aún existen muchos mitos acerca de la utilización de biocombustibles que provocan cierta dificultad para ser utilizados, siendo un objetivo de este trabajo de titulación es proveer de información con respecto a uno ellos: combustión de biodiésel, torque y potencia en vehículos y opacidad de los mismos; con ello poder ofrecer una alternativa e incentivar el uso de biodiésel.

### **Justificación**

El objetivo principal de este trabajo es estudiar los resultados con combustible diésel y en mezclas de diésel/biodiésel en vehículos tipo camioneta en las marcas Mazda y Great Wall, obteniendo las prestaciones de potencia y torque de estos vehículos con el uso de un dinamómetro y un opacímetro para las pruebas de opacidad, con el fin de proponer una alternativa de uso de estos combustibles

Por otra parte, se considera el análisis de la cantidad de humo negro que emana al ambiente el vehículo a tratar, utilizando como referencia la norma ecuatoriana INEN.

Las pruebas tanto de potencia, torque y opacidad con las distintas mezclas de biodiésel/diésel serán comparadas con el diésel tradicional en la ejecución de varias repeticiones en los diferentes equipos mencionados.

Se logrará desarrollar gráficas y tablas estadísticas para cada evento o ensayo realizado, con el fin de determinar diferencias o similitudes según sea el caso.

Con los datos obtenidos según las pruebas a realizar, se pretende comparar con otros trabajos o experiencias realizadas.

## **Estudio del arte**

### **Biodiésel naturaleza.**

Combustible producido a base de materiales renovables, como los aceites vegetales, aceites reusados, que pueden ser utilizados en los motores diésel. Químicamente constituyen ésteres de alquilo, de metilo y de etilo, con cadenas largas de ácidos grasos. Dichas cadenas, al estar oxigenadas, otorgan al motor una combustión más limpia.

Los biocombustibles se encuentran registrados como combustible y como aditivo en la Agencia de protección del ambiente en los estados unidos.

El éter (parecido al vinagre) puede ser producido a partir de distintas fuentes de aceite, tales como girasol, colza, soja, maní, palma y grasas animales.

Este combustible puede utilizarse puro B100, o en mezclas de diferentes concentraciones con el diésel de petróleo, la mezcla más utilizada en la actualidad es B20, es decir 20 partes de éter vegetal y 80 partes de diésel. También es utilizado como aditivo, sus concentraciones normalmente no superan el 5%

### ***Proceso de obtención.***

Esta separación necesita temperatura y un potente catalizador básico, como un hidróxido, para que la reacción sea completa. Finalmente, las cadenas esteres se convertirán en biodiésel, reteniendo moléculas de oxígeno en su constitución, lo que le otorgará interesantes propiedades en la combustión. Además, estas cadenas no contienen azufre, el cual es considerado un potente contaminante al ambiental (Stratta, 2000) .

Por otro lado, la glicerina, luego de su purificación puede ser utilizada, entre múltiples usos, en la industria farmacéutica y cosmética donde cuenta con una gran demanda. A continuación, se presenta en forma resumida un esquema de la reacción de obtención del biocombustible



- Combustión y expansión: al final de la carrera de compresión el combustible se inyecta y bajo condiciones de alta presión y temperatura el combustible se auto enciende, se produce un incremento de presión en el interior del cilindro y los gases calientes empujan al embolo desplazándolo de regreso; generando trabajo.
- Escape: finalmente se abre la válvula de escape mientras el pistón asciende y expulsa los gases quemados hacia el exterior completando así el ciclo (Eugenio C, 2016).

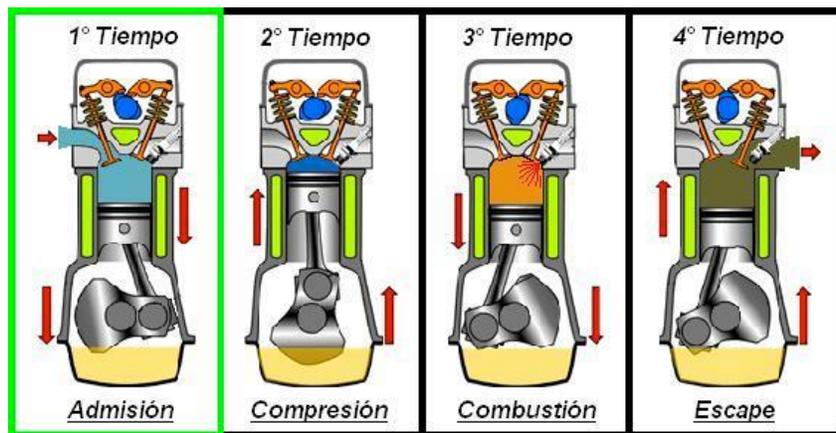


Figura 2. Ciclo de trabajo de un motor diésel de cuatro tiempos (Motto, 2006).

### Sistema common rail (CRDI)

El sistema common rail es un sistema de inyección electrónico que representa un gran avance en el desarrollo de los motores diésel, debido a que los motores diésel son usados desde autos de pasajeros hasta camiones y buses. En el sistema de common rail tiene el funcionamiento independiente de la presión y la inyección de combustible, lo que nos hace entender que la función principal de la bomba es generar la alta presión en el combustible y mantenerla en un tubo distribuidor común, para que los inyectores puedan realizar la inyección de combustible en momento preciso, este sistema de inyección es dirigido por un módulo de control electrónico y por los distintos sensores relativos implementados en el sistema (Bosch, 2005).

Trubaugh et al., (2013) pero al igual que en cualquier sistema, este también conlleva problemas, los vehículos que poseen un sistema de inyección CRDI principalmente se ven afectados en el sistema de alimentación que su afectación directa está causada por el desgaste o daño en las superficies de la aguja del inyector debido a la alta presión y temperatura que actúan, originados por depósitos orgánicos e inorgánicos y procesos de cavitación. Los principales síntomas del vehículo al tener este daño son: pérdida de potencia, alto consumo de combustible y exceso de humos negros.

Zhimin et al., (2011) dentro de las agujas de los inyectores tenemos como elementos afectados principalmente al cono y al vástago, debido a que el diesel de origen fósil lleva un porcentaje de azufre el cual provoca mayor desgaste en estas zonas de los inyectores, pero también se debe a la presión de 200 Mpa, y a la temperatura de 600°C considerados como valores máximos en la alimentación de combustible.

Hilbert et al., (2003) para la verificación de estos desgastes se utiliza las mediciones de rugosidad que está basado en las marcas o surcos dejadas por los agentes que atacan a la superficie en el proceso de mecanizado. (Citado en Mena et al., 2017).

### **Composición y propiedades.**

A continuación, se presenta y comparan las propiedades, físicas y químicas, más importantes del diésel y biodiésel desde el punto de vista de su uso como carburantes en motores diésel.

#### ***Densidad.***

Esta propiedad se emplea en el cálculo del índice de cetano, y puede afectar al desarrollo del proceso de combustión en la cámara, en la medida en que entre más o menos cantidad de combustible. La densidad es una propiedad a tener en cuenta en el transporte y almacenamiento del combustible, influye en la operación del sistema de inyección, en el proceso de atomización

del combustible (aunque en menor medida que la viscosidad) y, junto con otras propiedades físicas del combustible, en el instante de inicio de la inyección (Fernández, 2007).

(Agudelo, Benjumea, Gomez, & Perez, 2003), dice que la densidad del biodiésel está relacionada con otras propiedades del mismo (viscosidad, compresibilidad y número de cetano, entre otras) al depender todas ellas de la estructura molecular, entendiendo por esta el grado de saturación y la longitud de cadena (número de átomos de carbono). En este sentido Graboski encontraron buenos coeficientes de correlación lineal de la densidad con el número de cetano y el índice de yodo, e incluso con la emisión de NOx en un determinado motor diésel (a mayor densidad menor número de cetano y mayor índice de yodo y emisión de NOx). Por lo tanto y según estos autores, es posible emplear la densidad, propiedad cuya medida resulta fácil, rápida, precisa y poco costosa, para estimar otras propiedades.

Se contempla que las normas de calidad de combustibles diésel establecen valores límites para esta propiedad, ya que los sistemas de inyección están optimizados en un rango más o menos estrecho de densidad para mantener la dosificación de combustible una densidad demasiado baja elevaría el consumo volumétrico del combustible, perjudicando al usuario final. Por otra parte, una densidad demasiado elevada en el caso del biodiésel limitaría aún más la proporción máxima de biodiésel que puede ser mezclada con diésel para que la mezcla resultante cumpla con la norma, por lo que puede hablarse de un carácter limitante de la densidad. A continuación, se muestra estos límites en la norma europea y en la americana (Santivañez L. A., 2016).

Tabla 1  
Densidad en las normas de combustible diésel.

<b>Norma</b>	<b>País</b>	<b>Combustible</b>	<b>Dato</b>
ASTM D975	Estados Unidos	Diésel Convencional	Max. 39° API
ASTM D6751	Estados Unidos	Biodiésel	Sin limitación
EN 590	Europa	Diésel Convencional	820-845 kg/m <sup>3</sup>
EN 14214	Europa	Biodiésel	860-900 Kg/m <sup>3</sup>
NTE INEN 1489:2012	Ecuador	Diésel Premium	Sin incluir
NTE INEN 2482:2009	Ecuador	Diésel Premium	860-900 Kg/m <sup>3</sup>

***Módulo de elasticidad y velocidad del sonido.***

El módulo de elasticidad (conocido en literatura como módulo de bulk, inversa del módulo de compresibilidad), y la velocidad del sonido de un combustible son dos de los parámetros que más afectan al funcionamiento del sistema de inyección diésel, y que determinan el instante en el que se inicia la misma. Es por esto que se puede decir que cuando mayores son el módulo de elasticidad y la velocidad del sonido del combustible, antes se inicia la inyección (Agudelo J., 2005)

Tabla 2

Módulo de elasticidad y velocidad del sonido de varios combustibles, a presión atmosférica y temperatura de 40°C

<b>Combustible</b>	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	<b>Velocidad del sonido (m/s)</b>
Diésel convencional	1394.4	1298.9
Éster metílico de soja	1562.4	1342
Éster metílico de colza, bajo erúcico	1562.1	1343.4
Éster metílico de colza, alto erúcico	1417	
Éster metílico de girasol	1420	
Éster metílico de grasa animal	1515.7	1330
Éster metílico de aceite usado	1537.9	1339
Éster etílico de soja	1547.1	1340.1

Fuente: (Fernández, 2007)

***Viscosidad.***

(Fernández, 2007), dice que a viscosidad de un líquido se define como la resistencia del mismo a fluir, y en términos microscópicos se relaciona con las interacciones intermoleculares, además de la forma y tamaño de las moléculas. La viscosidad del biodiésel es superior a la del diésel convencional, pero un orden de magnitud inferior a la de su aceite origen. Esta gran diferencia entre la viscosidad del biodiésel y su aceite origen puede ser aprovechada para monitorizar el avance de la reacción de transesterificación. Debido a que los polímeros formados durante la oxidación del biodiésel incrementan la viscosidad de este, también se puede emplear como variable de control del proceso de oxidación.

Por otra parte (Santivañez L. A., 2016) comenta que la viscosidad del combustible afecta a la inyección del mismo, a la atomización, formación de chorro y tamaño de las gotas, a la operación de los componentes del sistema de inyección, tales como la propia bomba, e incluso al instante de inicio de la inyección en sistemas de inyección hidráulicos. Cuando mayor es la viscosidad del combustible, mayor es el tamaño de la gota, pero el proceso de atomización, siendo además la viscosidad el parámetro del combustible que más influye en la atomización. (Benavides, 2017). encontraron que el tamaño de gota, calculado como el diámetro medio de Sauter, es mayor en el biodiésel respecto del diésel, siendo esta variación desde el 7% en el caso del biodiésel procedente de aceites de coco hasta el 40% para el procedente de aceite de colza alto erúxico. El proceso de combustión también se ve afectado por la viscosidad del combustible, habiendo relacionado mayores viscosidades con la formación de depósitos en la cámara e incluso incrementos en las emisiones de NOx.

(Fernández, 2007) menciona que las normas europeas y americanas limitan tanto el valor superior de la viscosidad cinemática (por las razones anteriormente descritas y para facilitar el flujo de combustible a través de orificios, líneas de inyección y toberas del inyector) como el inferior (por posibles fugas de combustible en las juntas, bomba de inyección e inyectores, y por posibles pérdidas de lubricidad, si bien esta última propiedad y la viscosidad no deben ser confundidas). Además, una viscosidad demasiado elevada podría aumentar la presión de inyección y con ella el desgaste de los equipos de inyección, disminuyendo su vida útil. La Tabla 3 presenta estos límites, tanto en norma europea como americana, para diésel convencional y biodiésel.

Tabla 3

Viscosidad cinemática (a 40°C) en las normas de combustibles diésel

<b>Norma</b>	<b>País</b>	<b>Combustible</b>	<b>Dato</b>
ASTM D975	Estados Unidos	Diésel Convencional	1.9-4.1 cSt
ASTM D6751	Estados Unidos	Biodiésel	1.9-6 cSt
EN 590	Europa	Diésel Convencional	2.0-4.5 cSt
EN 14214	Europa	Biodiésel	3.5-5.0 cSt
NTE INEN 1489:2012	Ecuador	Diésel Premium	2.0-5.0 mm <sup>2</sup> /s
NTE INEN 2482:2009	Ecuador	Biodiésel	3.5-5.0 mm <sup>2</sup> /s

(Fernández, 2007) dice que para los distintos tipos de biodiésel y de ésteres metílicos puros de ácidos grasos la viscosidad aumenta con la longitud de cadena y con el grado de saturación.

### ***Lubricidad.***

(Fernández, 2007) habla que la lubricidad de un líquido se define como la capacidad del mismo para reducir la fricción entre partes sólidas en movimiento relativo unas respecto de otras. En motores diésel, un combustible con mayor lubricidad disminuye la fricción y el desgaste de las partes móviles del sistema de inyección, prolongando su vida útil. Aunque en ocasiones esta propiedad se confunde con la viscosidad, ambas son diferentes. En una afirmación recogida dice que “la capacidad lubricante de un combustible no está proporcionada por su viscosidad, sino por otros componentes que previenen el desgaste entre partes metálicas en contacto”.

Tabla 4

Diámetro de huella en el ensayo HFRR, a 60°C.

<b>Norma</b>	<b>País</b>	<b>Combustible</b>	<b>Dato</b>
ASTM D975	Estados Unidos	Diésel Convencional	Sin incluir
ASTM D6751	Estados Unidos	Biodiésel	Sin incluir
EN 590	Europa	Diésel Convencional	Max. 460 um
EN 14214	Europa	Biodiésel	Sin incluir
NTE INEN 1489:2012	Ecuador	Diésel Premium	Sin incluir
NTE INEN 2482:2009	Ecuador	Biodiésel	Sin incluir

### ***Curva de destilación.***

(Milo Carmenate, 2004) encontró que la curva de destilación a presión atmosférica de un combustible, ensayo realizado según norma ASTM D-86, es una medida de la volatilidad del

mismo. La curva de destilación influye sobre el arranque en frío, formación de depósitos y emisiones contaminantes. Por ejemplo, combustibles con temperaturas de destilación altas, como es el caso del biodiésel, son menos volátiles y necesitan mayor cantidad de energía para su completa vaporización, por lo que aumenta la SOF de las partículas. La curva de destilación de los combustibles está limitada según se indica en la Tabla 5. Un procedimiento alternativo útil para combustibles de elevado peso molecular (como el biodiésel) es la destilación a presión reducida, según ensayo ASTM D-1160, si bien se sabe que sus resultados no se pueden relacionar con los del ensayo ASTM D-86 a presión atmosférica.

Tabla 5

Límites de la curva de deslizamiento de diésel y biodiésel en las normativas.

<b>Norma</b>	<b>País</b>	<b>Combustible</b>	<b>Dato</b>
ASTM D975	Estados Unidos	Diésel Convencional	$282\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_{90} \leq 338\text{ }^{\circ}\text{C}$
ASTM D6751	Estados Unidos	Biodiésel	$T_{90} \leq 360\text{ }^{\circ}\text{C}$
EN 590	Europa	Diésel Convencional	$T_{65} \leq 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{85} \leq 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{95} \leq 360\text{ }^{\circ}\text{C}$
EN 14214	Europa	Biodiésel	Sin incluir
NTE INEN 1489:2012	Ecuador	Diésel Premium	Sin incluir
NTE INEN 2482:2009	Ecuador	Biodiésel	Sin incluir

De igual manera, (Fernández, 2007), considera que el rango de temperaturas de destilación del biodiésel es mucho más estrecho y, en promedio, mayor que el del diésel, debido, respectivamente, a la mayor homogeneidad y peso molecular del biodiésel.

### ***Poder calorífico.***

(Soledispa & Llunitasig, 2017) dice que el poder calorífico de un combustible es una medida de su contenido energético. Cuanto mayor es éste, menor es el consumo específico de combustible necesario para obtener unas condiciones determinadas de operación en el motor, y mayor es la potencia alcanzada a plena carga, El poder calorífico de los combustibles, tanto diésel como biodiésel, no está limitado en ninguna de sus normas de calidad (ni europea ni americana).

Está totalmente aceptado que el poder calorífico del biodiésel es menor que el del diésel, y que esta diferencia es del 13-14%, en base másica, aproximadamente. Varios autores apuntan que la razón de este menor poder calorífico del biodiésel radica en el contenido en oxígeno de su molécula y, por tanto, su menor contenido de carbono e hidrógeno.

### *Número de cetano.*

(Fernández, 2007) investigó que el número de cetano de un combustible mide la capacidad de autoencendido del mismo y es, por tanto, muy útil para caracterizar combustibles usados en motores diésel, donde la combustión se inicia por autoencendido del combustible. Cuanto mayor es el número de cetano, menores son el tiempo de retraso y muchas de las emisiones contaminantes, mejor es su arranque en condiciones frías y menor el ruido de la combustión. El número de cetano de diésel y biodiésel se encuentra limitado en las normas de calidad de los combustibles según Tabla 6 siendo más restrictivo en Europa que en Estados Unidos.

Tabla 6

Límites del número de cetano en las normas de calidad diésel y biodiésel.

<b>Norma</b>	<b>País</b>	<b>Combustible</b>	<b>Dato</b>
ASTM D975	Estados Unidos	Diésel Convencional	Min. 40
ASTM D6751	Estados Unidos	Biodiésel	Min. 47
EN 590	Europa	Diésel Convencional	Min. 51
EN 14214	Europa	Biodiésel	Min. 51
NTE INEN 1489:2012	Ecuador	Diésel Premium	Min. 45
NTE INEN 2482:2009	Ecuador	Biodiésel	Min. 49

### *Propiedades de flujo en frío.*

El flujo en frío de un combustible mide la tendencia del mismo a formar cristales que debido a su posterior crecimiento pueden impedir, o al menos dificultar, el paso del combustible a través del sistema de alimentación e inyección del vehículo. (Fernández, 2007) Tradicionalmente las propiedades utilizadas en mayor medida han sido el punto de niebla, punto de vertido y punto de obstrucción de filtros en frío, si bien algunos trabajos recogen una cuarta propiedad, la prueba de

flujo a baja temperatura. Todas ellas son comentadas a continuación:

- *El punto de niebla*, *PN*, es la temperatura a la que se forman los primeros cristales tras someter al combustible a un enfriamiento normalizado según ASTM D-2500. En el caso del biodiésel estos primeros cristales están mayoritariamente compuestos de éster palmítico y esteárico. Aunque el combustible se encuentre a esta temperatura en el vehículo, los cristales formados no impiden su paso a través de bombas y filtros. Por ello, si el punto de niebla se tomara como límite de operabilidad de los vehículos, sería demasiado restrictivo.
- *El punto de vertido*, *PV*, siempre menor que el *PN*, es la temperatura a la que todo el combustible adquiere un estado gelatinoso cuando se somete a un enfriamiento según la norma ASTM D-97, no vertiéndose cuando se inclina la probeta que lo contiene. A partir de esta temperatura, el combustible no puede ser bombeado. No obstante, incluso a mayores temperaturas el combustible podría obstruir los filtros del vehículo. Por ello, esta temperatura, tomada como límite de operabilidad, es poco restrictiva.
- *El punto de obstrucción de filtros en frío*, *POFF*, es la temperatura a la cual los cristales formados en el combustible causan la obstrucción de filtros, medida en un ensayo normalizado según ASTM D-6371 o *Internacional Petroleum Standard IP-309*. Esta temperatura y la obtenida por medio del *LTFT*, descrita más abajo, predicen mejor las temperaturas límite de operación de los vehículos. El *POFF* es utilizado mayormente en Europa, mientras que la temperatura obtenida a través del ensayo *LTFT* lo es en Estados Unidos.
- *La prueba de flujo a baja temperatura*, *LTFT* (del inglés *Low Temperature Flow Test*), se realiza según norma ASTM D-4539 y es muy similar en su metodología a la medida del *POFF*.

Aunque algunos autores afirman que tanto *LTFT* como *POFF* se encuentran normalmente comprendidos entre el punto de niebla y el de vertido, esto no siempre es así debido a las diferencias en los métodos de medida.

### ***Estabilidad.***

La escasa estabilidad del biodiésel en comparación con el diésel convencional es uno de los principales problemas de su uso como combustible puro o en mezclas. Aunque pocos estudios han detectado problemas en el motor como consecuencia de la inestabilidad del biodiésel (se habla de formación de depósitos en la cámara, obstrucción de filtros e inyectores, problemas en la bomba de inyección), muchos fabricantes de motores, automóviles y sistemas de inyección han manifestado su preocupación sobre las consecuencias que la inestabilidad del biodiésel puede tener en el motor durante su operación.

### **Prestaciones.**

#### ***Potencia.***

De manera general y en las condiciones de operación habituales de un vehículo, donde en contadas ocasiones se pisa el pedal del acelerador a fondo, con biodiésel es posible obtener la misma potencia que con combustible diésel convencional, con sólo aumentar el consumo de combustible lo necesario para compensar el menor poder calorífico del biodiésel.

(Santivañez L. A., 2016) La potencia efectiva observada que entrega el motor es también conocida como potencia al freno. Se midió en la salida del eje y fue absorbida por el dinamómetro. Esta depende del torque y el régimen de giro:

$$P_e = T * 2\pi * \frac{n}{60} \quad (1)$$

Donde:

$P_e$ : Potencia efectiva (kW).

$T$ : Torque al freno (N.m).

$n$ : Régimen de giro (rpm).

Consumo específico de combustible.

(Santivañez L. A., 2016) argumenta que, en un motor de combustión interna alternativo, el consumo específico de combustible se define como el gasto másico de combustible por unidad de potencia efectiva, y puede ser calculado como la inversa del producto del rendimiento efectivo y el poder calorífico inferior del combustible. A igualdad de rendimiento efectivo, y esta es una hipótesis válida entre diésel y biodiésel, si el poder calorífico del biodiésel (por unidad de masa) es 14% menor que el del diésel, entonces el consumo específico de combustible con biodiésel se incrementa, aproximadamente, en la misma proporción. En otras palabras, para obtener la misma potencia, el menor contenido energético del biodiésel debe ser compensado con un mayor consumo de combustible en el motor. Consumo específico de combustible, rendimiento y potencia están, por definición, ligados entre ellos, y por tanto se puede extraer la misma información interpretando cualquiera de ellos.

### ***Torque.***

(Pulkrabek, 2013) considera que el torque está definido por ser un indicador de precisión relacionado efectivamente con la capacidad que tiene un motor para poder realizar un trabajo. Está determinado como la fuerza que ejerce en una palanca para ocasionar un movimiento rotacional y sus unidades dentro del sistema internacional son N-m.

El torque dentro de la fórmula matemática depende de dos factores que son: la fuerza de la explosión sobre el pistón y la longitud del codo del cigüeñal, sobre quien actúa la fuerza.

### Emisiones del diésel y biodiésel.

En la última década, las investigaciones sobre contaminantes atmosféricos se han orientado a la evaluación de sus efectos sobre la salud humana y que estrategias podrían implementarse para disminuir su concentración en el ambiente. En este sentido, muchos estudios relacionan el incremento de casos de enfermedades respiratorias agudas con el aumento en la concentración de gases contaminantes como dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, monóxido de carbono CO y material particulado provenientes en gran medida de la quema de combustibles fósiles.

Según norma NTE INEN 2-207-2002 los límites de emisiones para fuentes móviles de diésel son los siguientes Tabla 7 y Tabla 8:

Tabla 7

Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) \* a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos)

<b>Categoría</b>	<b>Peso bruto del vehículo kg</b>	<b>Peso del vehículo cargado kg</b>	<b>CO g/km</b>	<b>HC g/km</b>	<b>NO<sub>x</sub> g/km</b>	<b>Partículas g/km</b>	<b>CICLOS DE PRUEBA</b>
Vehículo Liviano	Todos	Todos	2.10	0.25	0.62	0.12	FTP-75
Vehículo Mediano	≤ 3860	≤ 1700	6.2	0.5	0.75	0.16	
		>1700 ≤ 3860	6.2	0.5	1.1	0.28	
Vehículo pesado**	≤ 3860	Todos	15.5	1.3	5	0.10***	Transiente pesado

\* Pruebas realizadas a nivel del mar

\*\*en g/bHP-h (gramos/brake Horse Power-hora)

\*\*\*para buses urbanos el valor es 0.07 g/bHP-h

Nota: (INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002)

Tabla 8

Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) \* a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos).

<b>Categoría</b>	<b>Peso bruto del vehículo kg</b>	<b>Peso de referencia kg</b>	<b>CO g/Km</b>	<b>HC g/km</b>	<b>NOx g/km</b>	<b>Partículas g/km</b>	<b>CICLO DE PRUEBA</b>
M1 (1)	≤ 3500	Todos	2.72	0.97 (4)	0.14	0.14	ECE-15
M1 (2), N1		≤ 1250	2.72	0.97 (4)	0.14	0.14	+EUDC
		>1250≤ 1700	5.17	1.4 (4)	0.19		
		>1700	6.9	1.7 (4)	0.15		
N2, N3, M2, M3 (3)	>3500	Todos	4.0	1.1	7.0	0.15	ECE-49

\*Prueba realizada a nivel del mar

(1) Vehículos que transportan hasta 5 pasajeros más el conductor y con un peso bruto del vehículo menor o igual a 2.5 toneladas.

(2) Vehículos que transportan más de 5 pasajeros más el conductor o cuyo peso bruto del vehículo exceda de 2.5 toneladas.

(3) Unidades g/kWh

(4) HC+NOx

Nota: (INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002)

De la misma manera los requisitos máximos de opacidad de humos para fuentes móviles de diésel según norma NTE INEN 2-207-2002. Toda fuente móvil con motor de diésel, en condición de aceleración libre, no podrá descargar al aire humos en cantidades superiores a las indicadas en la Tabla 9.

Tabla 9

Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba de aceleración libre)

<b>Año modelo</b>	<b>% opacidad</b>
2000 y Posteriores	50
1999 y anteriores	60

Nota: (INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002)

### ***NOx (conjunto de NO y NO<sub>2</sub>)***

(Fernández, 2007) escribe que el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) pueden ser

considerados en conjunto con la denominación de NO<sub>x</sub>. Estos son contaminantes primarios en los problemas de contaminación al ambiente. El gas más emitido en cantidad es el NO, pero sufre una rápida oxidación a NO<sub>2</sub>, es por esto que este predomina en la atmósfera. Los NO<sub>x</sub> poseen una vida corta y se oxidan rápidamente a NO<sub>3</sub> - en forma de aerosol o a HNO<sub>3</sub> (ácido nítrico).

El HNO<sub>3</sub> posee una gran trascendencia en la formación del humo fotoquímico, del nitrato de peroxiacetilo (PAN) e influye directamente en las reacciones de formación y destrucción del ozono, tanto troposférico como estratosférico, así como en el fenómeno de la lluvia ácida. En concentraciones altas producen muchos daños a la salud y a las plantas y corroen tejidos y materiales diversos. Las principales actividades humanas que producen NO<sub>x</sub> son, las combustiones realizadas a altas temperaturas es decir la transportación.

### **Rutas o ciclos de prueba.**

(Milo Carmenate, 2004) dice que para lograr valorar el consumo de combustible y la contaminación al ambiente se han utilizado ampliamente diferentes ciclos de viaje. Los cuales de acuerdo al país y el propósito de los mismos, toman diferentes formas específicas, que son generalmente usadas como normas.

De acuerdo con (Bennet, 1998), un ciclo de viaje normalmente siempre usado en Europa es el ECE/EG. En Estados Unidos son usados diferentes ciclos de viaje, uno de los más usados es el FTP 75. En la tabla 10 se hace una breve comparación entre algunos de los ciclos de viaje más usados.

Tabla 10  
Ejemplos de rutas con su descripción.

<b>Ciclo</b>	<b>Long. (km)</b>	<b>Vel. Med. (Km/h)</b>	<b>Vel. Máx. (Km/h)</b>
ECE/EG Viejo	1.013	18.7	50
ECE/EG Nuevo	11	32.5	120

Ciclo japonés (frio)	1.021	30.6	60
Ciclo japonés (caliente)	4.16	22.7	70
Ciclo USA FTP 75	17.88	34.1	91.2

Encontramos que se han empleado otra diversidad de ciclos de viaje entre ellos:

BCDC Ciclo de viaje de ciudad Braunschweig.

FIGE Ciclo transiente europeo.

HDTC (EU FTP HD) Ciclo trasciende de USA para vehículos pesados.

NYCC Ciclo de viaje de la ciudad Nueva York.

NYCOMP Ciclo de viaje de Nueva York compuesto.

BP/London. Ciclo de viaje de la compañía de petróleo de Londres.

BC Ciclo de viaje de Berlín.

GEIPOT Ciclo de viaje de la compañía de planeación de Brasil.

CBDC (SAE J 1376) Ciclo de viaje para vehículos pesados de USA y Canadá.

DUBDC Ciclo urbano alemán para ómnibus.

De Lijn Ciclo de viaje de ciudad de Bélgica.

### **Opacímetro Automotriz.**

(Soledispa & Llunitasig, 2017) considera que un opacímetro aprecia el nivel de opacidad del humo expulsado por los motores de compresión diésel. Este instrumento permite mediciones estabilizadas y en aceleración. En un ensayo de aceleración, el instrumento registra las revoluciones del motor, los valores punta del nivel de humo y el tiempo de aceleración.

(Morones A. , 2016) menciona que el método para medir los niveles máximos permisibles de opacidad proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación, que usan diésel como combustible, es el de la aceleración libre, consistente en una prueba estática del vehículo acelerando el motor, desde su régimen de velocidad de marcha lenta hasta su velocidad

máxima sin carga. La medición de las emisiones de humo se realizará durante el periodo de aceleración del motor.

### **Dinamómetro**

(Robles, 2016) verificó que un dinamómetro automotriz es un instrumento de comprobaciones, proyectado para realizar pruebas en vehículos con el objetivo de tasar y analizar datos de rendimiento como potencia y torque, ayudando en el mantenimiento y preparación de motores. El dinamómetro provoca un ambiente controlado y seguro para la utilización del vehículo tanto como en carreteras o en competencias. En este equipo de diagnóstico será posible verificar las condiciones de vehículos antes y después de cualquier alteración, demostrando con fidelidad cuales son los resultados si su rendimiento aumenta o disminuye.

Este equipo está compuesto de un mecanismo como un generador o un freno hidráulico, de manera que esto permite aplicar las cargas del motor. Ya con este equipo se puede medir la potencia que el motor puede desarrollar dentro de diferentes ambientes de funcionamiento.

Estos equipos son constantemente usados para las pruebas con autos y ensayos de motores. O sino también existen dinamómetros que se utilizan en talleres particulares o autorizados, para motores que están montados en sus vehículos. De esta forma clasificamos los tipos de dinamómetros que existen.

Existen dos tipos de dinamómetros que nos permiten realizar análisis del comportamiento de un motor a combustión interna de un vehículo liviano o pesado, de los cuales son: dinamómetro de motor y dinamómetro de chasis.

Para el objeto de la investigación se utiliza un dinamómetro tipo chasis, el cual es un equipo donde se coloca el vehículo con sus ruedas de tracción sobre rodillos, y se acelera el motor totalmente en una determinada velocidad, así obteniendo el torque y la potencia que el motor

entrega. Este equipo mediante su software e interfaz, genera una gráfica de la potencia y torque del motor en función de sus rpm o su velocidad de giro.

De la misma manera que los dinamómetros de motor este equipo se utilizó para métodos investigativos y/o desarrollo.

(Morones A. R., 2016) dice que el principio de operación es sencillo. Si se conoce el momento de inercia y se mide la aceleración angular, es fácil conocer el par.

$$\tau = I\alpha \quad (2)$$

Donde:

$\tau$ = Par en Nm.

$I$ = Momento de inercia.

$\alpha$ = Aceleración angular.

Por lo tanto, para que el dinamómetro inercial pueda medir el par, la masa debe estar acelerándose. También implica que la naturaleza de operación del dinamómetro de chasis inercial imposibilita las pruebas de velocidad constante.

### **Resumen de experiencia.**

Según (Reyes G., 2016) la potencia utilizando combustible ecuatoriano posee la mejor potencia, seguido por el diésel colombiano, mientras que en los biocombustibles el B10 posee el menor valor y el B5 fue el de mayor valor.

De la misma manera en la figura 3 se representa que el par motor más alto esta dado en el combustible ecuatoriano, mientras que el biodiésel B5 mostró el valor más alto seguido por el B30, y el B10 obtuvo el valor más bajo entre los biocombustibles.

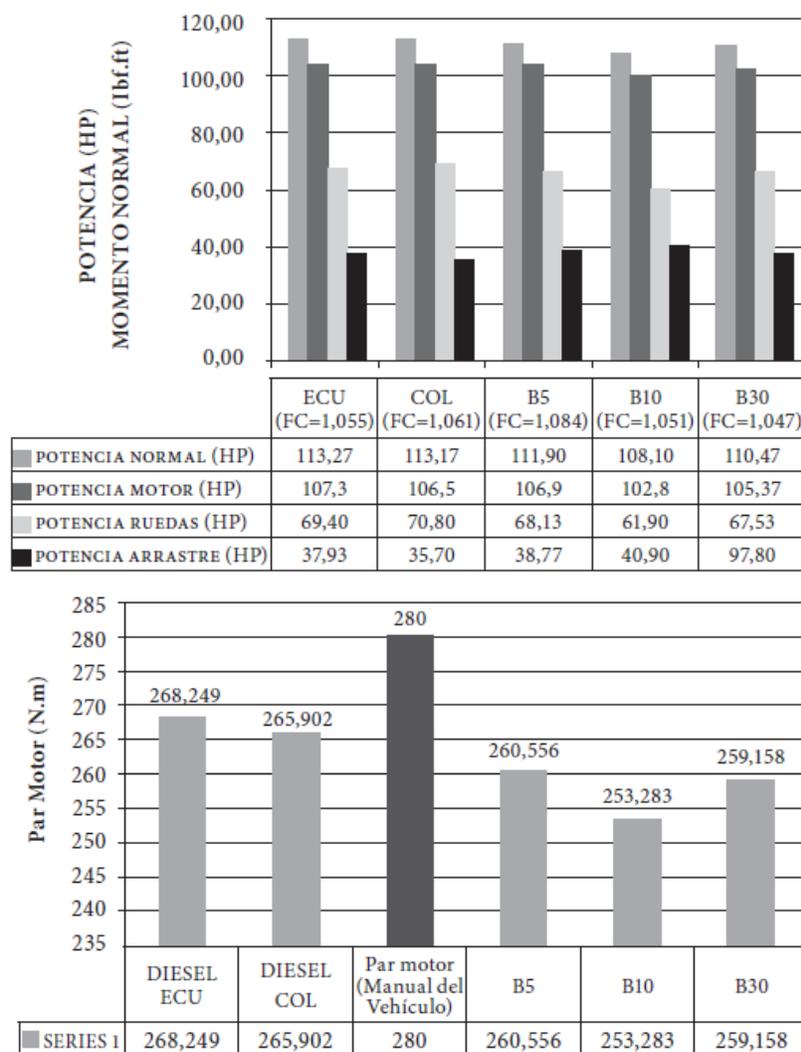


Figura 3. (Reyes G., 2016) Gráfico de potencia y torque.

(Hernandez J., 2014), comenta que monitoreo el rendimiento del vehículo el cual se redujo en un 11.82% al utilizar biodiésel B100. Esto se debió a que el biodiésel tiene un poder calorífico menor al diésel lo cual provocó que se incremente su consumo.

(Aguilar, 2016), muestra en promedio un aumento en el torque de 12.7, 22.4 y 6.4% utilizando las mezclas B5, B10 y B20 respectivamente, en comparación con diésel; de la misma manera menciona que la potencia del motor se incrementa en un 14.5% en la mezcla B10 logra el mejor desempeño mecánico.

(Agudelo J., 2005), dice que el rendimiento no sufrió cambios estadísticamente significativos con lo cual se comprobó que la relación energía suministrada o energía obtenida en el cigüeñal se mantuvo estable independientemente de la mezcla de combustibles.

(Soledispa & Llumitasig, 2017), sostiene que con la muestra B40 se tiene un mayor desempeño en torque y potencia con relación al resto de muestras teniendo un incremento de 5.42% en torque.

(Villacis Y., 2016), logró evidenciar con el biocombustible B5 que se presenta un buen desempeño de potencia con un aumento de 4.14% con respecto al diésel, en cuanto a torque se puede observar una disminución en porcentaje de 1.98% en relación al torque con diésel 100%.

(Altamar., 2014), concluye que con la mezcla CPB10 la opacidad se reduce por un 20.50%, al cual es consistente con la mayor eficiencia térmica y una combustión completa.

(Soledispa & Llumitasig, 2017), menciona que con el uso de biodiésel producido de sebo de res ha conseguido disminuir hasta un 62% los niveles de opacidad.

(Aguilar, 2016), con respecto a opacidad dice que disminuye la misma con las mezclas B5 y B10 en 9.8% y 11.5% respectivamente en relación con diésel, sin embargo, la mezcla B20 registro un aumento promedio del 2.2%.

(Mafla, Benavides, & Hernández, 2017), al término de las pruebas de opacidad concluye que el diésel fósil posee un 11.1% de opacidad mientras que con biodiésel B15 es de 0.386% obteniendo una reducción de 96% de opacidad, con respecto a diésel fósil, esto se debe al aumento de la temperatura en la cámara de combustión y a la mejor oxidación de la mezcla.

(Benjumea, 2004), obtuvo que la opacidad de humos para diésel común es 28%, lo cual está dentro de la norma técnica colombiana, la opacidad se redujo drásticamente 90% en promedio al utilizar las mezclas biodiésel/diésel en cualquier proporción.

(Villacis Y., 2016), dice que los valores de opacidad con el uso de biodiésel son menores a diferencia del uso del diésel.

(Reyes G., 2016) En la figura 4 se observa que existe un pico en el valor de opacidad del diésel ecuatoriano y el valor más bajo estuvo dado en el biodiésel B10; el B30 registro el valor más alto entre los biocombustibles, pero estos valores están por debajo de lo que indica la norma INEN.

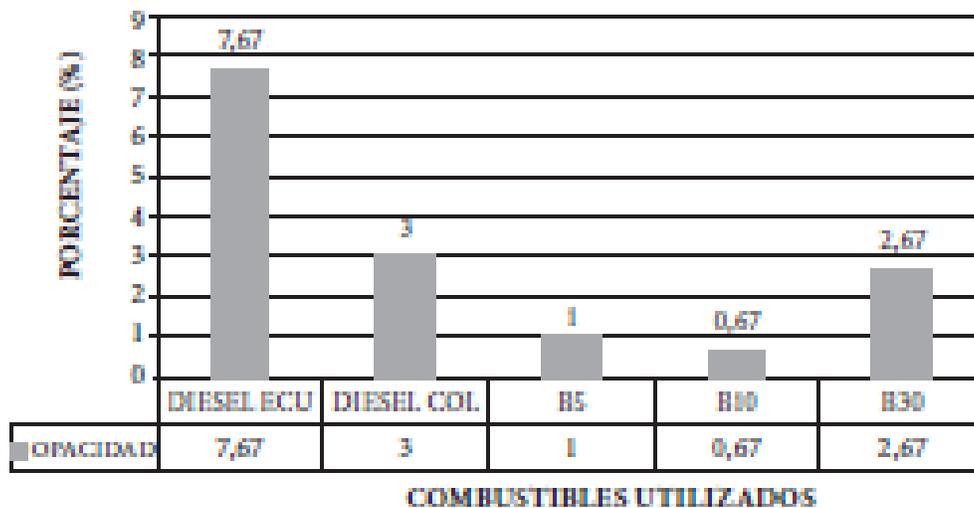


Figura 4. (Reyes G., 2016) Gráfico de opacidad estática.

(Benavides, 2017), concluyó que se ha notado la reducción de 60% en la opacidad de motores diésel con el uso de biodiésel a partir de aceite de higuera en relación al diésel fósil.

## MÉTODO

En esta parte del documento se detalla tanto la manera tecnológica como técnica, que es utilizada para la investigación, los pasos previos y posteriores para las pruebas de desempeño de los vehículos tanto de torque, potencia y opacidad con las diferentes mezclas de biodiésel/diésel. Sus porcentajes están representados de la siguiente manera: B10 (Biodiésel 10%-diésel 90%) y B20 (Biodiésel 20%-diésel 80%) todas las pruebas serán comparadas con diésel tradicional ecuatoriano. En la figura 5, se detalla con ayuda de un flujograma la manera en que se realizó las pruebas en los vehículos.

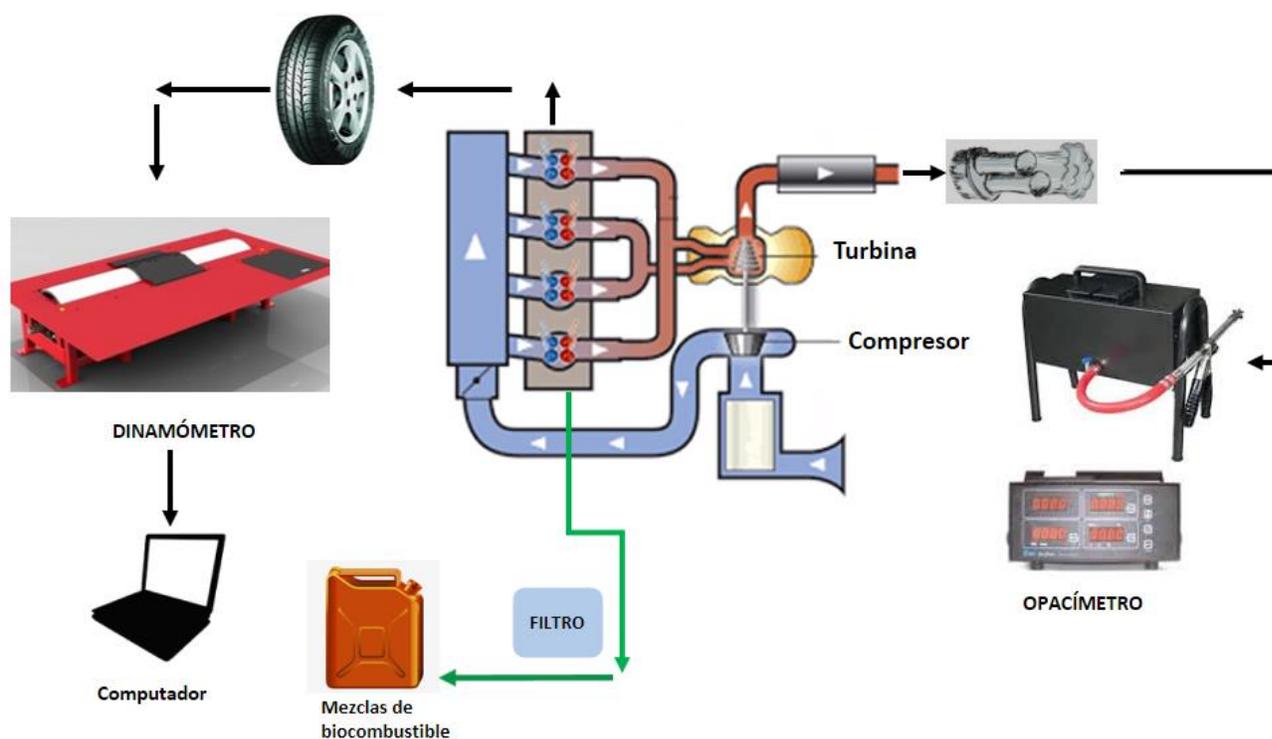


Figura 5. Flujograma del Método.

### Caracterización del biodiésel.

Una vez obtenido el biodiésel se realiza la caracterización, para ello se necesita de un laboratorio especializado. En nuestro caso la caracterización fue realizada por la Escuela Politécnica Nacional en el departamento de ingeniería química, laboratorio de petróleos.

Donde se analizó una muestra de 1L de biodiésel a base de aceites vegetales, se toma a continuación algunos de los resultados obtenidos en dicho análisis, los resultados completos se encuentran en el anexo C.

En la tabla 11 se encuentra los datos relevantes para la investigación comparados con los requerimientos en la Norma INEN 2482:2009. En donde se nota que cumplen todos los requerimientos a excepción del número de cetano que en este caso es inferior al mínimo permitido lo cual afectaría directamente a la ignición del combustible.

Tabla 11  
Caracterización del biocombustible B100

Muestra	Ensayo	Norma método	Unidad	Valor obtenido	Valor INEN Min/Max
Biodiésel	Densidad a 15°	ASTM D1298-12b	Kg/m <sup>3</sup>	882	860/900
LPM103-SEP	Punto de inflamación	ASTM-D93	°C	170	120/-
	Viscosidad cinética a 40°C	ASTM-D445	mm <sup>2</sup> /s	6.069	3.5/5
	Contenido de azufre	ASTM D4294-16	mg/kg	6.6	--10
	Índice de cetano calculado	ASTM D976-06	-	47.7	49/-

### Caracterización del diésel/biodiésel 10%.

Con el fin de mostrar de que la mezcla empleada para el caso combustible B10 en las pruebas, se realiza la caracterización del mismo para comprobar si cumple con los parámetros según norma INEN.

La tabla 12 contiene los datos de la caracterización de la mezcla diésel/biodiésel al 10% en la cual se comparará los parámetros con la Norma INEN 1489:2012. Los valores obtenidos cumplen a cabalidad con la norma sin problema notándose que el contenido de azufre es muy bajo al máximo permitido, lo cual mejoraría los niveles de humo emanados de los vehículos. También evidenciándose que el número de cetano es alto y ayuda a obtener una mejor ignición.

Tabla 12.  
Caracterización de mezcla diésel/biodiésel 10%.

<b>Muestra</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Norma método</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor obtenido</b>	<b>Valor INEN Min/Max</b>
Diésel	Punto de inflamación	ASTM-D93-16a	°C	63	51/-
/Biodiésel 10%	Viscosidad cinética a 40°C	ASTM-D445	mm <sup>2</sup> /s	3.445	2.0/5.0
LPM104-SEP	Contenido de azufre	ASTM D4294-16	Ppm	122.7	-/500
	Índice de cetano calculado	ASTM D976-06	-	53.2	45.0/-

### Caracterización de mezcla biodiésel/diésel 20%.

Con el fin de optimizar los resultados de igual manera se caracteriza el combustible B20, y de igual manera fue cotejado con los parámetros para el cumplimiento de aceptación de la norma INEN.

La tabla 13 a continuación presentada contiene los datos de la caracterización de la mezcla diésel/biodiésel al 20% comparados de la misma manera con la Norma INEN 1489:2012. Donde se encuentra que el contenido de azufre disminuye a comparación con el combustible B10.

Tabla 13  
Caracterización de mezcla diésel/biodiésel 20%

<b>Muestra</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Norma método</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor obtenido</b>	<b>Valor INEN Min/Max</b>
Diésel	Punto de inflamación	ASTM-D93	°C	66	51/-
/Biodiésel 20%	Viscosidad cinética a 40°C	ASTM-D445	mm <sup>2</sup> /s	3.459	2.0/5.0
LPM106-SEP	Contenido de azufre	ASTM D4294-16	mg/kg	106.76	-/500
	Índice de cetano calculado	ASTM D976-06	-	53.2	45.0/-

### Preparación de mezclas biodiésel/ diésel.

Los elementos de medición de volumen para las respectivas mezclas de los combustibles se realizaron en probetas con las medidas de 500 y 1000 ml, (Figura 6 y 7) proporcionadas por el laboratorio de termodinámica.



Figura 6. Probeta de 500ml.



Figura 7. Probeta de 100ml.

Los combustibles que se utiliza para realizar las distintas mezclas son: diésel, biodiésel. A continuación, se presenta los pesos de los elementos con un contenido de 500 ml en una balanza electrónica. El peso mostrado por la balanza electrónica figura 8 está tomado después de haber sido tarada la misma con la probeta de 500 ml. Y muestra 0.23 kg. de diésel.



Figura 8. Peso de 500ml de diésel

Para lograr obtener el peso del diésel de 500 ml., se realizaron tres pruebas, de las cuales se obtuvo un promedio de 0.23 kg.



Figura 9. Peso de 500ml de diésel.

De igual forma para saber el peso de 500ml de biodiésel (figura 9) se realizó tres ensayos, de los cuales se obtuvo un promedio de 0.24 kg.

Con los datos obtenidos de promedios tanto de diésel como biodiésel se procede a obtener su densidad por medio de la siguiente formula:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Donde:

$\rho$ : densidad kg/m<sup>3</sup>

$m$ : masa kg

$V$ : volumen m<sup>3</sup>

Con el uso de la ecuación 3 se procede a obtener la densidad de los combustibles, representadas en la tabla 14.

Tabla 14  
Densidad de diésel y biodiésel

<b>Combustible</b>	<b>Densidad kg/m<sup>3</sup></b>
Diésel	460
Biodiesel B10	468
Biodiésel B20	480

### **Cantidad de las mezclas**

La cantidad necesaria para poder realizar las pruebas en el automotor es de 10.000 ml para cada una de las mezclas debido a que se realizará tres repeticiones por cada una de las pruebas a realizarse que en este caso son 18 pruebas de dinamómetro y 18 pruebas en el opacímetro.

### **Cálculo matemático para combustible B10**

Para obtener el combustible B10 que significa 10% de biodiésel y 90% de diésel, las cantidades fueron calculadas de forma matemática y se planteó de la siguiente manera:

$$\begin{array}{r} 10.000 \text{ ml} \quad 100\% \\ X_{10} \quad 10\% \end{array}$$

Entonces:

$$X_{10} = \frac{10.000 \text{ ml} * 10 \%}{100 \%}$$

$$X_{10} = 1.000 \text{ ml.}$$

Realizamos la sumatoria del 100 %.

$$X_{100\%} = X_{90\%} + X_{10\%}$$

$$X_{100\%} = 9.000 \text{ ml} + 1.000 \text{ ml}$$

$$X_{100\%} = 10.000 \text{ ml}$$

Para la cantidad total de la mezcla del combustible B10, se realiza 18 repeticiones de diesel con la probeta de 500ml y 2 de biodiésel con la misma probeta obteniendo así un total de 10000 ml

### **Cálculo matemático para combustible B20**

De la misma manera para el combustible B20 que significa 80% de diésel y 20% de biodiésel, las cantidades fueron calculadas de forma matemática de la siguiente manera:

Planteo:

$$\begin{array}{r} 10.000 \text{ ml} \\ X_{20} \end{array} \begin{array}{l} 100\% \\ 20\% \end{array}$$

Entonces:

$$X_{20} = \frac{10.000 \text{ ml} * 20 \%}{100 \%}$$

$$X_{20} = 2.000 \text{ ml.}$$

Realizamos la sumatoria del 100 %.

$$X_{100\%} = X_{80\%} + X_{20\%}$$

$$X_{100\%} = 8.000 \text{ ml} + 2.000 \text{ ml}$$

$$X_{100\%} = 10.000 \text{ ml}$$

De la misma manera para la cantidad total de la mezcla de combustible B20 se realiza 16 repeticiones de diésel con la probeta de 500 ml y 4 de biodiésel para obtener un total de 10000ml de combustible mezcla B20.

Una vez realizadas las dos mezclas de combustible B10 y B20 correctamente, se almacena en canecas adecuadas.

Al término de la dosificación de combustible diésel con biodiésel a partir de aceites vegetales (figura 10) según las cantidades antes mencionadas para cada una de las mezclas B10 y B20, se procede a realizar las pruebas de torque, potencia y opacidad.



*Figura 10. Mezcla 10.000ml*

### **Color de las mezclas de combustible.**

La figura 11 presenta el color o turbidez de las mezclas de combustibles tanto de B20 a la izquierda como de B10 a la derecha, como se logra visualizar la mezcla de combustible B20 es mucho más turbia que la mezcla de combustible B10.



*Figura 11. Color de mezclas B20 y B10*

### **Equipo a utilizarse para las pruebas.**

Para lograr realizar las pruebas tanto de torque, potencia y opacidad necesitamos algunos equipos los cuales se mencionan a continuación:

### Vehículos a emplearse en las pruebas.

Las características técnicas de los vehículos elegidos para realizar las pruebas están representadas en las fichas técnicas Tabla 17 y Tabla 18, estos datos serán necesarios para realizar una comparación con el torque y potencia nominal del fabricante con respecto a los datos obtenidos al término de las pruebas.

Tabla 15

Ficha técnica del Mazda BT-50 Doble Cabina 2.5L 4x4 Di 2015

Parámetro	Dato
Combustible:	Diésel
Cilindrada:	2499 cc
Potencia:	104/3500 kW/rpm
Torque:	330/1800 N·m/rpm
Alimentación:	inyección electrónica
Cilindros:	4 en línea
Válvulas:	16

Tabla 16

Especificaciones técnicas Wingle 5 Cabina Doble Diésel

Parámetro	Dato
Vehículo	Wingle 5 Cabina Doble Diésel
Motor	Motor 2.8 L con tecnología Turbo Diésel
Potencia (kW/rpm)	70/3600
Torque Máximo (Nm/rpm)	225/1800 – 2000

### Dinamómetro

El dinamómetro empleado para realizar las pruebas en los vehículos presentados es un *Dynomite 3000-Lite 2WD IO Chassis Dyno* (Tabla 19) de origen norteamericano, que contiene rodillos como elemento principal; ofrece distintas posibilidades de diagnóstico en la simulación de carga. El dinamómetro consta con un software que crea un tablero de instrumentos del vehículo completo en la PC y también puede ser en un computador portátil. (Rocha & Zambrano, 2015) comenta que el software implementado ofrece diagnosticar los siguientes parámetros:

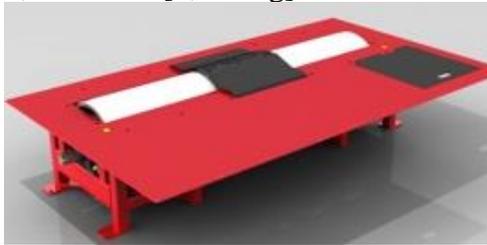
- Pantallas y registro cierto ilimitado Hp, torque, rpm.

- Visualización en tiempo real de gráficos de traza.
- Advertencia de alarmas ajustable de límite.
- Los controles de botón pulsador.
- El usuario analógico configurable y rangos de medidores digitales.
- Gráficos en color.
- Base de datos de prueba de informe.
- Los puntos de activación Smart Record.
- Múltiples opciones de datos de importación / exportación.
- La encendido del sistema es semiautomático.
- Alarmas de voz en todos los indicadores.

Las características del dinámetro están presentadas a continuación en la tabla 20.

Tabla 17

Especificaciones técnicas del dinamómetro usado para las pruebas de potencia y toque.

Marca	Dynomite
Modelo	<i>3000-Lite 2WD IO Chassis Dyno</i>
Software	DYNO-MAX software
Diámetro del rodillo	30in. [76.2cm]
Requisitos de voltaje	120 voltios, 60 Hz AC
Capacidad HP	10 a 1,350 Hp
Velocímetro Dyno (distancia)	<i>0.0 - 255.0 MPH [0.0 - 410.0 km/h]</i>
Rango de velocidad segura (deformación del neumático limitada)	<i>10 - 137 MPH (186sr /1.5<sup>0.5</sup>in deformación) [16 - 220 km/h]</i>
Ancho de pista (máx. / min) del rodillo	<i>96in. [244 cm] máximo, 21in. [53 cm] mínimo</i>
Capacidad de peso del eje	10,000 libras [4,526 kg] (por eje)
Ancho	112in. [284 cm]
Longitud	38in. [97 cm]
Alto (en la plataforma de rollo / rampa)	30in. [76 cm]
Altura (general)	32½in. [83 cm]
Peso	4,800 libras [2,177 kg]
Imagen	

### Analizador de opacidad

El analizador de opacidad utilizado para realizar las pruebas es de marca MAHA, modelo MDO2-LON y de procedencia alemana. Es un equipo que contiene un terminal de mano, es el encargado de tasar la opacidad de los gases mediante corriente de flujo parcial con libre aceleración. La descripción del opacímetro se referencia mediante los siguientes parámetros:

- Tasación instantánea o continua de los calores medidos.
- Sensor de temperatura integrado
- Calefacción de la cámara de medición de alta potencia.
- Célula de medición de la opacidad con óptica de conexión.
- Sonda de medición de gases de turismos, con manguera de 1,5 metros y temperatura máxima 300°C.
- Terminal de mano con indicador LCD (2 líneas), impresora y 5m de cable de conexión.

Los datos técnicos del opacímetro en el que se realizó las pruebas están especificados en la tabla 20, presentada a continuación:

Tabla 18

Ficha técnica del opacímetro utilizado para las pruebas del combustible.

<b>Principio de medición</b>	<b>Absorción fotométrica</b>
Longitud de onda de la luz proyectada	567 nm
Longitud de la célula de medición	430 mm
Diámetro int/ext. cámara medición	28 mm / 25 mm
Tiempo de calentamiento aprox. de la célula de medición	180 s
Tensión de a bordo	12 V / 24 V
Consumo de potencia medio/ máx.	0,11 kW / 0,13 kW

Alimentación de corriente	1/N/PE 230 V 50 Hz
Dimensiones totales (La x An x Al)	245 mm x 55 mm x 125 mm
Peso	13 kg
Procesador Single-Chip	Hitachi H8/532
Pantalla LCD	2x16 dígitos
Intervalo de medición opacidad	0 - 100 %
Área de medición coeficiente de absorción	1 - 9,99 m <sup>-1</sup>
Dimensiones terminales de mano (LxAIxAn)	245 mm x 550 mm x 230 mm
Peso de terminal de mano	0,76 kg
Alimentación de corriente mediante opacímetro	12 V
Consumo de potencia medio/ máx.	0,25 A / 0,5 A
Posibilidades conexión	Pinza piezoeléctrica para medición RPM Captador inductivo, Captador temperatura aceite

---

### Desarrollo para ejecución de pruebas

Para poder realizar las pruebas tanto en el dinamómetro como en el opacímetro se realizó una inspección en el vehículo para poder concluir las pruebas sin ninguna novedad, estas pruebas consistían en:

- Verificación visual y perceptiva de los conductos de aceite, agua y combustible que se encuentren completamente cerrados y no existan ninguna fuga.
- Control visual del vehículo para la respectiva localización de los puntos adecuados para someter al vehículo con completa seguridad al dinamómetro.
- Revisión de los niveles de aceite y del agua refrigerante.
- Constatación del estado de los neumáticos, debido que son los principales elementos del vehículo para la sujeción de los pernos en las mismas.

### Preparación del vehículo.

Se realizó las siguientes adecuaciones en el vehículo para llevar a cabo las pruebas (figura 12):

- Se desconectó la energía de la bomba del tanque de combustible.
- Se desconectó las vías de retorno y alimentación del tanque de combustible.
- A continuación, se conectó directamente otras mangueras de alimentación y retorno de la mezcla de prueba al filtro de combustible, como se ilustra en la figura 13.
- Por último, se conecta a la manguera de la presión del turbo del vehículo, es un factor importante para lo cual se emplea un acople al turbo (figura 14), para poder asociar la presión del turbo con respecto a la que está trabajando al inicio de realizar las pruebas de potencia y torque.

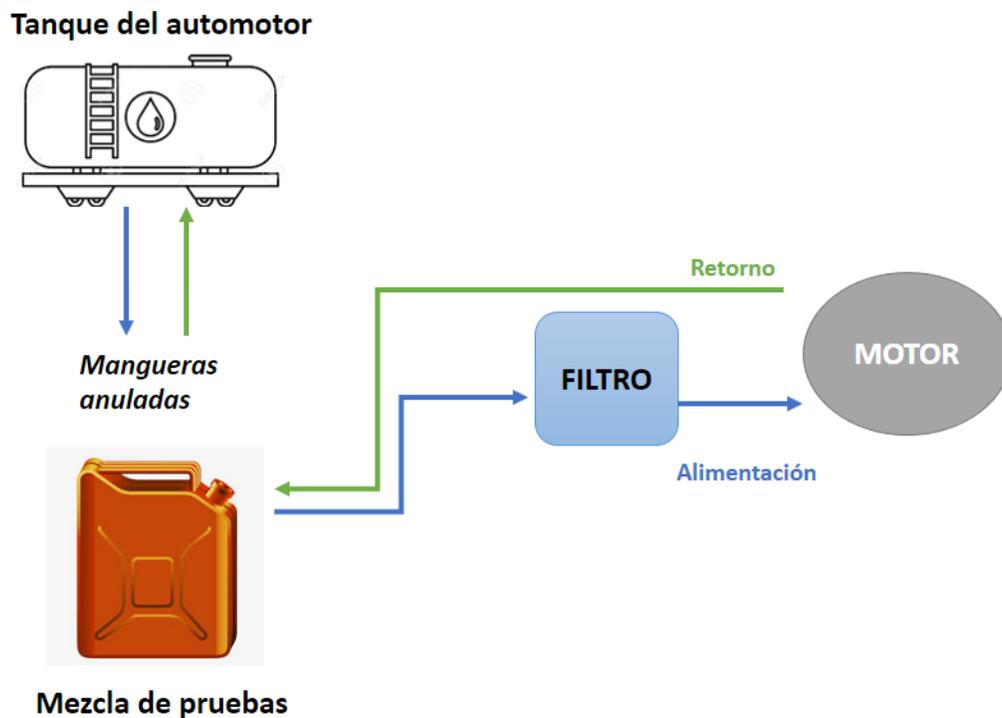


Figura 12. Diagrama de conexiones de líneas de combustible



Figura 13. Sistema de cambio de combustibles en las pruebas



Figura 14. Acople de presión asociado al turbo del vehículo.

- En la parte frontal del vehículo se coloca un ventilador (figura 15), tomándolo como un servidor de alcance de flujo máximo de aire, es decir la ventilación proporcionada del ventilador sirve para la refrigeración mientras se realiza las pruebas de torque y potencia.



Figura 15. Ventilación del vehículo en las pruebas.

- A continuación, se procede a escribir los datos y características necesarios del vehículo en el sistema interno solicitados por el dinamómetro para dar inicio de las pruebas respectivas (figura 16).

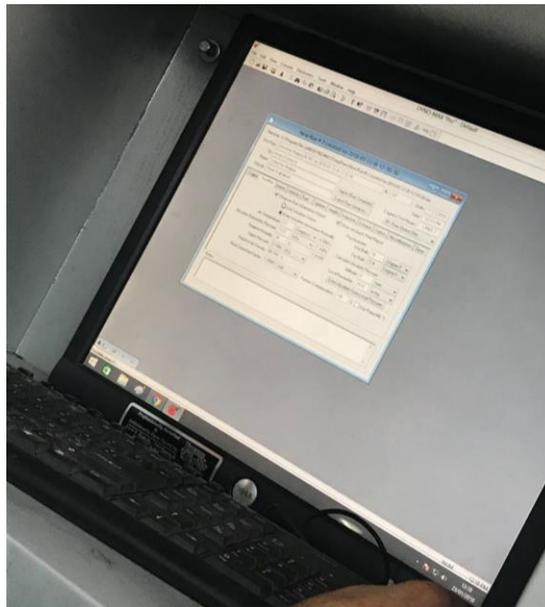


Figura 16. Datos característicos del vehículo.

- La prueba de torque y potencia es una medición en las ruedas montadas sobre el dinamómetro, pero existe una particularidad muy importante en el dinamómetro de tal forma que la potencia tomada por la rueda es transformada internamente por el sistema

del dinamómetro para obtener resultados estrictamente correspondientes al motor.

- El sistema del dinamómetro realiza las mediciones a través de las revoluciones por minuto (rpm), tomando en consideración principal que el ralentí del vehículo está entre 800 a 900 (rpm), las gráficas otorgadas por el dinamómetro no empezaran desde cero. Para la prueba y datos estadísticos en el vehículo se llegó como revoluciones máximas hasta 4000 a 4500 (rpm) dependiendo del vehículo; basándose en la ficha técnica designada por la empresa fabricante del vehículo.

### **Purga del sistema de combustible.**

Los elementos del sistema de combustible tales como mangueras, filtros y bomba siempre albergan una cantidad de combustible en su interior que debe ser removida antes de iniciar las pruebas con la siguiente mezcla. Con el fin de purgar el sistema de la mezcla anterior, se hace pasar por este aproximadamente 1 litros de la mezcla nueva los cuales son desechados posteriormente. El procedimiento descrito se lleva a cabo simplemente manteniendo encendido el vehículo mientras se succiona la mezcla nueva y se tira el retorno.

### **Pruebas en el dinamómetro.**

En primer lugar, se debe conocer en que ruedas se encuentra la tracción del vehículo, en este caso las camionetas poseen la tracción en las ruedas posteriores. Entonces se situó las ruedas posteriores del vehículo sobre los rodillos del dinamómetro (figura 17). Una vez en esta posición, se sujeta firmemente con fajas para evitar cualquier movimiento (Rocha & Zambrano, 2015). Para realizar las corridas o pruebas en el dinamómetro se siguió el siguiente procedimiento:



Figura 17. Vehículo en el dinamómetro

1. Se enciende el vehículo.
2. Quitar el freno de mano.
3. Iniciar el movimiento de las llantas, revolucionando el motor y haciendo los cambios en la transmisión hasta llegar a la tercera velocidad. Permitir que la velocidad de las llantas se estabilice con el ralentí del motor, es decir, con la tercera velocidad puesta en la transmisión se permite al motor mover las llantas hasta que llegue 900 rpm.
4. Iniciar la recopilación de datos.
5. Acelerar a fondo hasta llegar a las 4000rpm.
6. Soltar el acelerador y se detiene la recolección de datos.
7. Dejar que el giro de las ruedas se detenga por completo
8. En el caso de estar realizando las pruebas volver al punto 3, caso contrario apagar vehículo, realzar cambio de mezclas y purgar sistema de combustible.

#### **Captura de datos.**

Para cada pasada en el dinamómetro, el computador guarda las condiciones ambientales de la

prueba y además arroja una tabla con los siguientes datos: tiempo, velocidad lineal en metros por segundo, potencia en kW y torque en N-m. Para lograr obtener estos datos se procede de la siguiente manera:

- Desarrollar un registro adecuado de los datos obtenidos en el dinamómetro con cada uno de las mezclas de combustible realizadas en los vehículos.

### **Pruebas en el opacímetro.**

Para el desarrollo de las pruebas de opacidad se utilizó un opacímetro marca MAHA (figura 18) el cual está debidamente calibrado.



*Figura 18. Opacímetro MAHA*

El procedimiento para realizar la medición de opacidad en los vehículos se siguió fundamentalmente los siguientes pasos:

- Verificación visual del color de humo del vehículo.
- Realizar la conexión del equipo a la toma de energía de 110Vac.
- Insertar los datos del vehículo mediante el terminal de mano (figura 19).



Figura 19. Terminal de mano del opacímetro.

- Colocar la sonda del opacímetro (figura 20) de flujo total fin de línea en el tubo de escape. Su nombre está dado debido a ubicación de la sonda al final del tubo de escape del vehículo.



Figura 20. Sonda lambda conectada al tubo de escape.

- Esperar que el terminal de mano nos avise para empezar con el test de libre aceleración y realizar las repeticiones respectivas para cada uno de los combustibles.



*Figura 21. Vehículo en pruebas de opacidad.*

- Realizar la correcta recolección de los porcentajes proporcionados por la impresora de la terminal de mano.

### **Método estadístico.**

Una vez tabuladas las tablas tanto de torque, potencia y opacidad se necesita realizar un análisis estadístico el cual será realizado con el programa estadístico STARGRAPHICS, dicho software está diseñado para facilitar el análisis estadístico de datos. Mediante esta aplicación es posible realizar un análisis descriptivo de una o varias variables, utilizando gráficos que expliquen su distribución o calculando sus medidas características. Entre sus muchas prestaciones, también figuran el cálculo de intervalos de confianza, contrastes de hipótesis, análisis de regresión, análisis multivariantes, así como diversas técnicas aplicadas en Control de Calidad.

Para lograr entender el ingreso de datos al programa se realiza la siguiente tabla en la cual se contemplan las etiquetas para cada prueba o tratamiento (tabla 22).

Tabla 19

Estructura y etiquetas para el ingreso de datos en el programa STARGRAPHICS

<b>Tratamiento</b>	<b>Designación</b>	<b>Vehículo</b>	<b>Combustible</b>
T1	V1C1	Mazda	D100%
T2	V1C2	Mazda	B10
T3	V1C3	Mazda	B20
T4	V2C1	Great Wall	D100%
T5	V2C2	Great Wall	B10
T6	V2C3	Great Wall	B20

La nomenclatura expuesta en la tabla anterior se mantendrá para tabular los datos de todas las pruebas de torque, potencia y opacidad. Esto para realizar el análisis estadístico.

## Resultados

### Resultados de torque y potencia

A continuación, se presentan los datos de potencia y torque capturados por el dinamómetro en el centro automotriz “Dinamyca Competicion”.

Las pruebas se realizaron en la ciudad de Quito a 2800 metros sobre el nivel del mar, los resultados obtenidos son parámetros característicos del motor de la camioneta Mazda BT-50 Doble Cabina 2.5L 4x4 Di 2015 y de la camioneta Great Wall Wingle5 Cabina Doble; con diésel puro y las distintas mezclas de biodiésel en porciones de 10% y 20%.

Se presenta un resumen de datos con los promedios obtenidos, así como graficas de los mismos valores para cada uno de los combustibles, las tablas completas y graficas de cada prueba se presentan en el Anexo A y Anexo B

### Resultados de potencia.

#### *Potencia Mazda BT-50 y Great Wall Wingle5 con combustible Diésel 100%.*

En la figura 22 se presenta la potencia obtenida de las tres pruebas realizadas en la camioneta Mazda BT-50 con combustible diésel 100%, donde es muy notorio que la potencia máxima de las tres pruebas se encuentra entre 4000 y 4500 rpm. Al encontrar que la potencia máxima se encuentra a los 4300 rpm en el caso del vehículo Mazda se toman los datos de las tres pruebas y se realiza un promedio tale datos se encuentran en la tabla 22.

Tabla 20

Resultados de las pruebas de potencia en vehículo Mazda, con combustible diésel 100%

<b>Prueba</b>	<b>Potencia (kW) @ 4300 rpm</b>
Prueba 1	89.26
Prueba 2	90.68
Prueba 3	98.09
<b>Promedio</b>	<b>90.68</b>

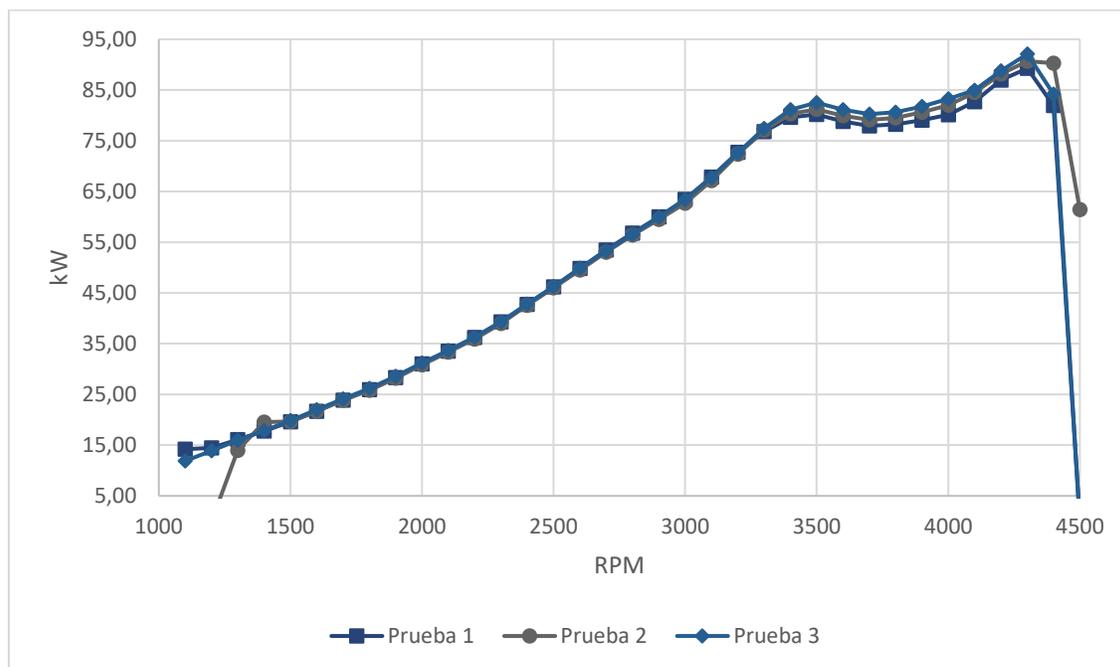


Figura 22. Gráfica de potencia de 3 pruebas realizadas con diésel 100% en el vehículo Mazda.

En la figura 23 de igual manera se observa la gráfica en donde se presenta las curvas de las tres pruebas realizadas al vehículo Great Wall Wingle5 con combustible diésel 100%, donde notamos una curva parabólica de la potencia máxima que se encuentra entre 2500 y 3000 rpm.

En la tabla 23 se observa los datos obtenidos de las 2 pruebas realizadas en la camioneta Great Wall Wingle5, en su máxima potencia obtenida a 2700rpm; con su respectivo promedio.

Tabla 21

Resultados de las pruebas de potencia en vehículo Great Wall, con combustible diésel 100%

<b>Prueba</b>	<b>Potencia (kW) @ 2700 rpm</b>
Prueba 1	69.96
Prueba 2	69.86
Prueba 3	-
<b>Promedio</b>	<b>69.91</b>

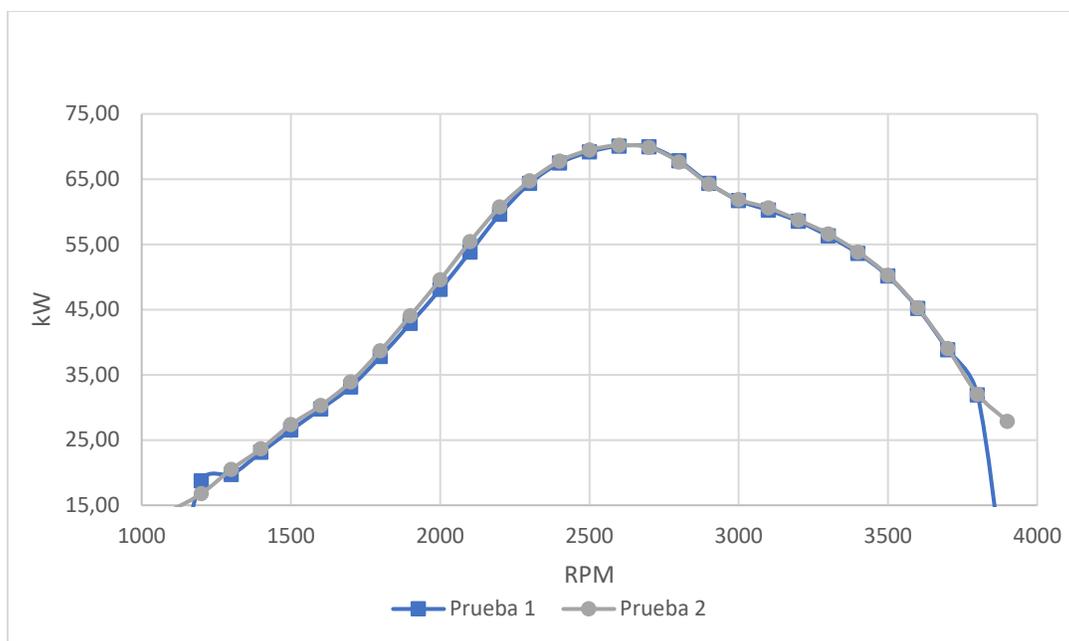


Figura 23. Gráfica de potencia de 3 pruebas realizadas con diésel 100% en el vehículo Great Wall.

#### **Potencia Mazda BT-50 y Great Wall Wingle5 con combustible B10.**

La figura 24 muestra la gráfica de las tres pruebas de potencia realizadas en la camioneta Mazda con combustible B10, donde se evidencia que la máxima potencia se encuentra entre 4000 y 4500 rpm.

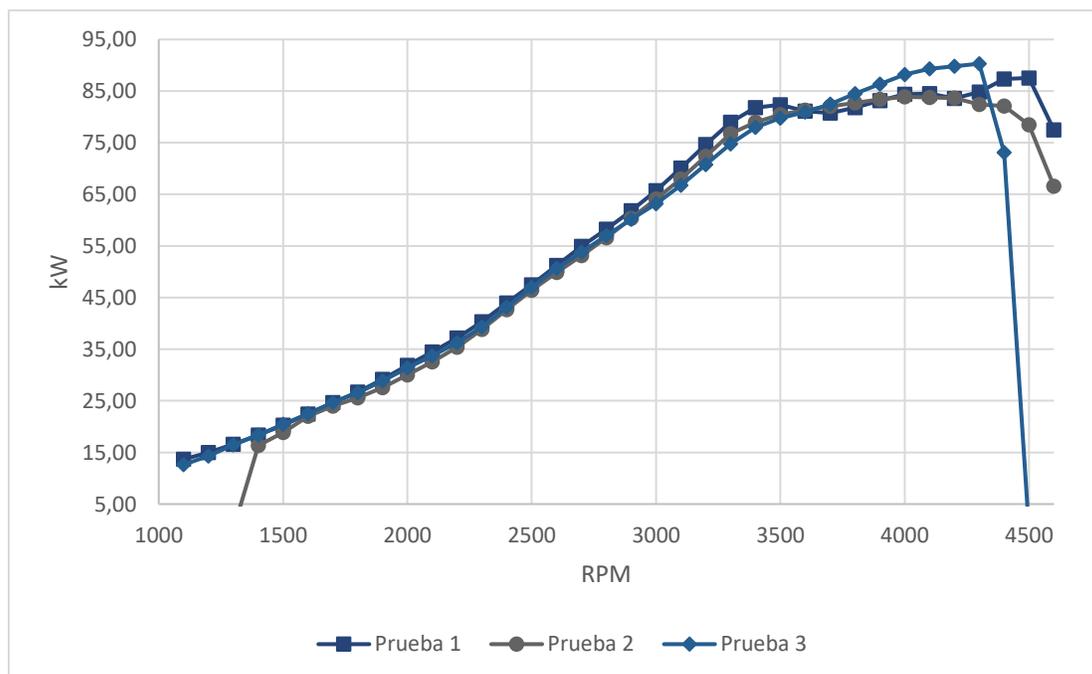


Figura 24. Gráfica de potencia de 3 pruebas realizadas con B10 en el vehículo Mazda.

La tabla 24 presenta los datos de las tres pruebas de potencia realizadas a la camioneta Mazda donde se tomó los datos de máxima potencia a 4300 rpm.

Tabla 22

Resultados de las pruebas de potencia en vehículo Mazda, con combustible B10.

<b>Prueba</b>	<b>Potencia (kW) @ 4300 rpm</b>
Prueba 1	84.79
Prueba 2	82.40
Prueba 3	90.30
<b>Promedio</b>	<b>85.83</b>

En la figura 25 se muestra las gráficas de potencia de las 3 pruebas realizadas en la camioneta Great Wall con combustible B10.

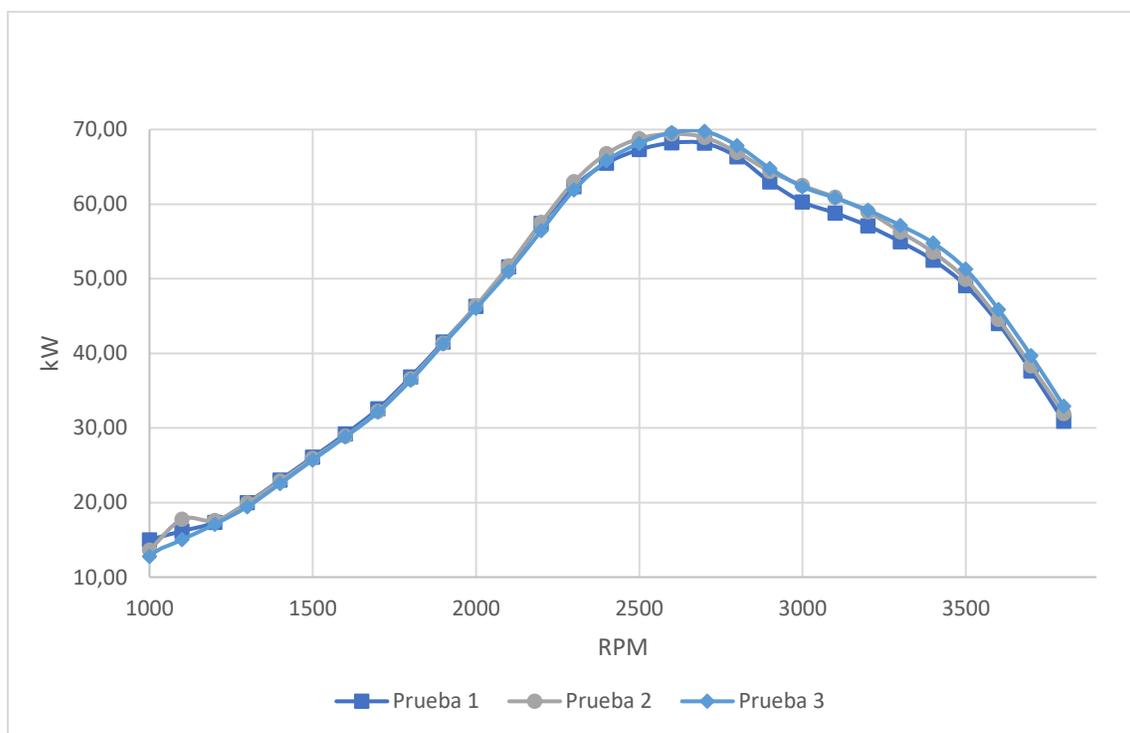


Figura 25. Gráfica de potencia de 3 pruebas realizadas con B10 en el vehículo Great Wall.

La tabla 25 presenta la potencia máxima a 2700 rpm para cada una de las pruebas realizadas en la camioneta Great Wall.

Tabla 23

Resultados de las pruebas de potencia en vehículo Great Wall, con combustible B10.

<b>Prueba</b>	<b>Potencia (kW) @ 2700 rpm</b>
Prueba 1	68.16
Prueba 2	68.96
Prueba 3	69.76
<b>Promedio</b>	<b>68.96</b>

***Potencia Mazda BT-50 y Great Wall Wingle5 con combustible B20.***

La figura 26 muestra la gráfica de las tres pruebas de potencia realizadas en el vehículo Mazda con el combustible B20.

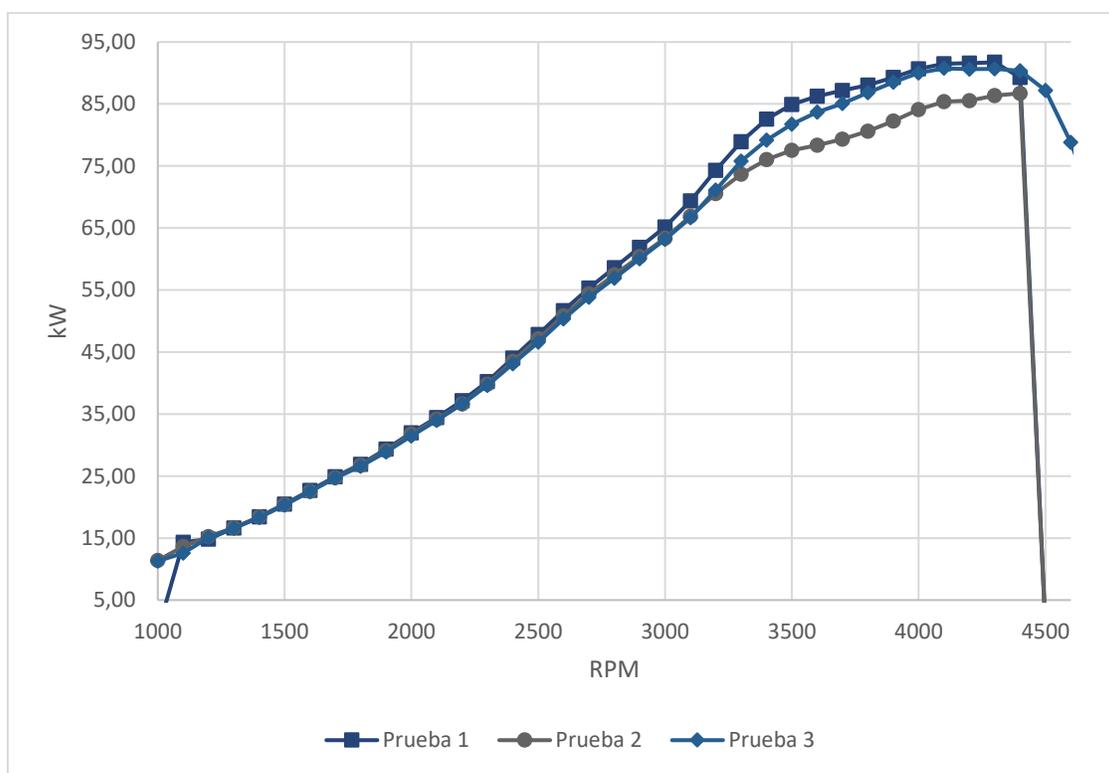


Figura 26. Gráfica de potencia de 3 pruebas realizadas con B20 en el vehículo Mazda.

Una vez realizada una gráfica de potencia de la camioneta Mazda con combustible B20 se toma los datos los datos de potencia más altos obtenidos a 4300 rpm y se realizó un promedio de los mismos los cuales se encuentran en la tabla 26.

Tabla 24

Resultados de las pruebas de potencia en vehículo Mazda, con combustible B20.

<b>Prueba</b>	<b>Potencia (kW) @ 4300 rpm</b>
Prueba 1	91.72
Prueba 2	86.35
Prueba 3	90.68
<b>Promedio</b>	<b>89.58</b>

Se realizó tres pruebas de torque con combustible B20 en la camioneta Great Wall con los datos se obtuvo una gráfica la cual se encuentra en la figura 27.

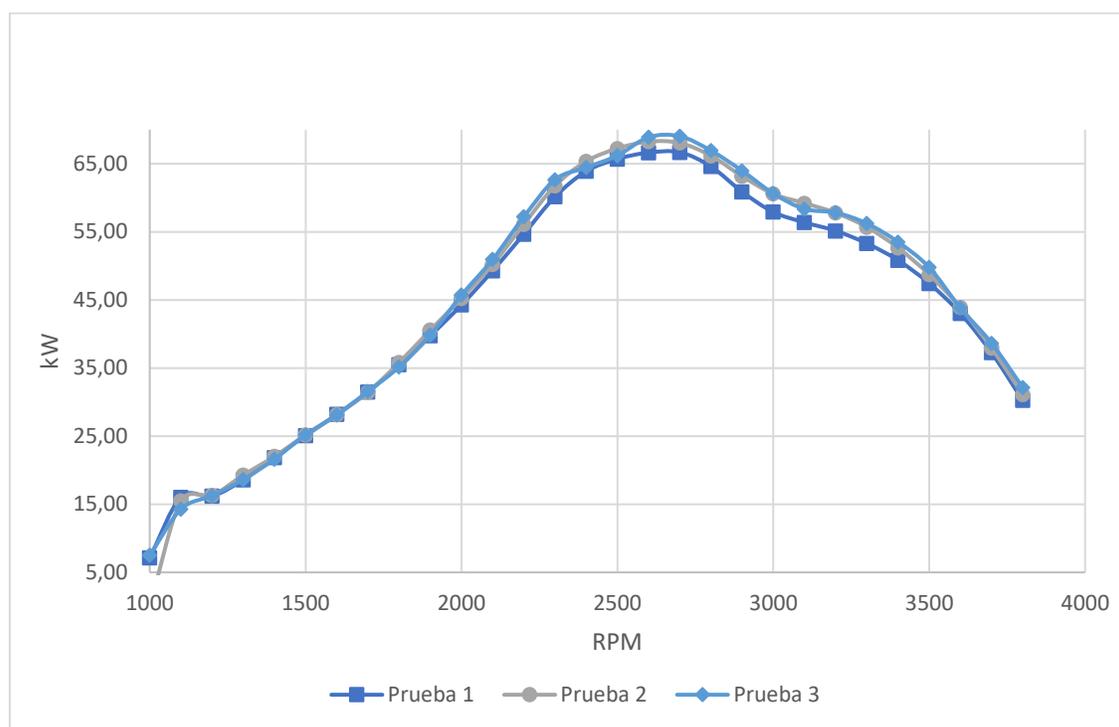


Figura 27. Gráfica de potencia de 3 pruebas realizadas con B20 en el vehículo Great Wall.

Realizadas las pruebas en el vehículo Great Wall se obtuvo la máxima potencia a 2700 rpm, tales datos se encuentran escritos en la tabla 27 con su respectivo promedio.

Tabla 25

Resultados de las pruebas de potencia en vehículo Great Wall, con combustible B20.

<b>Prueba</b>	<b>Potencia (kW) @ 2700 rpm</b>
Prueba 1	66.68
Prueba 2	68.05
Prueba 3	69.04
<b>Promedio</b>	<b>67.92</b>

### Resultados de torque.

De la misma manera se realizaron tres pruebas de torque para cada combustible y para cada vehículo, las cuales se representarán en gráficas y se tomará los datos de torque máximo a 3400 rpm en el caso del Vehículo Mazda y a 2400 rpm en el caso de la camioneta Great Wall.

#### *Torque Mazda BT-50 y Great Wall Wingle5 con combustible Diésel 100%.*

La figura 28 muestra las gráficas de torque de las tres pruebas realizadas en la camioneta Mazda con el combustible Diésel al 100%.

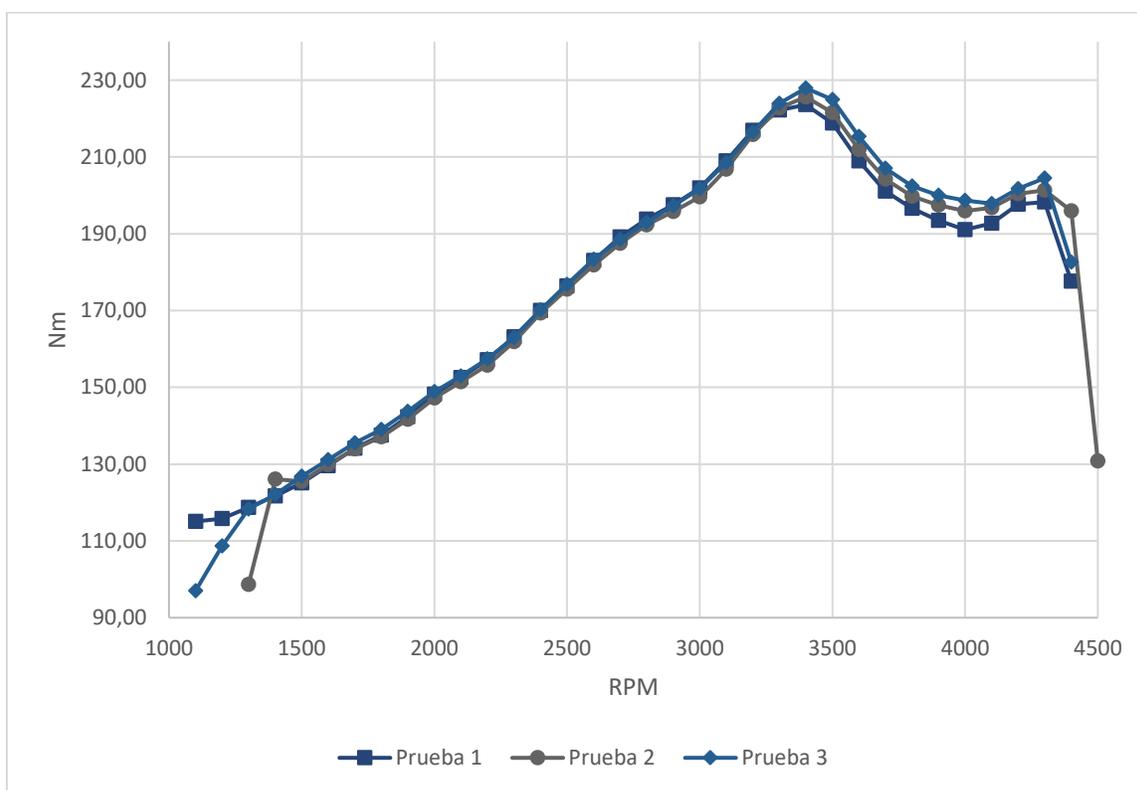


Figura 28. Gráfica de torque de 3 pruebas realizadas con diésel 100% en el vehículo Mazda.

Tabla 28 contiene las tres pruebas de torque máximo a 3400 rpm respectivamente para la camioneta Mazda con combustible diésel 100%.

Tabla 26

Resultados de las pruebas de torque en vehículo Mazda, con combustible diésel 100%

<b>Prueba</b>	<b>Torque (Nm) @ 3400 rpm</b>
Prueba 1	223.57
Prueba 2	225.61
Prueba 3	227.91
<b>Promedio</b>	<b>225.70</b>

Con los datos obtenidos con combustible Diésel 100% en la camioneta Great Wall se realizó

gráficas de las dos pruebas las cuales se contemplan en la figura 34.

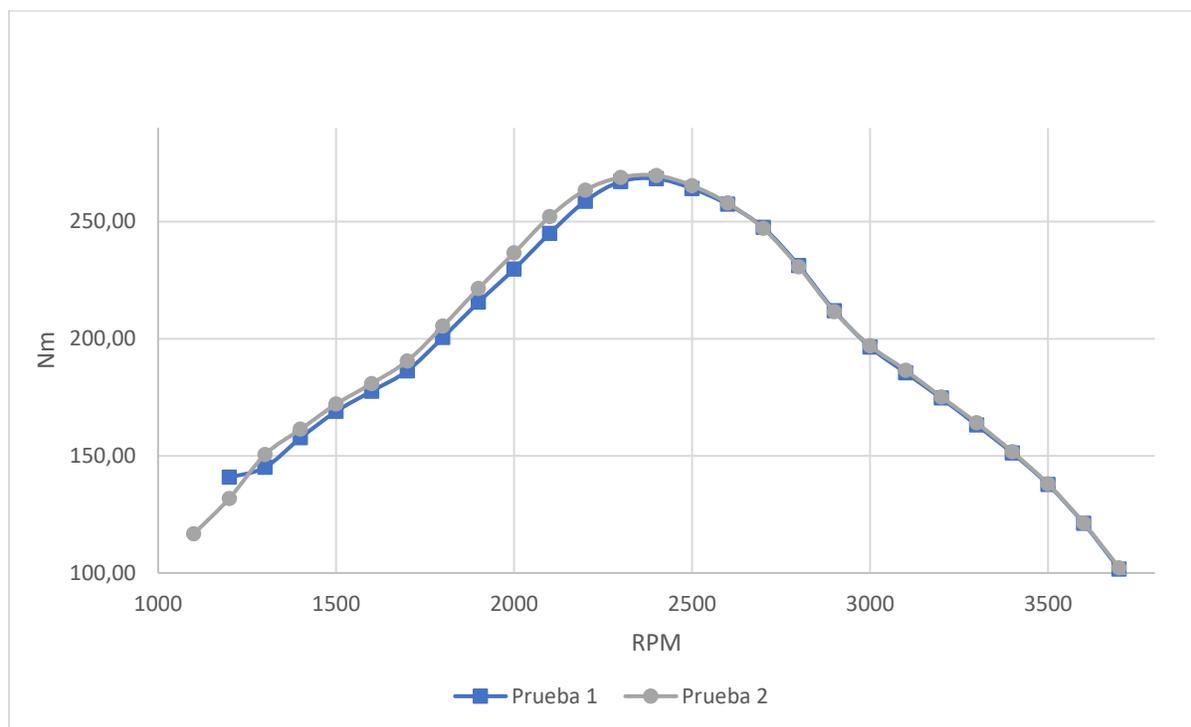


Figura 29. Gráfica de torque de 2 pruebas realizadas con diésel 100% en el vehículo Great Wall.

Una vez obtenidos todos los datos de las pruebas de torque con combustible diésel 100% en el vehículo Mazda se procede a obtener los datos a 2400 rpm los cuales se muestra en la tabla 29.

Tabla 27

Resultados de las pruebas de torque en vehículo Great Wall, con combustible diésel 100%

<b>Prueba</b>	<b>Torque (Nm) @ 2400 rpm</b>
Prueba 1	268.32
Prueba 2	269.67
Prueba 3	-

**Promedio**                      **268.99**

---

***Torque Mazda BT-50 y Great Wall Wingle5 con combustible B10.***

Las pruebas realizadas con combustible B10 en la camioneta Mazda nos ayudó a generar gráficas de torque las cuales se presentan en la figura 30.

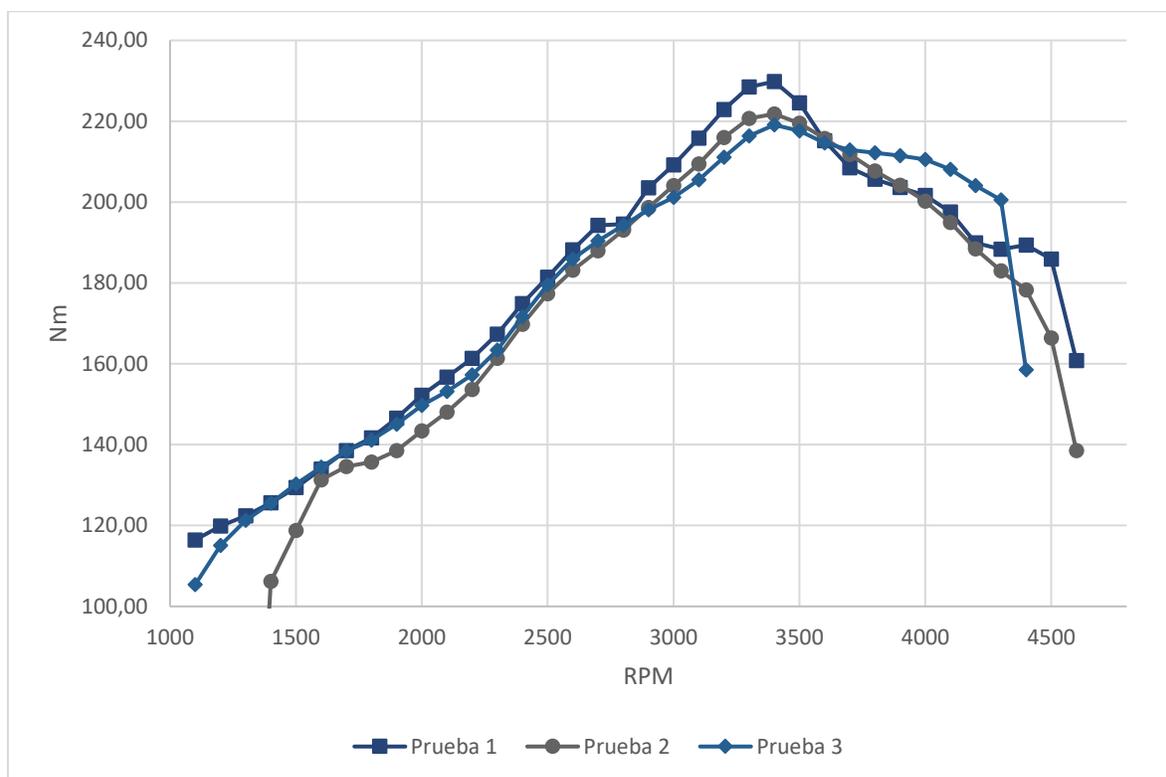


Figura 30. Gráfica de torque de 3 pruebas realizadas con B10 en el vehículo Mazda.

Los resultados máximos de torque se obtuvieron a 3400 rpm, los cuales están mostrados en la tabla 30 con su respectivo promedio.

Tabla 28

Resultados de las pruebas de torque en vehículo Mazda, con combustible B10.

<b>Prueba</b>	<b>Torque (Nm) @ 3400 rpm</b>
Prueba 1	229.81
Prueba 2	221.81
Prueba 3	219.10
<b>Promedio</b>	<b>223.57</b>

En la figura 31 se presentan tres curvas de torque las cuales representan el torque de la camioneta Great Wall empleando combustible B10.

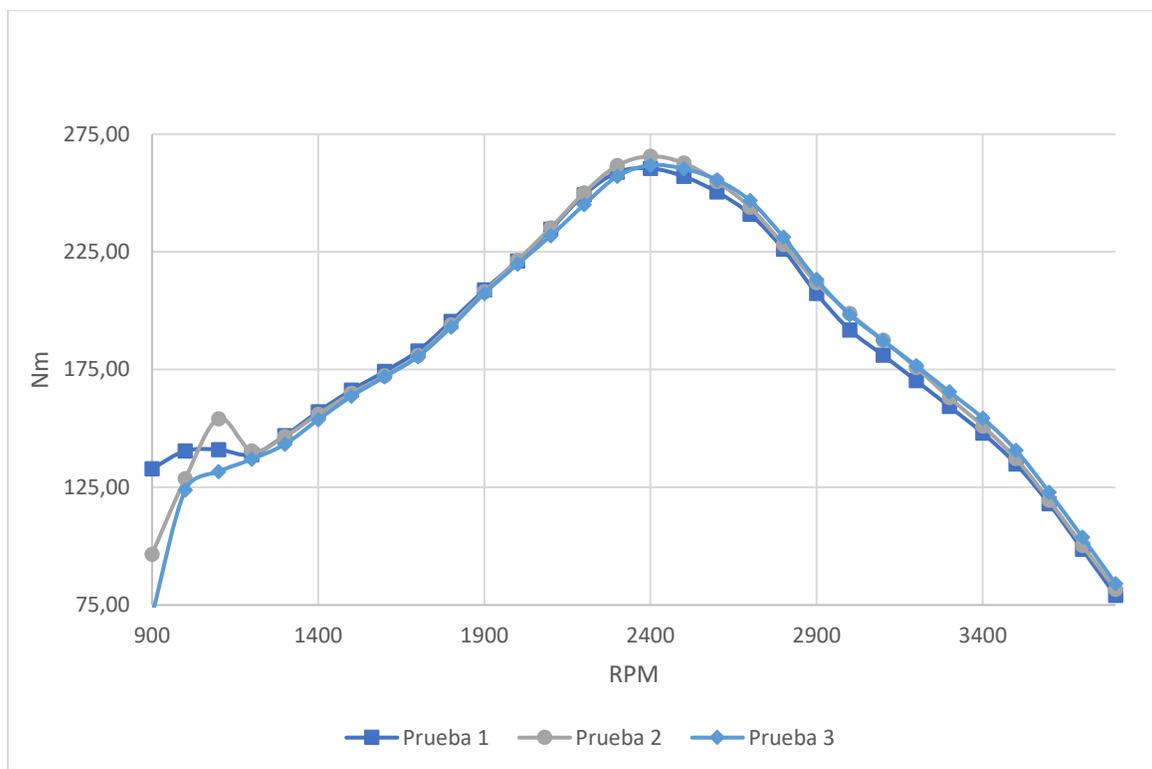


Figura 31. Gráfica de torque de 3 pruebas realizadas con B10 en el vehículo Great Wall.

La tabla 31 muestra los datos de torque máximo a 2400 rpm para las tres pruebas realizadas en la camioneta Great Wall con combustible B10.

Tabla 29

Resultados de las pruebas de torque en vehículo Great Wall, con combustible B10.

<b>Prueba</b>	<b>Torque (Nm) @ 2400 rpm</b>
Prueba 1	260.45
Prueba 2	265.60
Prueba 3	261.81
<b>Promedio</b>	<b>262.62</b>

### ***Torque Mazda BT-50 y Great Wall Wingle5 con combustible B20.***

Por último, se muestra en la figura 32 las gráficas de las últimas tres pruebas las cuales se

realizaron con combustible B20 en este caso en la camioneta Mazda BT-50.

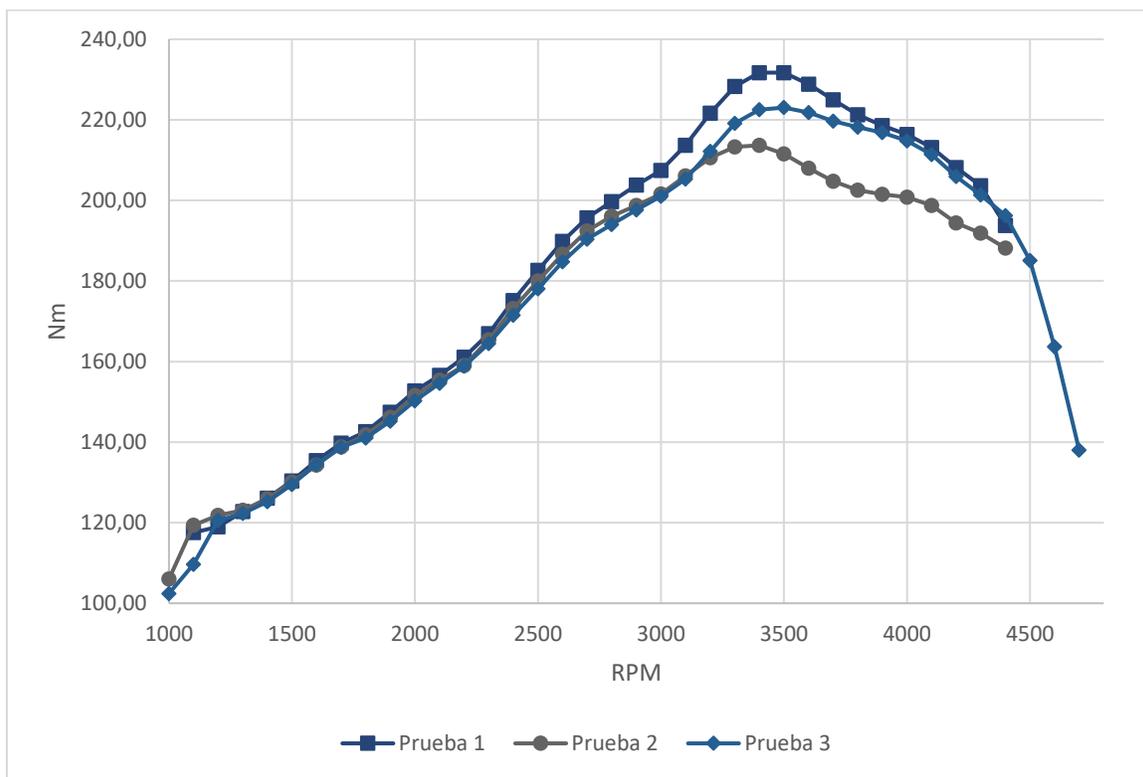


Figura 32. Gráfica de torque de 3 pruebas realizadas con B20 en el vehículo Mazda.

La tabla 32 muestra el torque máximo obtenido en cada una de las pruebas realizadas en la camioneta Mazda con combustible B20 y un promedio de las mismas.

Tabla 30

Resultados de las pruebas de torque en vehículo Mazda, con combustible B20.

<b>Prueba</b>	<b>Torque (Nm) @ 3400 rpm</b>
Prueba 1	231.71
Prueba 2	213.68
Prueba 3	222.49
<b>Promedio</b>	<b>222.63</b>

En la figura 33 se observa las gráficas de torque de las tres pruebas realizadas en la camioneta Great Wall con combustible B20.

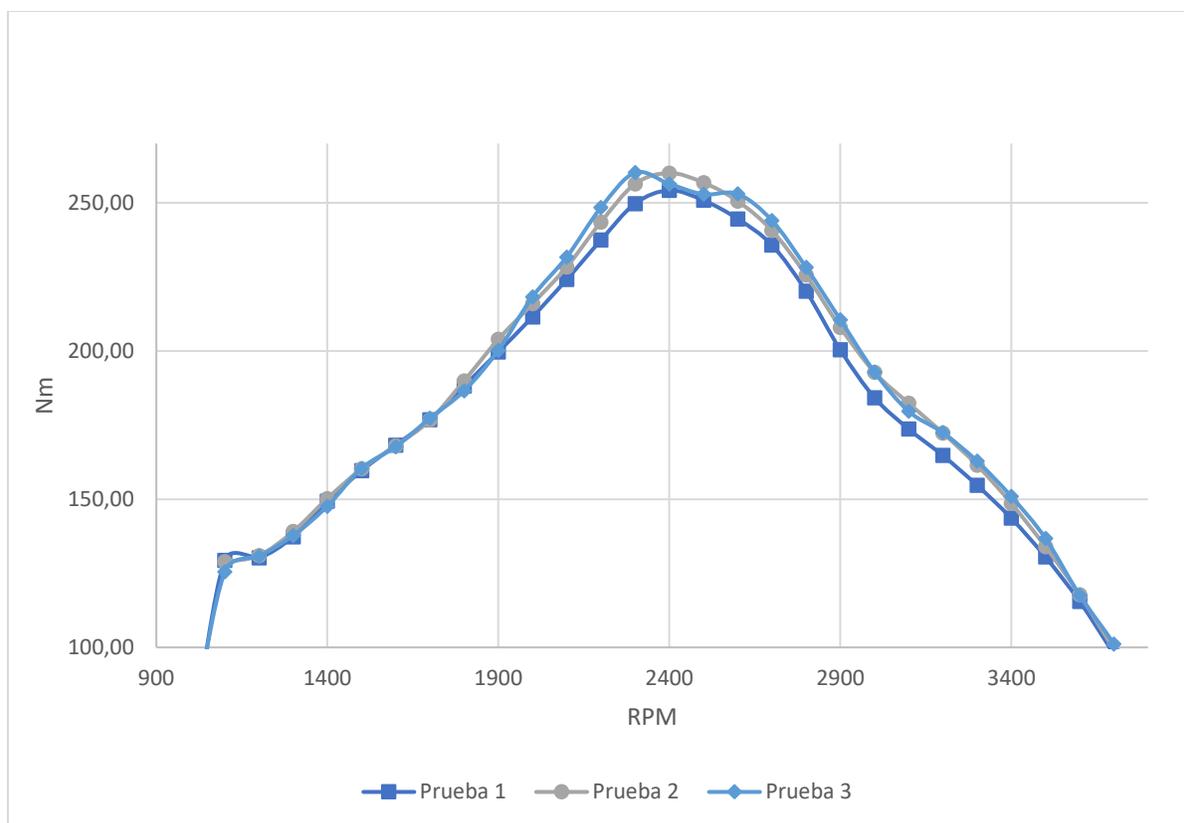


Figura 33. Gráfica de torque de 3 pruebas realizadas con B20 en el vehículo Great Wall.

La tabla 33 recoge los datos de torque a 2400rpm donde se obtuvieron los máximos valores y con ellos se obtuvo un promedio.

Tabla 31

Resultados de las pruebas de torque en vehículo Great Wall, con combustible B20.

<b>Prueba</b>	<b>Torque (Nm) @ 2400 rpm</b>
Prueba 1	254.22
Prueba 2	260.05
Prueba 3	256.39
<b>Promedio</b>	<b>256.88</b>

### Resultados de opacidad.

A continuación, se presenta los resultados del opacímetro tanto para el vehículo Mazda como para Great Wall.

#### Resultados de opacidad para vehículo Mazda.

Se realizó 6 pruebas por cada combustible y se realizó gráficas para cada uno de ellos, las cuales se muestran en la figura 34.

Notamos que al emplear diésel al 100% la opacidad es alta y se va disminuyendo con el uso de los biocombustibles.

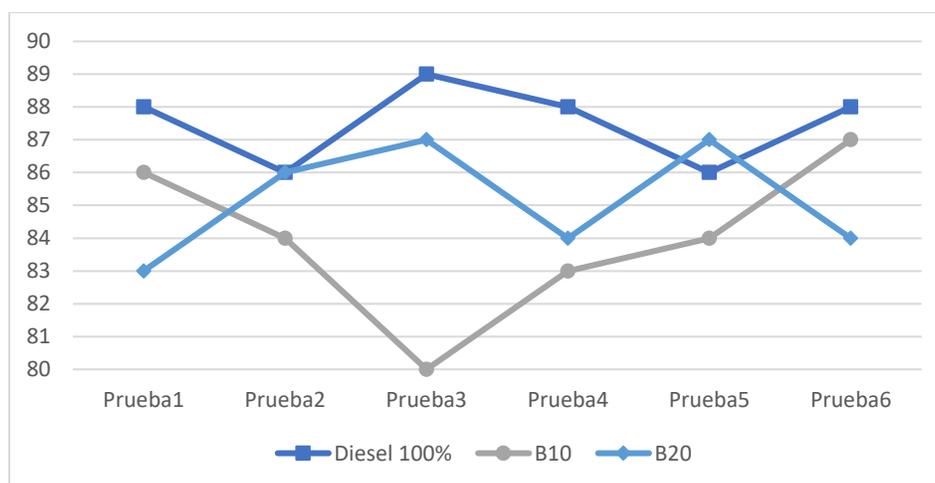


Figura 34. Gráficas de opacidad de 6 pruebas realizadas con cada combustible en el vehículo Mazda.

La tabla 34 contiene los datos de las 6 pruebas realizadas por cada combustible en la camioneta Mazda BT-50, y un promedio de igual manera para cada combustible.

Tabla 32

Opacidad de vehículo Mazda empleando diésel 100%, B10 y B20.

MAZDA BT-50							
OPACIDAD %							
	Prueba1	Prueba2	Prueba3	Prueba4	Prueba5	Prueba6	Promedio
<b>Diésel 100%</b>	88	86	89	88	86	88	87,50
<b>B10</b>	86	84	80	83	84	87	84,00
<b>B20</b>	83	86	87	84	87	84	85,17

### Resultados de opacidad para vehículo Great Wall.

Para la camioneta Great Wall Wingle5 se realizaron 6 pruebas con el opacímetro para cada combustible, con los datos se realizaron 3 gráficas una por cada combustible y se las presenta en la figura 35, donde es nuevamente muy notorio que las mezclas de biocombustible disminuyen los valores de opacidad.

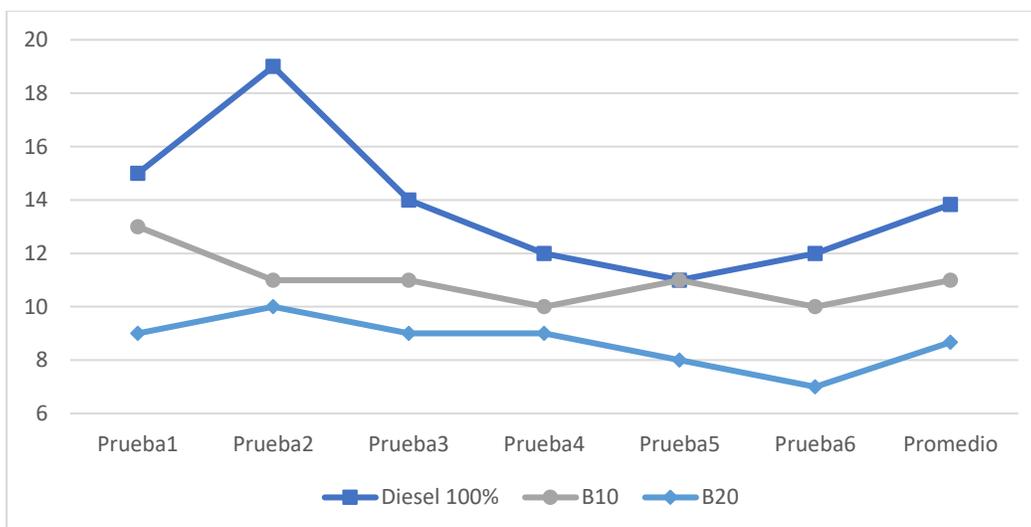


Figura 35. Gráficas de opacidad de 6 pruebas realizadas con cada combustible en el vehículo Great Wall.

La tabla 35 muestra los datos obtenidos de las 6 pruebas por combustible en el vehículo Great Wall con sus respectivos promedios.

Tabla 33

Opacidad de vehículo Great Wall empleando diésel 100%, B10 y B20.

GREAT WALL WINGLE5							
OPACIDAD %							
	Prueba1	Prueba2	Prueba3	Prueba4	Prueba5	Prueba6	Promedio
<b>Diésel 100%</b>	15	19	14	12	11	12	13,83
<b>B10</b>	13	11	11	10	11	10	11,00
<b>B20</b>	9	10	9	9	8	7	8,67

### Análisis y discusión de resultados

Una vez realizadas las pruebas en los vehículos para cada uno de los combustibles con mezclas de biodiésel/diésel y con los valores presentados se analiza cada resultado y discutirlo haciendo

una comparación con experiencias de otros autores.

### Análisis de Potencia.

#### *Análisis de potencia del vehículo Mazda.*

Para lograr entender las diferencias o igualdades con el uso de los diferentes combustibles, se realizó una gráfica general con los promedios de cada combustible en sus diferentes rpm, las cuales se muestran en la figura 36. Donde se ve que el combustible B20 y B10 logran una curva constante sin caídas abruptas a comparación con el diésel al 100%.

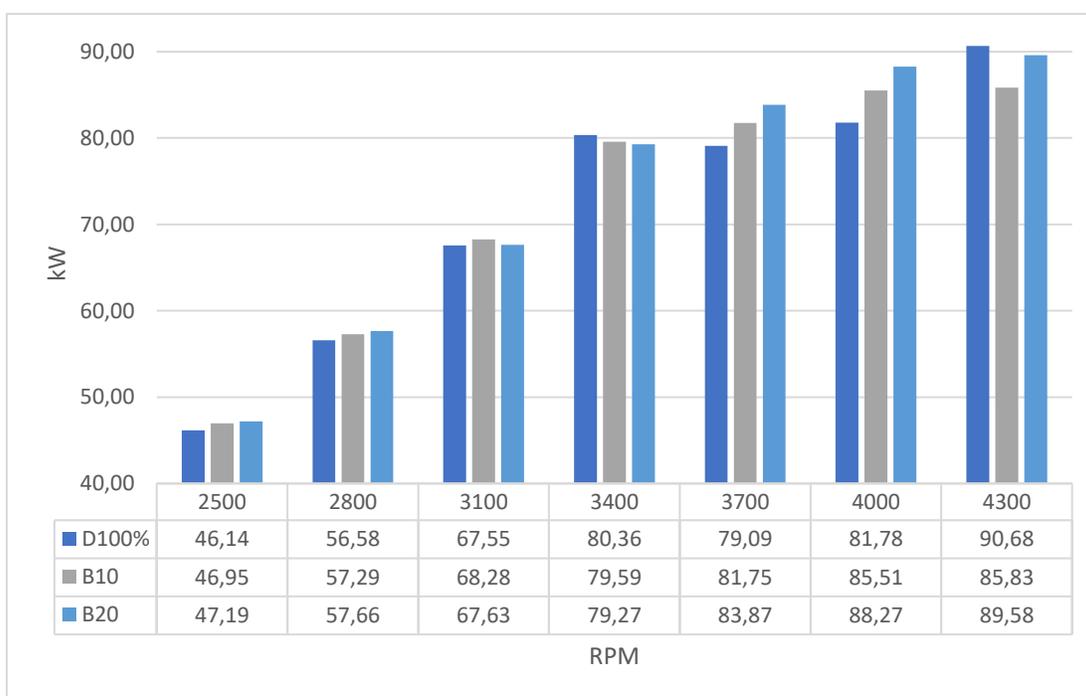


Figura 36. Gráficas de Potencia con los 3 combustibles empleados en el vehículo Mazda.

En la tabla 36 y figura 36 se presentan los promedios de potencia máxima obtenidos a 4300 rpm donde se evidencia que se obtiene el 90.68 kW con el combustible diésel 100%, 85.83 kW con combustible B10 y 89.58 kW con combustible B20.

Según la ficha técnica del vehículo estudiado que en este caso es la camioneta Mazda BT-50 dice que entre 3500 y 3700 rpm el torque máximo es de 104.40kW.

Tabla 34

Potencia promedio a 4300rpm para cada combustible del vehículo Mazda.

POTENCIA PROMEDIO @ 4300 rpm		
D100%	B10	B20
90.68	85.83	89.58

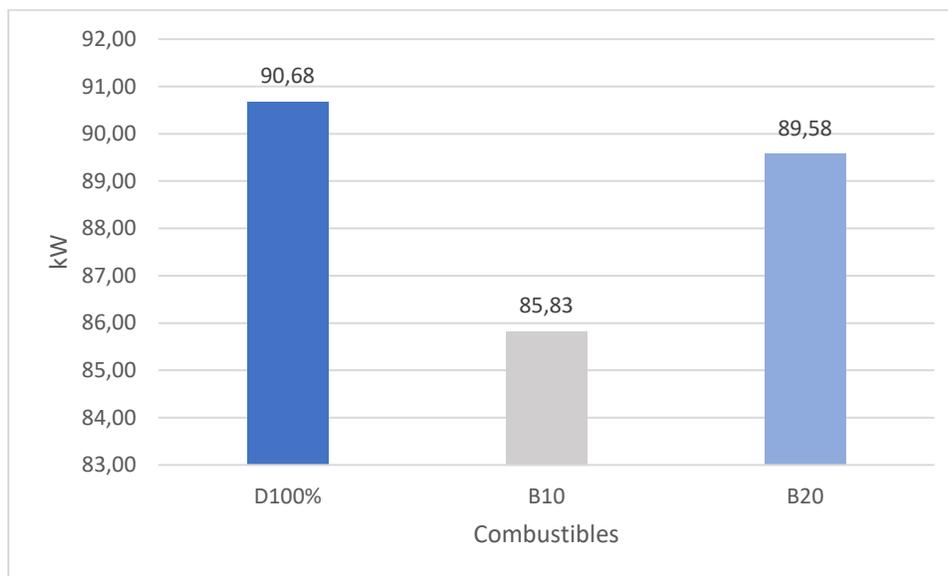


Figura 37. Potencias promedio a 4300 rpm para vehículo Mazda.

El diesel al obtener un 90.68 kW, es el cual se toma como referencia para obtener un decrecimiento de 5.35% con combustible B10 y de igual manera un decrecimiento de 1.21% con combustible B20 respecto al combustible diésel.

#### ***Análisis de potencia del vehículo Great Wall.***

En la figura 38 están representadas las gráficas de potencia promedio para cada combustible empleado en la camioneta Great Wall Wingle5 donde se nota curvas constantes donde el combustible diésel sobresale obteniendo una potencia superior, seguido del combustible B10 y por último el combustible B20.

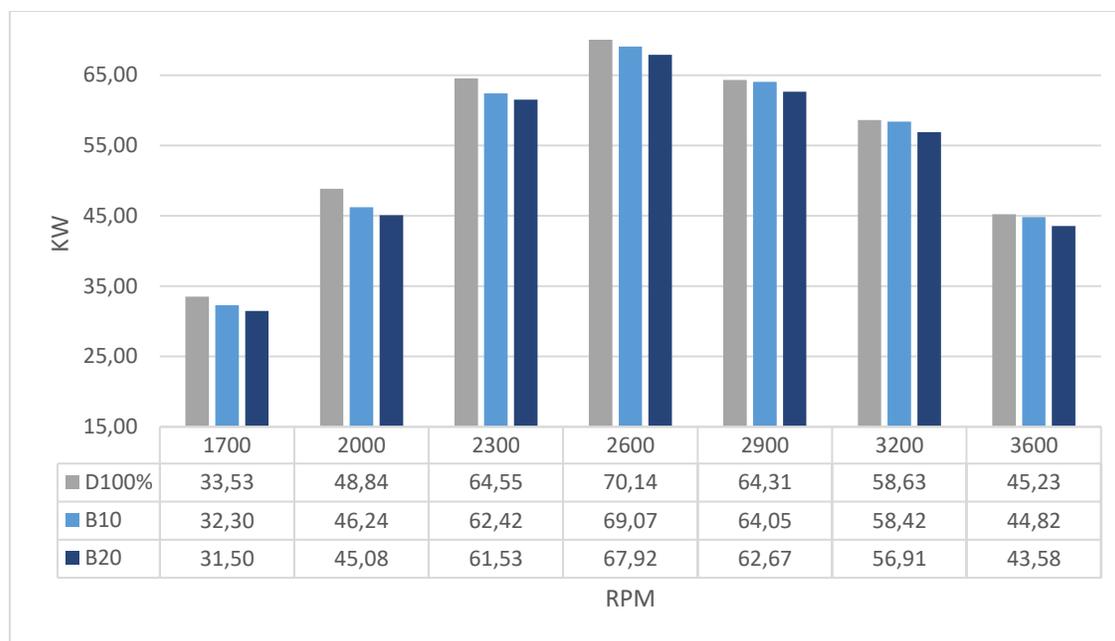


Figura 38. Gráficas de Potencia con los 3 combustibles empleados en el vehículo Great Wall.

En la tabla 37 se muestran el promedio de las potencias máximas obtenidas a 2700 rpm en la camioneta Great Wall empleando cada combustible.

La potencia nominal obtenida en la ficha técnica del vehículo es de 70.10 kW a 3600 rpm, en nuestro caso las potencias máximas se obtuvieron a 2700 rpm.

Tabla 35

Potencia promedio a 2700rpm para cada combustible del vehículo Great Wall.

<b>POTENCIA PROMEDIO @ 2700 rpm</b>		
<b>D100%</b>	<b>B10</b>	<b>B20</b>
69.91	68.96	67.92

La figura 39 grafica en columnas los promedios de potencia a 2700 rpm de la camioneta Great Wall, notándose nuevamente que el diésel tradicional es el que posee el máximo torque con 69.91 kW, seguido del combustible B10 con 68.96 kW y por último el combustible B20 con 67.92 kW.

Dejando así evidente que con el combustible diésel se obtiene una mayor potencia, obteniendo

un decrecimiento del 1.36% el combustible B10 y un decrecimiento del 2.85% el combustible B20; todos estos datos con respecto al combustible diésel.

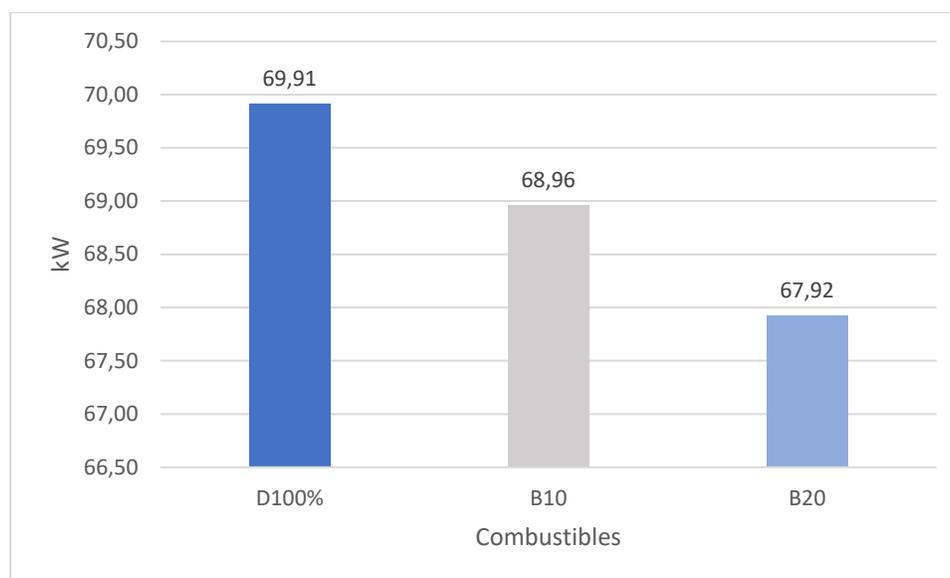


Figura 39. Potencias promedio a 2700 rpm para vehículo Great Wall.

### Análisis estadístico de Potencia de los vehículos V1 y V2.

#### Resultados de Potencia

Los datos estadísticos para las pruebas de potencia realizadas en los vehículos Mazda y Great Wall se presentan en la Tabla 38 a continuación:

Tabla 36  
Resultados de los estadígrafos de posición para potencia.

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
T1 Potencia máx	3	121.6	1.9	1.5625%	119.7	123.5
T2 Potencia máx	3	116.333	5.3799	4.62456%	110.5	121.1
T3 Potencia máx	3	120.3	3.53412	2.93776%	116.3	123.0
T4 Potencia máx	3	94.0033	0.162583	0.172955%	93.82	94.13
T5 Potencia máx	3	92.48	1.07	1.15701%	91.41	93.55
T6 Potencia máx	3	91.1733	1.60827	1.76397%	89.42	92.58
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>105.982</b>	<b>14.1444</b>	<b>13.3461%</b>	<b>89.42</b>	<b>123.5</b>

**Resultados de la evaluación estadística de potencia**

Para evaluar si entre los grupos experimentados existen o no diferencias significativas se aplica la tabla ANOVA (Tabla 39) en la cual se puede apreciar que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, por lo cual existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 37

Comparación de las diferencias entre grupos experimentados (potencia)

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Entre grupos	3303.5	5	660.7	81.23	0.0000
Intra grupos	97.6024	12	8.13353		
Total (Corr.)	3401.1	17			

Para evaluar entre que tratamientos existe o no diferencia significativa se aplica una prueba de múltiples rangos cuyo resultado los cuales se presenta en la tabla 40, en la misma se aprecia como en las pruebas T6, T5 y T4 (vehículo Great Wall con B20, vehículo Great Wall con B10 y el vehículo Great Wall con Diésel 100% respectivamente), no hay una variación de la potencia con el vehículo Great Wall experimentado con los diferentes combustibles por lo tanto estos tratamientos son los que tienen un mejor comportamiento. Por otra parte, con los tratamientos T2 y T3 (vehículo Mazda con B10 y vehículo Great Wall B20) así mismo para la camioneta Mazda son los de mejor comportamiento, es decir este vehículo se comporta mejor con mezcla de biodiésel. Todo lo anteriormente comentado también se representa en la figura 40 en forma de gráfico.

Tabla 38

Comparación de las diferencias entre grupos experimentales (potencia)

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T6 Potencia máx	3	91.1733	X
T5 Potencia máx	3	92.48	X
T4 Potencia máx	3	94.0033	X
T2 Potencia máx	3	116.333	X
T3 Potencia máx	3	120.3	XX
T1 Potencia máx	3	121.6	X

Nota: Método: 95.0 porcentaje LSD

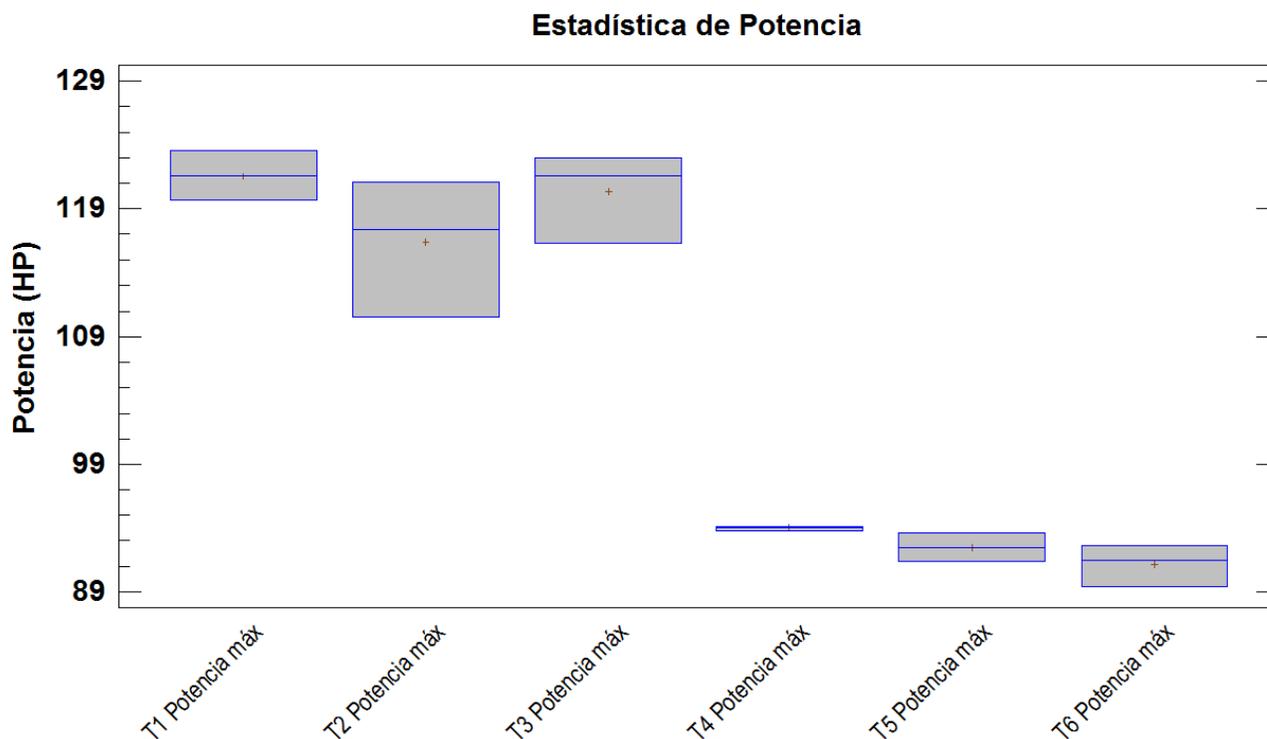


Figura 40. Gráfica de caja y bigotes para la potencia

### **Análisis de Torque.**

#### ***Análisis de torque del vehículo Mazda.***

Teniendo en cuenta los datos de la ficha técnica del vehículo Mazda BT-50 como base, que dicen que el torque máximo nominal es de 330 Nm entre 1500 y 2500 rpm. Se toma como máximos torques los obtenidos a 3400 rpm según los datos obtenidos en las pruebas de campo.

La figura 41 presenta las gráficas de torques promedios obtenidos a diferentes revoluciones, con las distintas mezclas de combustible. Donde sigue evidenciándose que el diésel es el mejor combustible para lograr desempeñar un mejor torque en el vehículo.

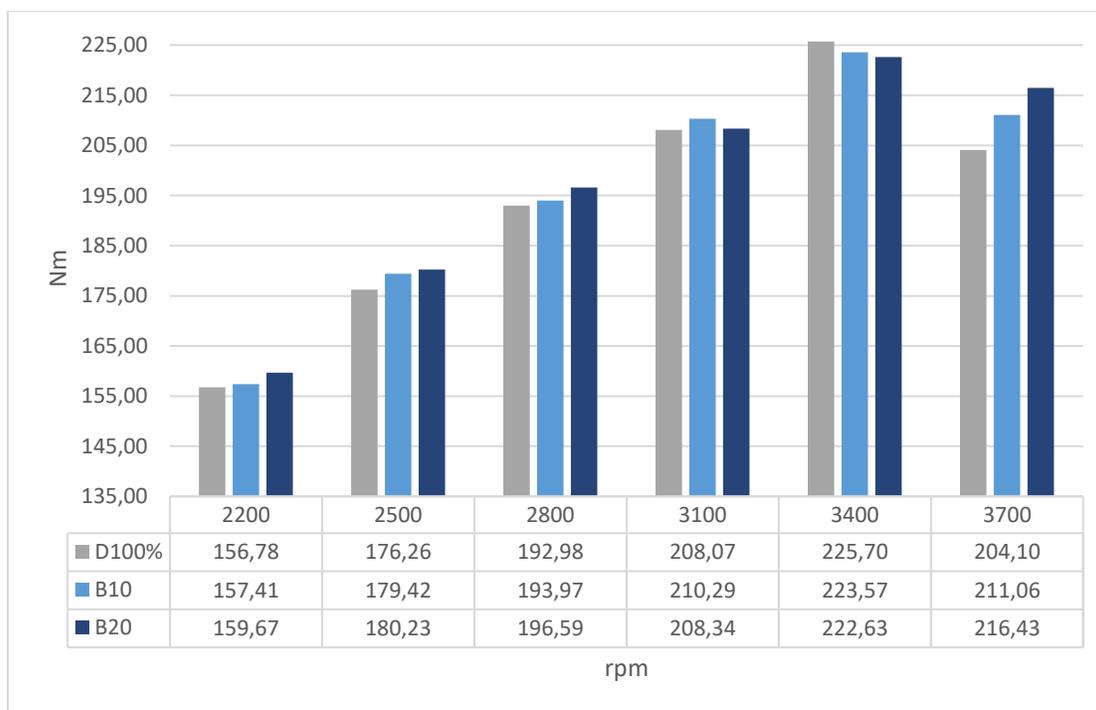


Figura 41. Gráficas de Torque con los 3 combustibles empleados en el vehículo Mazda.

La tabla 41 y la figura 42 muestran los datos máximos de torque promedio a 3400 rpm y con los respectivos combustibles utilizados.

Tabla 39

Torque promedio a 3400rpm para cada combustible del vehículo Mazda.

TORQUE PROMEDIO @ 3400 rpm		
D100%	B10	B20
225,70	223,57	222,63

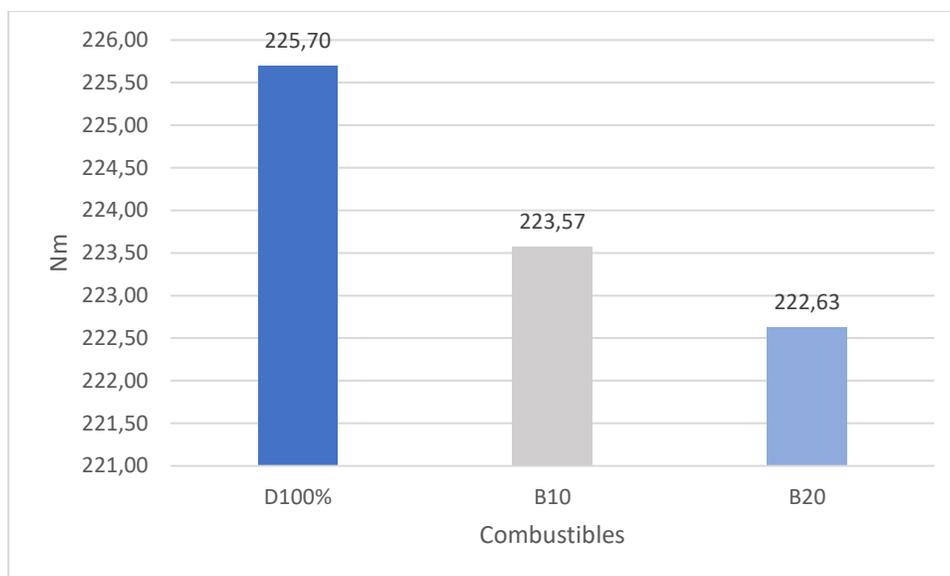


Figura 42. Potencias promedio a 3400 rpm para vehículo Mazda.

El diésel en el caso de la camioneta Mazda BT-50 es el que logra el mejor torque de 225.70 Nm seguido por el combustible B10 con un torque de 223.57 Nm y en último lugar el combustible B20 con 222.63 Nm. Dando a conocer con esto que con el combustible B10 se obtiene una disminución de torque en un 0.94% y con el combustible B20 una disminución de 1.36% todos con respecto al diésel respectivamente.

#### ***Análisis de torque del vehículo Great Wall.***

Conociendo que la ficha técnica del vehículo Great Wall toma el torque máximo entre 1800 y 2000 rpm y es de 215 Nm, se obtiene en nuestro caso el torque máximo a 2400 rpm.

Al término de las pruebas de torque se observa en la figura 43 las gráficas de torques promedios obtenidos con cada combustible empleados en la camioneta Great Wall Wingle5.

Donde se afirmó que el combustible diésel es el que obtiene los mejores resultados, pero no en gran diferencia con los biocombustibles.

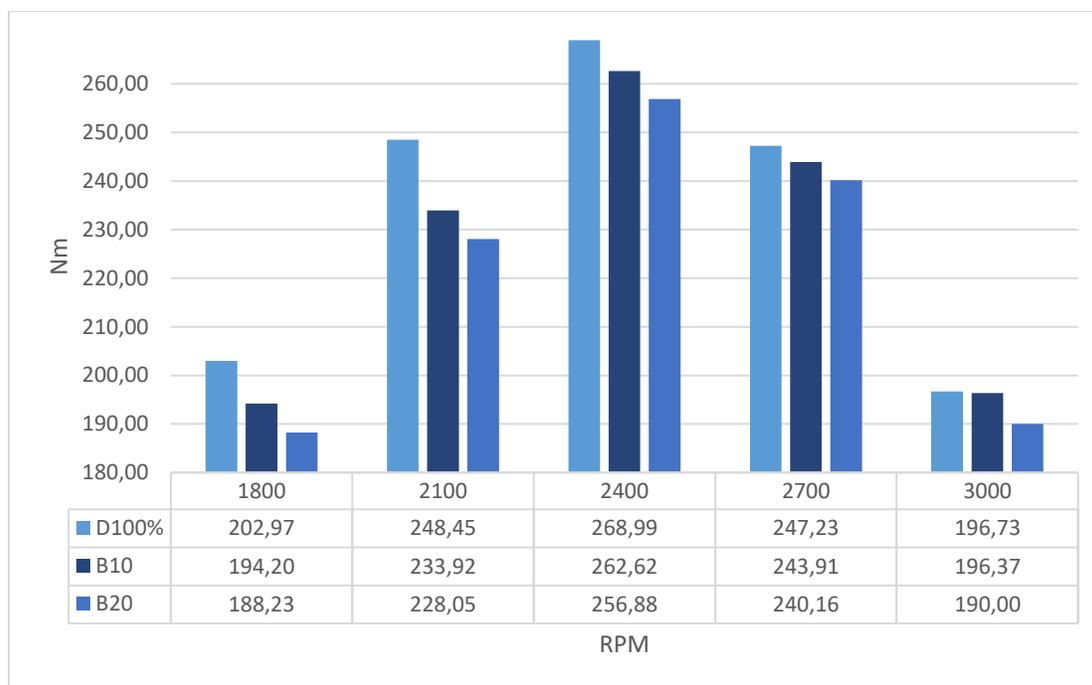


Figura 43. Gráficas de Torque con los 3 combustibles empleados en el vehículo Great Wall.

En la tabla 42 se observa las cantidades promedio de torque a 2400 rpm en donde se encontró los datos máximos con los diferentes combustibles.

Tabla 40

Torque promedio a 2400rpm para cada combustible del vehículo Great Wall.

TORQUE PROMEDIO @ 2400 rpm		
D100%	B10	B20
268,99	262,62	256,88

Los promedios obtenidos son para diésel 268.99 Nm, para combustible B10 262.62 Nm y para combustible B20 256.88 Nm (figura 44). Siguiendo evidenciando que el combustible diésel es el ganador y que entre los biocombustibles el combustible B10 es el que logra un mejor desempeño.

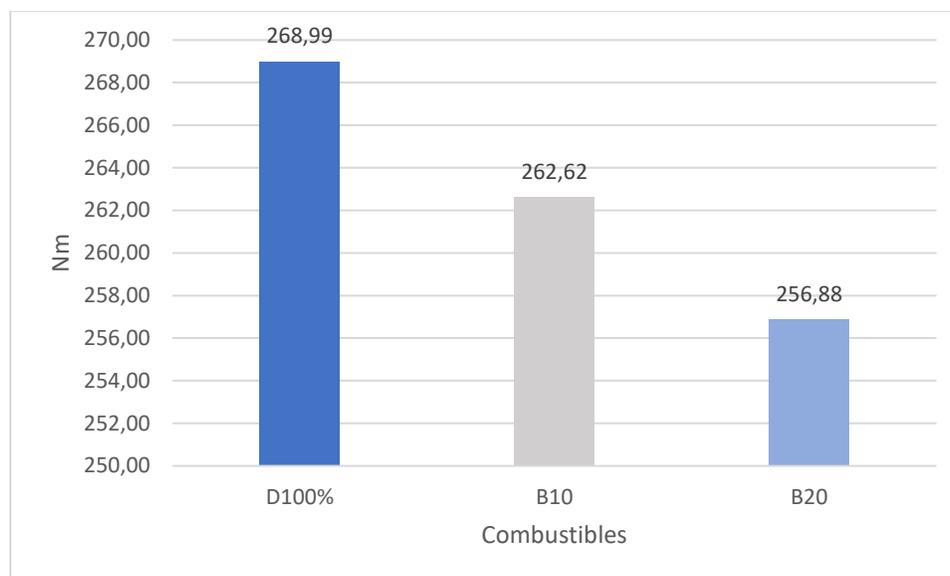


Figura 44. Torque promedio a 2400 rpm para vehículo Great Wall.

### Análisis estadístico de Torque de los vehículos V1 y V2.

#### Resultados de torque

La tabla 43 contiene los datos estadísticos de los tratamientos realizadas para torque en los vehículos Mazda y Great Wall.

Tabla 41  
Resultados de los estadígrafos de posición

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
T1 Torque máx	3	225.697	2.1713	0.962042%	223.57	227.91
T2 Torque máx	3	223.573	5.56849	2.49068%	219.1	229.81
T3 Torque máx	3	222.807	9.01707	4.04704%	213.68	231.71
T4 Torque máx	3	268.993	0.675006	0.250938%	268.32	269.67
T5 Torque máx	3	262.62	2.66884	1.01624%	260.45	265.6
T6 Torque máx	3	258.15	3.4041	1.31865%	254.22	260.18
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>243.64</b>	<b>20.8483</b>	<b>8.55702%</b>	<b>213.68</b>	<b>269.67</b>

#### Resultados de la evaluación estadística de opacidad.

De igual forma que en potencia, para evaluar si entre los grupos experimentados existen o no diferencias significativas se aplica la tabla ANOVA (Tabla 44), en la cual se puede apreciar que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, por lo cual existe una diferencia estadísticamente

significativa entre las medias de las 6 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 42

Comparación de las diferencias entre grupos experimentados de Torque

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7116.7	5	1423.34	62.70	0.0000
Intra grupos	272.393	12	22.6994		
Total (Corr.)	7389.1	17			

Con el fin de evaluar entre que tratamientos si existe o no diferencia significativa se aplica una prueba de múltiples rangos, tales datos de resultado los encontramos presentes en la tabla 45, en la misma se aprecia como en los tratamientos T3, T2 y T1 (vehículo Mazda con B20, vehículo Mazda con B10 y el vehículo Mazda con Diésel 100% respectivamente), no hay una variación de la torque significativa con el vehículo Mazda experimentado con los diferentes combustibles por lo tanto estas pruebas son las que tienen un mejor comportamiento. Por otra parte, con los tratamientos T6 y T5 (vehículo Great Wall con B20 y vehículo Great Wall B10) así mismo para la camioneta Great Wall son los tratamientos que mejor se comportan, es decir este vehículo se comporta mejor con mezcla de biodiésel. Todo lo anteriormente comentado también se representa en la figura 45 en forma de gráfico.

Tabla 43

Comparación de las diferencias entre grupos experimentados (Torque)

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T3 Torque máx	3	222.807	X
T2 Torque máx	3	223.573	X
T1 Torque máx	3	225.697	X
T6 Torque máx	3	258.15	X
T5 Torque máx	3	262.62	XX
T4 Torque máx	3	268.993	X

Nota: Método: 95.0 porcentaje LSD

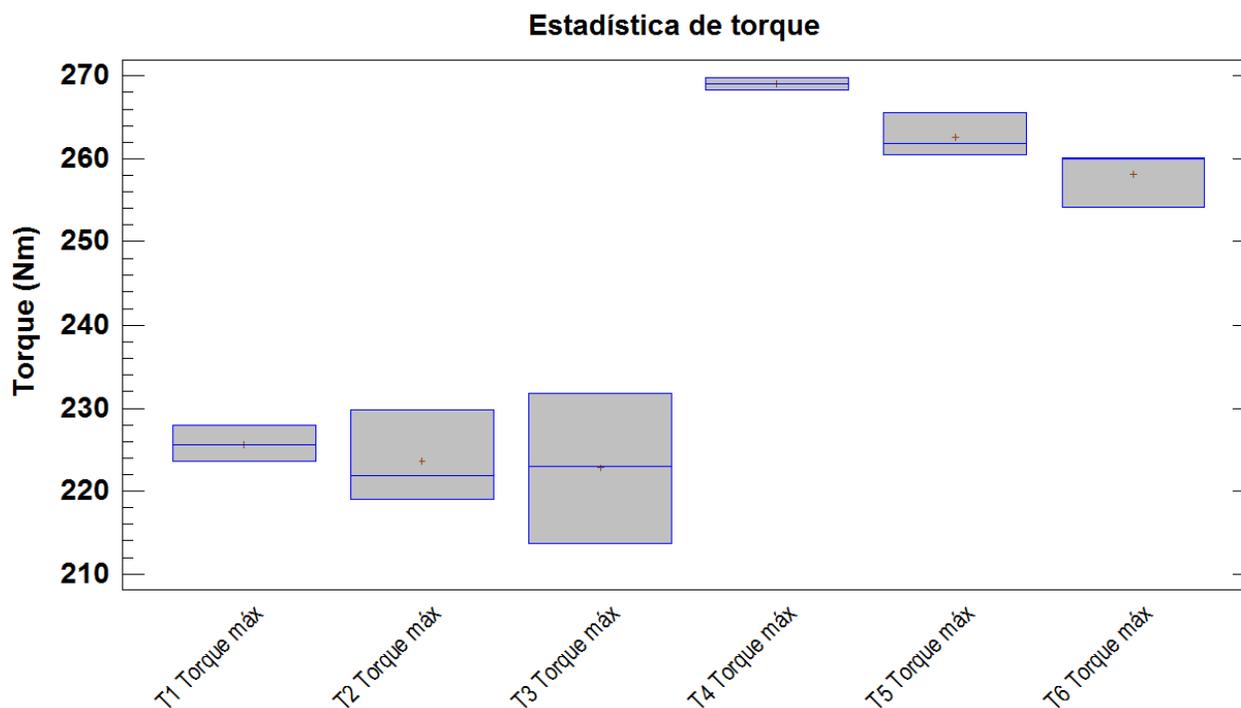


Figura 45. Gráfica de caja y bigotes para el torque

### Discusión de potencia y torque.

De acuerdo a los datos obtenidos en las pruebas realizadas en ambos vehículos se obtuvo una reducción de potencia y torque con uso de los biocombustibles. En torque la menor pérdida se obtuvo con el combustible B10 en ambos vehículos notándose una menor reducción en la camioneta Mazda de 0.94% menos con referencia al diésel fósil. (Aguilar, 2016) muestra en promedio un aumento de 12.7, 22.4 y 6.4% utilizando las mezclas B5, B10 y B20 respectivamente, en comparación con lo obtenido con diésel; realizando una comparación con nuestras pruebas el combustible B10 es el mejor biocombustible donde se podría especular que existe un equilibrio de torque con respecto al combustible diésel fósil.

(Reyes G., 2016), dice que el par motor más alto está dado en el combustible ecuatoriano mientras que el biodiésel B5 mostró el valor más alto segundo por el B30 y el B10 obtuvo el valor más bajo entre los combustibles; se obtuvo una similitud con respecto los dicho por (Reyes G., 2016), ya que el diésel es el que provoca un mayor torque en todos los casos estudiados, y

entre los biocombustibles el mejor torque se obtuvo con combustible B10.

Por otra parte, la potencia obtuvo una menor reducción en la camioneta Mazda con el combustible B20 de 1.21% menos. En cambio, en el vehículo Great Wall se obtuvo una mayor reducción de potencia con el combustible B10 en 1.36% menos potencia a comparación con el uso del diésel fósil. (Aguilar, 2016) en cambio, menciona que la potencia del motor se incrementa en un 14.5% en la mezcla B10 logra el mejor desempeño. Coincidió con (Aguilar, 2016), ya que el combustible B10 de entre las mezclas de biocombustibles solo decreció la potencia en 1.36%, siendo el combustible B10 es el mejor en potencia.

(Reyes G., 2016), menciona que el combustible ecuatoriano posee la mejor potencia, seguido por el diésel colombiano, mientras que en los biocombustibles el B10 posee el menor valor y el B5 fue el de mayor valor. Se comparte la experiencia ya que de igual manera el diésel es el combustible que produce mejor potencia seguido del combustible B10 y por último el B20.

### **Análisis de opacidad**

#### ***Análisis de opacidad del vehículo Mazda.***

A continuación en la figura 46 se presenta un gráfico de columnas, con el promedio de cada uno de los combustible empleados en la camioneta Mazda BT-50 donde se logra evidenciar que el combustible B10 reduce la opacidad en 4% con respecto al combustible diésel y que el combustible B20 reduce la opacidad en 2.67% de igual manera con respecto al combustible fósil diésel; entre los biocombustibles notamos que el combustible B10 es el más óptimo para lograr una reducción notable de opacidad en el vehículo Mazda.

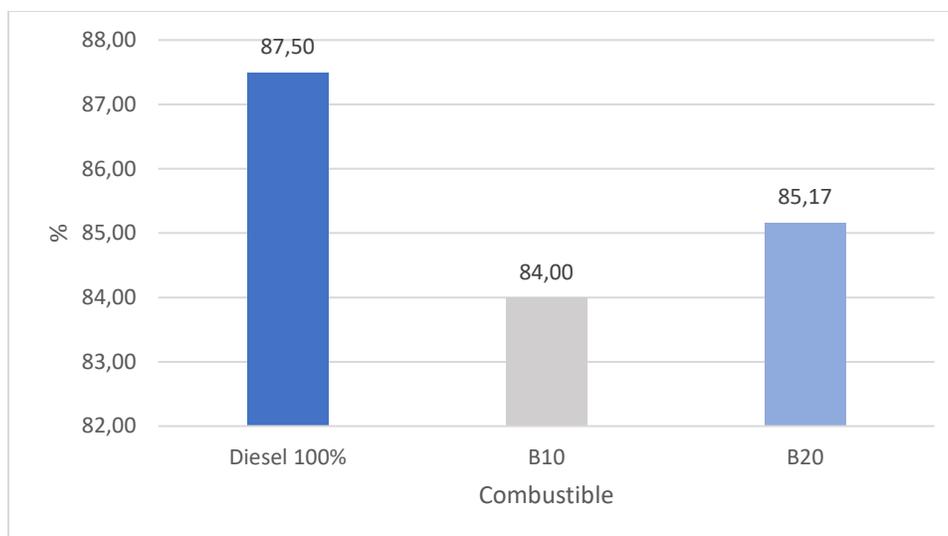


Figura 46. % promedio de opacidad para vehículo Mazda.

### **Análisis de opacidad del vehículo Great Wall.**

El promedio de porcentaje de opacidad con el uso de cada combustible en la camioneta Great Wall se presenta a continuación en la figura 47, donde la reducción de opacidad es notoria con el combustible B20 en un 37.35% en comparación con el diésel y el B10 posee una reducción del 20.48% de igual manera con respecto al diésel fósil. Las mezclas de biocombustible confirman una reducción significativa de la opacidad.

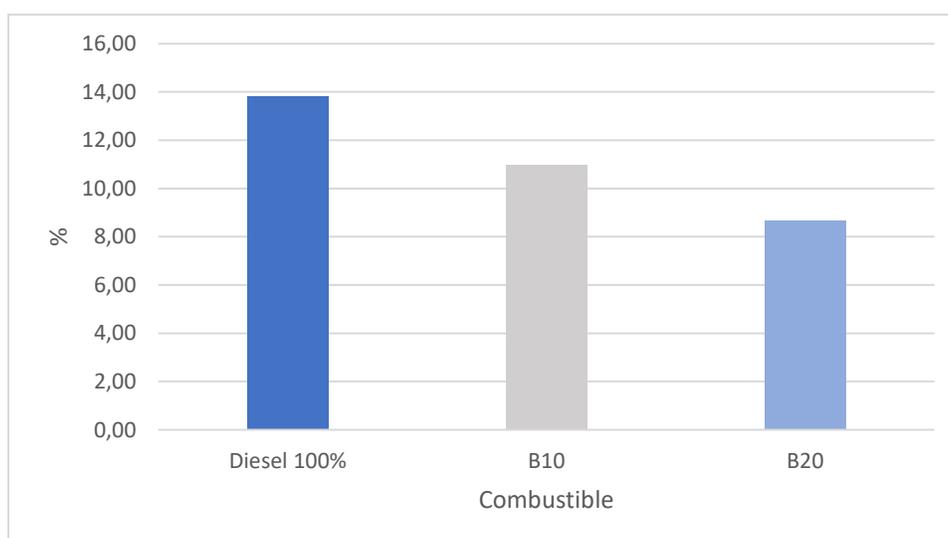


Figura 47. % promedio de opacidad para vehículo Great Wall.

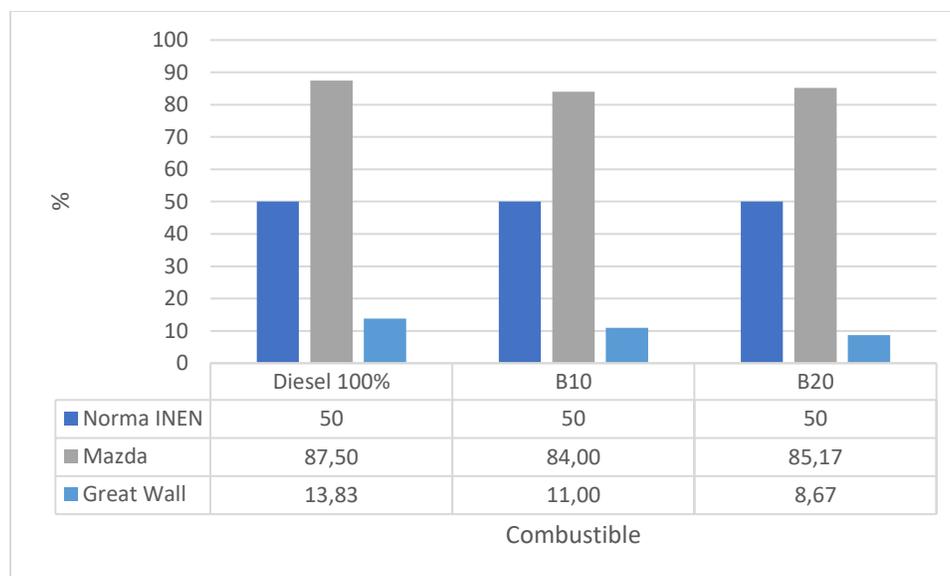


Figura 48. Opacidad comparada con norma INEN..

### Análisis estadístico de Opacidad de los vehículos V1 y V2.

#### Resultados de opacidad

Se realizó un análisis estadístico el cual se presenta en la Tabla 46, donde contienen los promedios, desviaciones estándar, máximo y mínimos de las experiencias tratadas.

Tabla 44

Resultado de los estadígrafos de posición (opacidad)

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
T1 opacidad	6	87.5	1.22474	1.39971%	86.0	89.0
T2 opacidad	6	84.0	2.44949	2.91606%	80.0	87.0
T3 opacidad	6	85.1667	1.7224	2.02239%	83.0	87.0
T4 opacidad	6	13.8333	2.92689	21.1582%	11.0	19.0
T5 opacidad	6	11.0	1.09545	9.95859%	10.0	13.0
T6 opacidad	6	8.66667	1.0328	11.9169%	7.0	10.0
<b>Total</b>	<b>36</b>	<b>48.3611</b>	<b>37.8071</b>	<b>78.1767%</b>	<b>7.0</b>	<b>89.0</b>
<b>Total</b>	<b>36</b>	<b>48.5</b>	<b>37.8731</b>	<b>78.0889%</b>	<b>9.0</b>	<b>89.0</b>

**Resultados de la evaluación estadística de opacidad.**

Para evaluar si entre los grupos experimentados existen o no diferencias significativas se aplica la tabla ANOVA (Tabla 47), en la cual se puede apreciar que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, por lo cual existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 45

Comparación de las diferencias entre grupos experimentados (opacidad)

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Entre grupos	49921.8	5	9984.36	2812.50	0.0000
Intra grupos	106.5	30	3.55		
Total (Corr.)	50028.3	35			

Para lograr, evaluar entre que tratamientos si existe o no diferencia significativa se aplica una prueba de múltiples rangos, tales datos de resultado se encuentran presentes en la tabla 48, en la misma se aprecia como en los tratamientos T6 (vehículo Great Wall con B20) es que logra comportarse mejor es decir el combustible B20 reduce la opacidad mejor que en los otros casos, seguido por el combustible B10 en el mismo vehículo, por lo tanto se puede argumentar que los biodiésel reducen la opacidad significativamente. Por otro lado, en los tratamientos T2 y T3 (vehículo Mazda con B10, vehículo Mazda con B20), no hay una variación de la opacidad significativa con el vehículo Mazda experimentado, pero de igual manera son las mezclas de biodiésel las que se comportan mejor y logran reducir la opacidad significativamente. Todo lo anteriormente comentado también se representa en la figura 48 en forma de gráfico.

Tabla 46

Comparación de las diferencias entre grupos experimentados (opacidad)

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T6 opacidad	6	8.66667	X
T5 opacidad	6	11.0	X
T4 opacidad	6	13.8333	X
T2 opacidad	6	84.0	X
T3 opacidad	6	85.1667	X
T1 opacidad	6	87.5	X

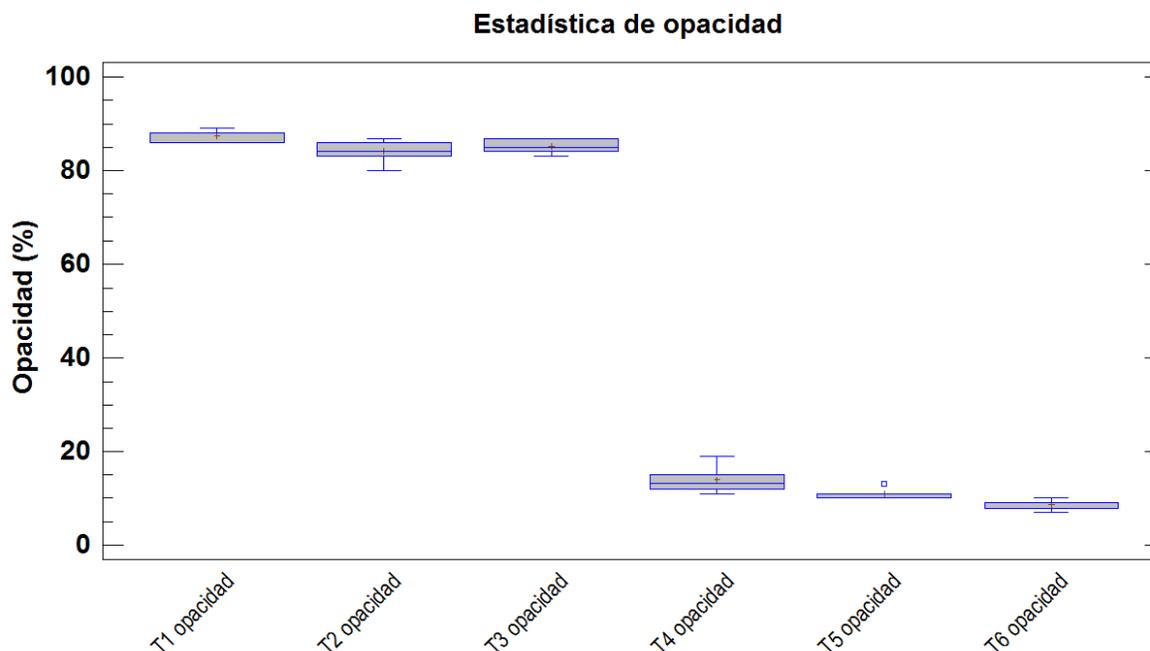


Figura 49. Gráfica de caja y bigotes para la opacidad

### Discusión de opacidad.

(Villacis Y., 2016), dice que los valores de opacidad con el uso de biocombustible son menores a diferencia del uso de diésel, en cuanto a lo mencionado por (Villacis Y., 2016), tenemos una semejanza ya que en todos los casos estudiados los biocombustibles son los que logran una disminución en la opacidad.

(Soledispa & Llunitasig, 2017), menciona que en el uso de biodiésel producido se sebo de res se consigue disminuir hasta un 62% los niveles de opacidad. En cambio, en el estudio el biocombustible utilizado es de aceites vegetales donde la mezcla B20 redujo un 37.35% los niveles de opacidad en la camioneta Great Wall; y en la camioneta Mazda la mezcla B10 redujo la opacidad en un 4 %. Hay que tomar en cuenta que la camioneta Great Wall es 2017 y la camioneta Mazda es 2015 podría existir desgaste en sus componentes.

(Benavides, 2017), concluye que se ha notado la reducción de 60% en la opacidad de motores diésel con el uso de biodiésel a partir de aceite de higuera en relación al diésel.

Según la biografía obtenida de experiencias similares todos concluyen al igual q nuestra experiencia que los biocombustibles o mezcla de biodiésel son óptimos para lograr reducciones significativas en opacidad.

## Conclusiones

- Se caracterizó el biodiésel utilizado de aceites vegetales como aditivo del diésel en porcentajes del 10% y 20% respectivamente.
- Se realizó pruebas de rendimiento mecánico en este caso de torque y potencia en los vehículos tipo camioneta marcas Mazda y Great Wall en un dinamómetro debidamente calibrado.
- Se realizó pruebas de opacidad en un equipo calibrado en condiciones estáticas en aceleración libre.
- Se realizó las pruebas de rendimiento mecánico con las distintas mezclas de diésel al 100% y diésel/biodiésel, lográndose el máximo toque y potencia en la tercera marcha para ambos vehículos.
- Se utilizó las fichas técnicas de los vehículos para comparar la potencia y el torque nominal, donde es muy notorio que la mezcla de combustible B20 en el vehículo Mazda mantiene la potencia estable con respecto al diésel; lo mismo que logra el combustible B10 con el torque en el mismo vehículo. En cambio, en la camioneta Great Wall el combustible B10 mantiene estable tanto la potencia como el torque en ambos casos. Por lo tanto, se concluye que la mezcla de combustible B10 es la más óptima logrando mantener tanto el torque como la potencia sin disminuciones significativas.
- Se logró evidenciar que, en comparación de las mezclas de biodiésel con el diésel fósil, tanto la potencia como el torque no logran superarlas, en cambio en comparación entre las mezclas de biodiésel en los casos B10 y B20, se concluyó que la mezcla B10 es la más óptima para sustituir al diésel al 100%, obteniendo solo una reducción del 2.37% en torque y una reducción de 1.367% en potencia con respecto al diésel estos datos fueron obtenidos en

el vehículo Great Wall. En cambio, en el vehículo Mazda se obtuvo una reducción de 0.94% en torque con el combustible B10 y una reducción del 1.21% con la mezcla de combustible B20. Esto concluye que a medida que se aumenta la concentración de biodiésel en la mezcla la eficiencia térmica disminuye, esto debido a los problemas de atomización y aumento de viscosidad y densidad del combustible.

- Se observó que el turbo del vehículo empieza a trabajar con presiones menores a 0 es decir que el turbo realiza un trabajo mayor debido a que estamos a 2800 m sobre el nivel del mar.
- Se realizó las pruebas de opacidad en los dos vehículos empleando lo dicho en la norma INEN 2207-2002, por lo cual se logró determinar que el Vehículo Great Wall cumple la dicha norma en cambio la camioneta Mazda no la cumple es debido a que dicho vehículo podría tener daños en su sistema de inyección.
- Se apreció con las pruebas realizadas de opacidad que la mezcla de combustible B20 con respecto al diésel fósil redujo la opacidad en un 37.35% en el vehículo Great Wall, en cambio en el vehículo Mazda se obtuvo una reducción del 4% con la mezcla de combustible B10; esto nos ayuda a concluir que los combustibles con mezclas de biodiésel si reducen la emanación de humo negro o opacidad de los vehículos ayudando así a la disminución de contaminación del ambiente. Por lo tanto, se concluye que, a mayor concentración de mezcla parcial de biodiésel, más se visualiza la disminución del característico humo negro de los vehículos diésel que en los ensayos disminuyó su opacidad satisfactoriamente.
- En general la opacidad disminuye a medida que se incrementa el biodiésel en la mezcla, esto debido a que la emisión de material particulado disminuye.

## Recomendaciones

- El aportar a mantener el ambiente juega un papel importante en la actualidad, es por esto que el poder investigar más sobre la generación de biocombustibles con desechos como materia prima, para el empleo de los mismos como combustibles del parque automotriz.
- Mantener un adecuado mantenimiento tanto preventivos como correctivos de los vehículos ayudaría a reducir emanaciones de humo negro y en especial reducir el excesivo consumo de combustibles.
- Se recomendaría realizar más estudios sobre las afectaciones de los biocombustibles en los motores actuales en especial en la inyección de los sistemas.
- Realizar investigaciones de desempeños de vehículos diésel en diferentes alturas referente al nivel del mar para comprender la relación de los esfuerzos realizados por el turbo del vehículo.
- Controlar el sistema de cambios de combustible evitando que la bomba de combustible aspire aire, ya que esto provocaría daños al sistema de inyección.
- Promover pruebas con mezclas de diésel/biodiésel similares en vehículos de diferentes marcas, pero con igual cilindraje, con el fin de cotejar los datos obtenidos.

**Bibliografía**

- Agudelo J., B. I. (2005). *Emisiones gaseosas y opacidad del humo de un motor operando con bajas concentraciones de biosel de palma*. Ingeniería & desarrollo. Universidad del Norte.
- Agudelo, J., Benjumea, P., Gomez, E., & Perez, J. (2003). *BIODIESEL Ingeniería y Desarrollo*. Obtenido de Una revision desempeño mecanico y ambiental : <http://www.redalyc.org/pdf/852/85201301.pdf>
- Aguilar, R. C. (2016). *DESEMPEÑO MECÁNICO DE UN MOTOR DIESEL CON MEZCLAS BIODIESEL DE ACEITE RESIDUALES/DIESEL*. Mexico.
- Altamar., A. (2014). *Revisión del efecto del uso de biocombustibles en la opacidad de emisiones generadas por motores diesel*. Bogota: Universidad Libre.
- Arraya, P. (2009). *Efecto de la Utilización de Biodiesel Sobre las Emisiones de Vehículos Pesados*.
- ASTM. (2013). *Biosiesel blend (B6 to B20). Starndard Specificatuin for Diesel Fuel Oil, 1-2*.
- Benavides, .. I. (2017). Comparación de la producción de hollin con B5 a base de aceite de ricino con diesel fósil en motores de compresión. *Revista mensual de la UIDE extensión Guayaquil*.
- Benjumea, .. P. (2004). *PRUEBAS CORTAS EN RUTA EN UN VEHÍCULO TIPO MICROBUS CON BIODIESEL DE ACEITE DE PALMA COLOMBIANO*. Pereira: Universidad Tecnológica Pereira.
- Bennet. (1998). *Modelling road user effects in HMD-4*. University of Birmingham.
- Bosch. (2005). Sistema de inyección diesel. *BOSCH*.
- Cardenas, M. A. (2016). *Estudio de las emisiones de motores diesel de automoción en condiciones de funcionamiento transitorias al usar biodiesel*.
- Chacon, L. (2017). *Estudio de los parametros de reaccion para la produccion de biodiesel en condiciones no convencionales a partir de aceite de palma*. Obtenido de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13302/1/T-ESPEL-IPE-0002.pdf>
- Decreto Ejecutivo 1303. (17 de Septiembre de 2012). *International energy agency*. Obtenido de [http://www.iea.org/media/pams/ecuador/PAMs\\_Ecuador\\_Blendingmanadate201.pdf](http://www.iea.org/media/pams/ecuador/PAMs_Ecuador_Blendingmanadate201.pdf)
- Decreto Ejecutivo 1303. (17 de Septiembre de 2012). *International Energy Agency*. Obtenido de [http://www.iea.org/media/pams/ecuador/PAMs\\_Ecuador\\_Blendingmanadate201.pdf](http://www.iea.org/media/pams/ecuador/PAMs_Ecuador_Blendingmanadate201.pdf)
- Dynojet. (2006). *Automotive Catalg . Dynamometers and diagnostic*.
- Eugenio C, M. F. (2016). *Evaluación del comportamiento y emisiones en un motor de combustion interna utilizando una mezcla diesel-Queroseno*. QUITO.
- Fernández, J. (2007). *ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO Y EXPERIMENTAL DE LAS EMISIONES Y PRESTACIONES DE UN MOTOR TRABAJANDO CON BIODIESEL*.
- Gorky, G., Castillo, J., & Escalante, A. (2016). DETERMINACION DE TORQUE Y POTENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA UTILIZANDO MEZCLAS PARCIALES DE BIODIESEL. *Ingeniería solidaria, vol 12, 22-29*.
- Hernandez J., Z. G. (2014). Emisión de gases en vehículo experimental diésel-biodiésel. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala, N°27, 64-67*.
- HL Méndez, J. R. (2015). PODER CALORÍFICO INFERIOR DE BIODIESEL DE DISTINTAS FUENTES Y SU DESEMPEÑO EN EL MOTOR. *Trabajo*.
- Imbaquingo, R., Melo, J., Mafla, C., Benavides, I., & Hernández, E. (2018). CUANTIFICACION DE LA OPACIDAD EN MOTORES ELECTRICOS DIESEL USANDO DIESEL Y BIODIESEL. *Revista de Ciencia y Tecnologia , 102-105*.
- INEN. (2009). *Norma Técnica Ecuatoriana NTN INEN 2482:2009*. Obtenido de Biodiesel requisitos: <https://archive.org/details/ec.nte.2482.2009>
- INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2002). *Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones por fuentes móviles terrestres de diesel., Primera. Quito, Ecuador*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalizacion. (2000). *GESTION AMBIENTAL . VEHICULOS*

*AUTOMOTORES. DETERMINACION DE LA OPACIDAD DE EMISIONES DE ESCAPE DE MOTORES DE DIESEL MEDIANTE LA PRUEBA ESTATICA. METODO DE ACELERACION LIBRE . QUITO: INEN .*

- Issariyakul, T., & Dalay, A. (2014). Biodiesel from vegetable oils. *Renewable and sustainable Energy Reviews*, 31.
- Llanes, E. A., Rocha, J. C., Zambrano, V. D., & Carvajal, A. S. (2017). *Teoría de selección y dimencionamiento del parque automotriz*. Quito: Comisión Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.
- Llanes, E., Rocha, J., Salazar, P., & Medrano, J. (2017). Produccion e impacto de biodiesel . *INNOVA Research Journal*, 59-76.
- Lopez, N., De los Santos Reyes, I., Jimenez, A., & Palacios, R. (s.f.). *BIODIESEL*. Obtenido de Historia detras de la moda: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36967867/Biodiesel.pdf>
- Mafla, C., Benavides, I., & Hernández, P. (05 de Junio de 2017). Comparacion de la producción de hollín con B5 a base de aceite de ricino con diesel fosil en motores de compresión. Tulcan , Carchi, Ecuador .
- Milo Carmenate, V. (2004). Definición de un ciclo de movimiento básico para camiones diesel. En J. Padron Hernades, & J. R. Fuentes Vega, *Ingenieria mecánica* (págs. 49-57). La habana, Cuba: Instituto superior politécnico Jose Antonio Echeverria.
- Montilla, F. (01 de Mayo de 2014). *Biocombustibles-Inversión Mundial*. Obtenido de <https://www.econlink.com.ar/biocombustibles-inversion-mundial-biocombustibles>
- Morones, A. (12 de Diciembre de 2016). Pruebas en dinamometro de chasis a un vehiculo diesel de pasajeros utilizando mezclas de biodiesel y diesel. Monterrey, Mexico.
- Morones, A. R. (2016). *Pruebas en dinamómetro de chasis a un vehículo dies*. Monterrey.
- Motto, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. Mexico: Pearson Educación.
- Pérez, E., Otero, M., & Delgado, A. (2012). Produccion de biodiesel a partir de organismos oleaginosos. *Una fuente de energia renovable* , 22-32.
- Pulkrabek, W. (2013). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. Canada: Practice Hall.
- Pulkrabek, W. (2013). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. Canada: Practice Hall.
- Quintero, C., & Moreno, S. (2014). *Caracterizacion del desempeño de un motor diesel a partir de la implementacion de diferentes mezclas biocombustible/diesek*. Obtenido de <http://repository.usta.edu.co/handle/11634/3592>
- Reyes G., C. J. (2016). *Determinación de torque y potencia de un motor de combustión interna utilizando mezclas parciales de biodiésel*. Quito.
- Robles, T. (2016). *DISEÑO DE PROCESOS PARA LA APLICACIÓN* .
- Rocha, J. C., Llanes, E. A., Tipanluisa, L., & Velastegui, G. (2017). Análisis Comparativo de los Gases Residuales de la Combustión y Fallas en Motores.
- Rocha, J. H., & Zambrano, V. D. (2015). Análisis del funcionamiento del motor de encendido provocado, debido a la presencia de aditivos.
- Rocha, J., & Zambrano, V. D. (2016). *Análisis del M.E.P. bajo la presencia de aditivos en el combustible*. Editorial académica española.
- Rocha, J., Llanes, E. A., Portilla, Á. A., & Tipanluisa, L. (2017). Emission factors city- Memorias Congreso Internacional de Ingeniería CICI 2017.
- Rocha, J., Luis Tipanluisa, D. Z., & Portilla, Á. (2017). Influencia de la aditivación del combustible en el motor de encendido provocado a 2800m. *VI CONGRESO COLOMBIANO Y CONFERENCIA INTERNACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE Y SALUD PÚBLICA, SANTIAGO DE CALI, 2017*.
- Rodríguez, D. (07 de Diciembre de 2017). Estudio del comportamiento del motor a gasolina utilizando bioetanol a partir despojos de maiz en la provincia de Imbabura-Ecuador. Ibarra, Imbabura , Ecuador .
- Salazar, P., Medrano, J. L., Llanes, E. A., & Rocha, J. C. (2017). Producción e impacto del biodiesel: Una

- revisión.
- Santivañez, L. (ABRIL de 2016). *Evaluación experimental del consumo de combustible y las emisiones gaseosas de un motor diesel utilizando 3 mezclas de diesel y biodiesel DB5, DB7, DB10*.  
Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/54227457.pdf>
- Santivañez, L. A. (2016). *Evaluación experimental del consumo de combustible y las emisiones gaseosas de un motor diesel utilizando 3 mezclas de diesel y biodiesel: DB5, DB7, 5 y DB10*.
- Soledispa, H., & Llumitasig, M. (2017). *CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL BIODIESEL OBTENIDO POR TRANSESTERIFICACIÓN A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA Y SU INFLUENCIA COMO ADITIVO EN EL RENDIMIENTO MECÁNICO DEL MOTOR DEL VEHÍCULO MAZDA BT-50*. Latacunga.
- Stratta, J. (2000). *Biocombustibles: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel*.
- Torres, A. (2015). *PODER CALOR INFERIOR DE BIODIESEL DE DISTINTAS FUENTES Y SU DESEMPEÑO EN EL MOTOR*. Pachuca.
- Torres, A., Castillo, V., Lugo, R., Lugo, H., Cervantes, J., & Aguilar, R. (2015). Poder calorífico inferior de biodiesel de distintas fuentes y su desempeño en el motor. *MEMORIAS DEL XXX CONGRESO NACIONAL DE TERMODINAMICA*, 9-14.
- Valencia, G. (22 de Octubre de 2008). Centro Nacional de Metrología . *Trazabilidad en las Mediciones de Opacidad*. Querétro, Mexico .
- Villacis Y., B. D. (2016). *CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIESEL A PARTIR DE ACEITE DE FRITURAS, EN CONCENTRACIÓN 5% - 10% - 15% - 20% - 30% PARA DETERMINAR LOS PARÁMETROS TÉRMICOS Y MECÁNICOS DEL MOTOR*. Latacunga.
- Yépez Mafla C, R. N. (2018). Cuantificación de la opacidad en motores electrónicos diésel usando diésel y biodiésel. *Ingenius*.

## ANEXOS

*Anexo A. Prueba de Torque con diésel 100% en camioneta Mazda*

MAZDA DIÉSEL 100%				
RMP	Torque N-m			Promedio
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	D 100%
1100	115,05		96,98	106,02
1200	115,81		108,70	112,25
1300	118,72	98,65	118,25	111,87
1400	121,70	126,05	122,13	123,29
1500	125,09	125,54	126,82	125,82
1600	129,52	129,89	131,13	130,18
1700	134,14	133,91	135,50	134,52
1800	137,48	137,07	138,97	137,84
1900	142,36	141,68	143,72	142,59
2000	148,19	147,24	148,87	148,10
2100	152,53	151,44	152,94	152,30
2200	157,14	155,78	157,41	156,78
2300	163,10	161,88	162,97	162,65
2400	170,02	169,34	170,16	169,84
2500	176,39	175,58	176,80	176,26
2600	183,04	181,82	183,31	182,72
2700	189,14	187,51	188,46	188,37
2800	193,75	192,25	192,93	192,98
2900	197,54	195,78	197,27	196,86
3000	201,88	199,58	201,75	201,07
3100	208,93	206,76	208,52	208,07
3200	216,93	215,85	216,52	216,43
3300	222,22	222,76	223,98	222,99
<b>3400</b>	<b>223,57</b>	<b>225,61</b>	<b>227,91</b>	<b>225,70</b>
3500	218,83	221,54	224,93	221,77
3600	208,93	211,91	215,30	212,05
3700	201,07	204,19	207,03	204,10
3800	196,59	199,71	202,42	199,58
3900	193,48	197,41	199,98	196,96
4000	191,03	195,92	198,63	195,19
4100	192,66	196,73	197,81	195,73
4200	197,68	200,39	201,75	199,94
4300	198,22	201,34	204,46	201,34
4400	177,61	195,92	182,63	185,39
4500		130,82		130,82

*Anexo B Prueba de Torque con B10 en camioneta Mazda*

MAZDA COMBUSTIBLE B10				
RMP	Torque N-m			Promedio B10
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	
1100	116,44	0,00	105,40	73,95
1200	119,91	0,00	115,10	78,33
1300	122,36	0,00	121,31	81,22
1400	125,62	106,20	125,52	119,11
1500	129,39	118,78	130,28	126,15
1600	133,98	131,30	134,44	133,24
1700	138,56	134,62	138,43	137,20
1800	141,68	135,72	141,14	139,51
1900	146,56	138,56	145,07	143,40
2000	152,26	143,45	149,68	148,46
2100	156,73	148,06	153,21	152,67
2200	161,34	153,61	157,27	157,41
2300	167,31	161,34	163,38	164,01
2400	174,90	169,75	171,65	172,10
2500	181,41	177,34	179,51	179,42
2600	188,19	183,17	185,88	185,75
2700	194,29	187,92	190,36	190,85
2800	194,56	193,07	194,29	193,97
2900	203,51	198,63	198,09	200,07
3000	209,20	204,05	201,20	204,82
3100	215,85	209,47	205,54	210,29
3200	222,90	215,98	211,10	216,66
3300	228,46	220,73	216,39	221,86
<b>3400</b>	<b>229,81</b>	<b>221,81</b>	<b>219,10</b>	<b>223,57</b>
3500	224,52	219,51	217,61	220,55
3600	215,17	215,71	214,63	215,17
3700	208,52	211,78	212,86	211,06
3800	205,68	207,71	212,19	208,52
3900	203,64	204,19	211,51	206,45
4000	201,61	200,25	210,56	204,14
4100	197,54	194,97	208,12	200,21
4200	189,95	188,46	204,05	194,15
4300	188,32	183,04	200,53	190,63
4400	189,41	178,29	158,50	175,40
4500	185,88	166,36		176,12
4600	160,80	138,56		149,68

*Anexo C Prueba de Torque con B20 en camioneta Mazda*

<b>MAZDA COMBUSTIBLE B20</b>				
<b>RMP</b>	<b>Torque N-m</b>			<b>Promedio</b>
	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>B20</b>
1000		106,01	102,42	104,21
1100	117,55	119,34	109,70	115,53
1200	118,96	121,83	120,57	120,46
1300	122,77	123,07	122,34	122,72
1400	126,05	125,96	125,24	125,75
1500	130,35	130,04	129,48	129,96
1600	135,42	134,33	134,47	134,74
1700	139,78	138,84	138,70	139,11
1800	142,63	141,82	141,01	141,82
1900	147,38	146,16	145,21	146,25
2000	152,67	151,58	150,22	151,49
2100	156,60	155,38	154,56	155,51
2200	161,07	159,04	158,90	159,67
2300	166,90	165,41	164,46	165,59
2400	175,17	173,14	171,51	173,27
2500	182,63	180,05	178,02	180,23
2600	189,81	186,70	184,80	187,10
2700	195,64	192,39	190,36	192,80
2800	199,71	196,05	194,02	196,59
2900	203,78	198,76	197,68	200,07
3000	207,44	201,61	201,07	203,37
3100	213,68	206,08	205,27	208,34
3200	221,68	210,56	212,19	214,81
3300	228,32	213,27	219,10	220,23
<b>3400</b>	<b>231,71</b>	<b>213,68</b>	<b>222,49</b>	<b>222,63</b>
3500	231,71	211,51	223,03	222,08
3600	228,86	207,98	221,81	219,55
3700	224,93	204,73	219,64	216,43
3800	221,27	202,56	218,15	213,99
3900	218,56	201,47	216,80	212,28
4000	216,39	200,80	214,76	210,65
4100	213,13	198,76	211,37	207,76
4200	208,12	194,42	205,95	202,83
4300	203,64	191,85	201,34	198,94
4400	193,75	188,19	196,19	192,71
4500			185,07	185,07
4600			163,65	163,65
4700			138,02	138,02

*Anexo D Prueba de Torque con Diésel 100% en camioneta Great Wall.*

GREAT WALL DIÉSEL 100%			
RMP	Torque N-m		Promedio
	Prueba 1	Prueba 2	D 100%
1100		116,67	116,67
1200	140,87	131,84	136,35
1300	145,07	150,50	147,78
1400	157,68	161,34	159,51
1500	168,93	172,05	170,49
1600	177,61	180,87	179,24
1700	186,29	190,49	188,39
1800	200,53	205,41	202,97
1900	215,58	221,41	218,49
2000	229,68	236,59	233,13
2100	244,86	252,05	248,45
2200	258,69	263,44	261,06
2300	267,10	268,86	267,98
<b>2400</b>	<b>268,32</b>	<b>269,67</b>	<b>268,99</b>
2500	264,11	265,33	264,72
2600	257,33	257,88	257,61
2700	247,44	247,03	247,23
2800	231,17	230,62	230,90
2900	211,91	211,51	211,71
3000	196,46	197,00	196,73
3100	185,48	186,56	186,02
3200	174,63	175,17	174,90
3300	163,10	164,05	163,58
3400	151,17	151,72	151,44
3500	137,75	138,02	137,89
3600	121,14	121,29	121,22
3700	101,63	102,19	101,91
3800	81,67	81,90	81,79
3900		69,63	69,63

*Anexo E Prueba de Torque con B10 en camioneta Great Wall.*

GREAT WALL COMBUSTIBLE B10				
RMP	Torque N-m			Promedio
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	B10
900	132,91	96,59	70,83	100,11
1000	140,46	128,71	123,80	130,99
1100	141,01	154,16	131,66	142,28
1200	138,84	140,46	136,94	138,75
1300	146,97	146,56	143,31	145,61
1400	157,14	156,05	153,75	155,65
1500	166,22	164,87	163,65	164,91
1600	174,22	172,32	171,92	172,82
1700	182,90	181,00	180,46	181,45
1800	195,51	194,02	193,07	194,20
1900	208,80	207,98	207,30	208,03
2000	221,13	221,41	219,78	220,77
2100	234,69	235,23	231,84	233,92
2200	249,20	250,01	245,00	248,07
2300	258,83	261,67	257,06	259,19
<b>2400</b>	<b>260,45</b>	<b>265,60</b>	<b>261,81</b>	<b>262,62</b>
2500	257,06	262,76	260,32	260,05
2600	250,42	254,89	255,57	253,63
2700	241,06	243,91	246,76	243,91
2800	226,15	228,18	231,30	228,55
2900	207,30	211,91	213,27	210,83
3000	191,85	198,90	198,36	196,37
3100	181,14	187,51	187,37	185,34
3200	170,29	175,85	176,66	174,27
3300	159,31	163,10	165,55	162,65
3400	148,06	151,04	154,43	151,17
3500	134,90	137,21	140,73	137,62
3600	118,00	119,50	122,90	120,13
3700	98,62	100,34	103,77	100,91
3800	79,06	81,67	84,14	81,62

*Anexo F Prueba de Torque con B20 en camioneta Great Wall.*

GREAT WALL COMBUSTIBLE B20				
RMP	Torque N-m			Promedio
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	B20
1000	65,84		69,95	67,89
1100	129,39	128,87	125,52	127,93
1200	130,20	131,01	130,71	130,64
1300	137,34	139,11	137,75	138,07
1400	149,28	150,22	147,65	149,05
1500	159,58	160,26	160,39	160,08
1600	168,26	167,99	167,71	167,99
1700	176,80	176,66	177,34	176,93
1800	188,19	189,95	186,56	188,23
1900	199,71	203,92	200,25	201,29
2000	211,51	215,98	218,29	215,26
2100	224,12	228,32	231,71	228,05
2200	237,40	243,50	248,39	243,10
2300	249,74	256,39	260,18	255,44
<b>2400</b>	<b>254,22</b>	<b>260,05</b>	<b>256,39</b>	<b>256,88</b>
2500	250,83	256,79	252,86	253,49
2600	244,59	250,56	253,00	249,38
2700	235,78	240,66	244,05	240,16
2800	220,18	225,61	228,18	224,66
2900	200,39	207,98	210,56	206,31
3000	184,26	192,80	192,93	190,00
3100	173,68	182,36	179,65	178,56
3200	164,73	172,32	172,46	169,84
3300	154,70	161,48	162,83	159,67
3400	143,58	148,60	150,90	147,69
3500	130,51	133,94	136,80	133,75
3600	115,48	117,71	117,55	116,91
3700	97,59	99,29	101,17	99,35
3800	77,47	79,61	82,18	79,75

*Anexo G Prueba de Potencia con Diésel 100% en camioneta Mazda.*

<b>MAZDA DIESEL 100%</b>				
<b>RMP</b>	<b>Potencia kW</b>			<b>Promedio</b>
	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>D100%</b>
1100	14,18	0,00	11,87	8,68
1200	14,43	0,00	13,88	9,44
1300	16,06	13,95	15,98	15,33
1400	17,76	19,56	17,82	18,38
1500	19,59	19,66	19,87	19,71
1600	21,68	21,74	21,97	21,80
1700	23,89	23,85	24,12	23,95
1800	25,91	25,84	26,21	25,99
1900	28,32	28,20	28,60	28,37
2000	31,03	30,85	31,19	31,02
2100	33,54	33,31	33,64	33,50
2200	36,20	35,90	36,27	36,12
2300	39,27	39,01	39,26	39,18
2400	42,74	42,55	42,77	42,69
2500	46,17	45,99	46,28	46,14
2600	49,84	49,51	49,92	49,75
2700	53,47	53,02	53,30	53,26
2800	56,80	56,38	56,56	56,58
2900	59,99	59,48	59,91	59,79
3000	63,41	62,69	63,38	63,16
3100	67,81	67,12	67,72	67,55
3200	72,70	72,33	72,58	72,53
3300	76,81	77,03	77,40	77,08
3400	79,64	80,31	81,13	80,36
3500	80,16	81,21	82,47	81,28
3600	78,82	79,94	81,13	79,96
3700	77,93	79,12	80,24	79,09
3800	78,22	79,49	80,61	79,44
3900	79,04	80,61	81,73	80,46
4000	80,09	82,03	83,22	81,78
4100	82,70	84,49	84,94	84,04
4200	86,95	88,14	88,74	87,94
<b>4300</b>	89,26	90,68	92,09	90,68
4400	81,95	90,30	84,19	85,48
4500	0,00	61,44	0,00	20,48

*Anexo H Prueba de Potencia con B10 en camioneta Mazda.*

<b>MAZDA COMBUSTIBLE B10</b>				
<b>RMP</b>	<b>Potencia kW</b>			<b>Promedio</b>
	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>B10</b>
1100	13,67	0,00	12,63	8,77
1200	14,97	0,00	14,33	9,77
1300	16,58	0,00	16,44	11,01
1400	18,36	16,32	18,35	17,68
1500	20,31	18,88	20,45	19,88
1600	22,46	22,01	22,53	22,33
1700	24,67	23,97	24,64	24,42
1800	26,72	25,59	26,60	26,30
1900	29,16	27,58	28,87	28,54
2000	31,89	30,04	31,35	31,09
2100	34,47	32,56	33,71	33,58
2200	37,20	35,38	36,24	36,27
2300	40,31	38,84	39,36	39,50
2400	43,97	42,66	43,15	43,26
2500	47,48	46,40	46,98	46,95
2600	51,23	49,88	50,64	50,58
2700	54,94	53,12	53,84	53,97
2800	58,27	56,61	56,99	57,29
2900	61,80	60,33	60,14	60,76
3000	65,72	64,12	63,20	64,34
3100	70,07	68,02	66,75	68,28
3200	74,64	72,38	70,76	72,59
3300	78,97	76,73	74,79	76,83
3400	81,80	78,97	78,00	79,59
3500	82,33	80,46	79,79	80,86
3600	81,13	81,28	80,91	81,11
3700	80,76	82,03	82,47	81,75
3800	81,80	82,70	84,49	83,00
3900	83,15	83,37	86,35	84,29
4000	84,41	83,89	88,22	85,51
4100	84,49	83,74	89,33	85,85
4200	83,59	83,67	89,78	85,68
4300	84,79	82,40	90,30	85,83
4400	87,32	82,10	73,10	80,84
4500	87,55	78,45	0,00	55,33
4600	77,48	66,55	0,00	48,01

*Anexo I Prueba de Potencia con B20 en camioneta Mazda.*

<b>MAZDA COMBUSTIBLE B20</b>				
<b>RMP</b>	<b>Potencia kW</b>			<b>Promedio</b>
	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>B20</b>
1000	0,00	11,39	11,30	7,56
1100	14,31	13,65	12,55	13,50
1200	14,84	15,23	15,06	15,05
1300	16,64	16,68	16,58	16,63
1400	18,43	18,42	18,31	18,39
1500	20,47	20,41	20,31	20,40
1600	22,69	22,51	22,54	22,58
1700	24,88	24,71	24,69	24,76
1800	26,89	26,74	26,59	26,74
1900	29,33	29,07	28,89	29,10
2000	31,98	31,75	31,48	31,74
2100	34,45	34,18	33,97	34,20
2200	37,13	36,63	36,61	36,79
2300	40,22	39,83	39,62	39,89
2400	44,03	43,53	43,10	43,55
2500	47,81	47,14	46,61	47,19
2600	51,69	50,83	50,33	50,95
2700	55,30	54,38	53,82	54,50
2800	58,57	57,49	56,91	57,66
2900	61,87	60,39	60,01	60,76
3000	65,18	63,35	63,17	63,90
3100	69,37	66,90	66,64	67,63
3200	74,29	70,56	71,14	71,99
3300	78,90	73,70	75,76	76,12
3400	82,55	76,06	79,19	79,27
3500	84,94	77,55	81,73	81,41
3600	86,28	78,37	83,67	82,77
3700	87,17	79,34	85,08	83,87
3800	88,07	80,61	86,80	85,16
3900	89,26	82,25	88,51	86,68
4000	90,68	84,11	90,01	88,27
4100	91,50	85,38	90,75	89,21
4200	91,57	85,53	90,60	89,24
4300	91,72	86,35	90,68	89,58
4400	89,26	86,72	90,38	88,79
4500	0,00	0,00	87,17	29,06
4600	0,00	0,00	78,82	26,27
4700	0,00	0,00	67,69	22,56

*Anexo J Prueba de Potencia con Diésel 100% en camioneta Great Wall*

GREAT WALL DIESEL 100%			
RMP	Potencia kW		Promedio D100%
	Prueba 1	Prueba 2	
1100	0,00	14,24	7,12
1200	18,74	16,78	17,76
1300	19,71	20,48	20,10
1400	23,11	23,65	23,38
1500	26,52	27,38	26,95
1600	29,75	30,30	30,03
1700	33,15	33,91	33,53
1800	37,79	38,72	38,25
1900	42,89	44,06	43,47
2000	48,10	49,57	48,84
2100	53,84	55,42	54,63
2200	59,62	60,73	60,17
2300	64,35	64,75	64,55
2400	67,46	67,77	67,61
2500	69,16	69,46	69,31
2600	70,08	70,19	70,14
2700	69,96	69,86	69,91
2800	67,81	67,64	67,73
2900	64,38	64,24	64,31
3000	61,73	61,89	61,81
3100	60,24	60,59	60,41
3200	58,53	58,73	58,63
3300	56,29	56,62	56,45
3400	53,62	53,83	53,73
3500	50,14	50,26	50,20
3600	45,20	45,27	45,23
3700	38,83	39,04	38,94
3800	31,93	32,02	31,98
3900	0,00	27,87	13,94

*Anexo K Prueba de Potencia con B10 en camioneta Great Wall*

<b>GREAT WALL COMBUSTIBLE B10</b>				
<b>RMP</b>	<b>Potencia kW</b>			<b>Promedio</b>
	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>B10</b>
900	13,48	9,74	6,89	10,04
1000	14,99	13,65	12,77	13,80
1100	16,18	17,78	15,02	16,33
1200	17,36	17,58	17,10	17,35
1300	19,98	19,94	19,45	19,79
1400	23,03	22,87	22,54	22,81
1500	26,10	25,91	25,70	25,90
1600	29,19	28,88	28,81	28,96
1700	32,56	32,21	32,12	32,30
1800	36,85	36,58	36,40	36,61
1900	41,54	41,37	41,25	41,39
2000	46,30	46,38	46,03	46,24
2100	51,59	51,74	50,97	51,43
2200	57,43	57,58	56,46	57,15
2300	62,35	63,00	61,90	62,42
2400	65,49	66,77	65,82	66,03
2500	67,31	68,79	68,15	68,08
2600	68,21	69,40	69,60	69,07
<b>2700</b>	68,16	68,96	69,76	68,96
2800	66,34	66,93	67,85	67,04
2900	62,97	64,39	64,79	64,05
3000	60,29	62,50	62,33	61,70
3100	58,81	60,91	60,83	60,18
3200	57,09	58,97	59,19	58,42
3300	54,94	56,28	57,14	56,12
3400	52,49	53,55	54,80	53,61
3500	49,07	49,94	51,27	50,09
3600	44,00	44,57	45,88	44,82
3700	37,66	38,33	39,67	38,55
3800	30,89	31,93	32,91	31,91

*Anexo L Prueba de Potencia con B20 en camioneta Great Wall*

<b>GREAT WALL COMBUSTIBLE B20</b>				
<b>RMP</b>	<b>Potencia kW</b>			<b>Promedio</b>
	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>B20</b>
1000	7,14	0,00	7,53	4,89
1100	16,04	15,50	14,27	15,27
1200	16,20	16,30	16,26	16,25
1300	18,58	19,28	18,64	18,83
1400	21,87	22,03	21,63	21,84
1500	25,07	25,17	25,20	25,15
1600	28,19	28,15	28,10	28,15
1700	31,48	31,45	31,57	31,50
1800	35,49	35,81	35,16	35,49
1900	39,75	40,57	39,83	40,05
2000	44,29	45,24	45,71	45,08
2100	49,29	50,21	50,95	50,15
2200	54,67	56,11	57,20	56,00
2300	60,16	61,76	62,66	61,53
2400	63,89	65,35	64,45	64,56
2500	65,70	67,23	66,19	66,37
2600	66,63	68,25	68,89	67,92
<b>2700</b>	66,68	68,05	69,04	67,92
2800	64,59	66,17	66,92	65,89
2900	60,88	63,16	63,97	62,67
3000	57,90	60,57	60,63	59,70
3100	56,38	59,21	58,35	57,98
3200	55,14	57,78	57,81	56,91
3300	53,30	55,70	56,23	55,07
3400	50,83	52,65	53,50	52,33
3500	47,43	48,72	49,78	48,64
3600	43,03	43,89	43,82	43,58
3700	37,26	37,92	38,65	37,94
3800	30,26	31,11	32,12	31,17

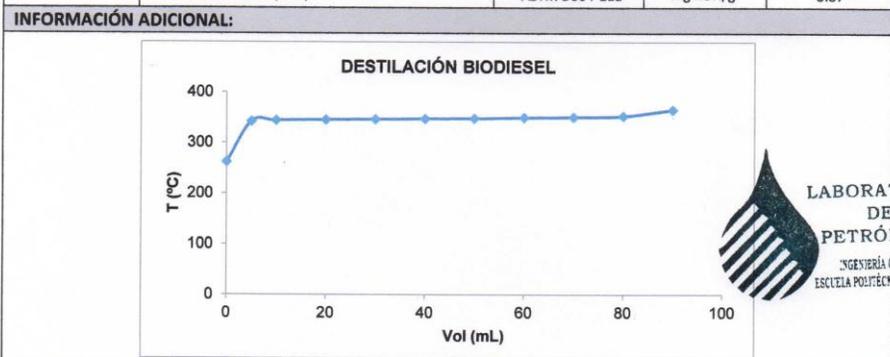
*Anexo M Caracterización del biodiésel*

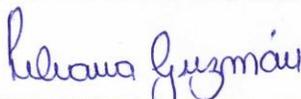
	<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b> <b>DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> <b>LABORATORIO DE PETRÓLEOS</b>	Página 1 de 6
		HI01

REPORTE DE ANÁLISIS N° ALPEP 045-017 ORDEN DE TRABAJO 5421			
INFORMACIÓN GENERAL:			
CLIENTE	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK		
MUESTRA	BODIESEL	NÚMERO DE MUESTRAS	1
FECHA RECEPCIÓN	25-08-2017	FECHA DE ENTREGA INFORME	06-10-2017

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:				
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CAPACIDAD
B100 – NaOH Biodiesel	LPM103-SEP	Biodiesel	Vidrio	1 L

RESULTADOS OBTENIDOS:				
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	VALOR OBTENIDO
LPM103-SEP	*Densidad a 15 °C	ASTM D1298-12b	kg/m <sup>3</sup>	882
	*Punto de inflamación copa cerrada	ASTM-D93	°C	170
	*Contenido de agua por centrifugación (BSW)	ASTM D1796	%	<0.05
	*Contenido de agua por destilación	ASTM D95	mg/kg	290.02
	*Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM-D445	mm <sup>2</sup> /s	6.069
	*Contenido de azufre	ASTM D4294-16	mg/kg	6.6
	*Corrosión a la lámina de cobre	ASTM D130-12	Clasificación	1A
	*Índice de cetano calculado	ASTM D976-06	---	47.7
	*Temperatura de destilación al 90% recuperado	ASTM D1160	°C	365
	*Número de Acidez (TAN)	ASTM D664-11a	mg KOH/g	3.87



	
Ing. Liliana Guzmán	Ing. Tania Parra
Jefa del Laboratorio de Petróleos	Especialista de Laboratorio de Petróleos

**NOTA:**

- \*Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados
- Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio
- El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.

Ladrón de Guevara E11-253-Edif. Eléctrica Química - 5to piso  
 022976-300 Ext. 4329/4317/4328  
 lab.petroleos\_ing.quimica@epn.edu.ec

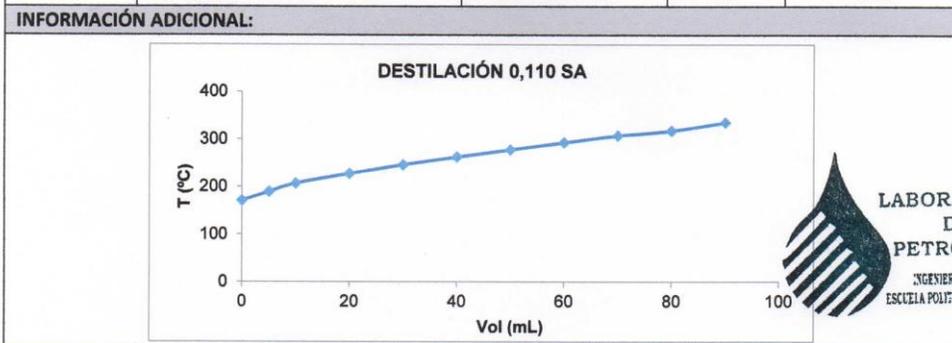
## Anexo N Caracterización del diésel/biodiésel al 10%

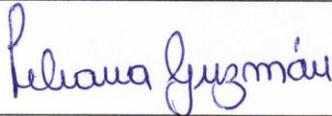
	<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b> <b>DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> <b>LABORATORIO DE PETRÓLEOS</b>	Página 2 de 6
		HI01

<b>REPORTE DE ANÁLISIS N° ALPEP 041-017</b> <b>ORDEN DE TRABAJO 5406</b>			
<b>INFORMACIÓN GENERAL:</b>			
<b>CLIENTE</b>	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK		
<b>MUESTRA</b>	DIÉSEL	<b>NÚMERO DE MUESTRAS</b>	1
<b>FECHA RECEPCIÓN</b>	25-08-2017	<b>FECHA DE ENTREGA INFORME</b>	06-10-2017

<b>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:</b>				
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CAPACIDAD
0.110 mL SIN ADITIVO	LPM104-SEP	Mezcla Diésel-Biodiésel	Vidrio	1 L

<b>RESULTADOS OBTENIDOS:</b>				
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	VALOR OBTENIDO
LPM104-SEP	*Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	63
	*Contenido de azufre	ASTM D4294-16	ppm	122.7
	*Corrosión lámina de cobre	ASTM D130-12	---	1A
	*Índice de cetano calculado	ASTM D976-06	---	53.2
	*Ensayo de destilación: Temperatura del 90%	ASTM D86-15	°C	336
	*Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D445-15a	mm <sup>2</sup> /s	3.445
	*Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	<0.05



	
Ing. Liliana Guzmán	Ing. Tania Parra
Jefa del Laboratorio de Petróleos	Especialista de Laboratorio de Petróleos

**NOTA:**

- \*Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados
- Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio
- El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.

Ladrón de Guevara E11-253-Edif. Eléctrica Química - 5to piso  
 022976-300 Ext. 4329/4317/4328  
 lab.petroleos\_ing.quimica@epn.edu.ec

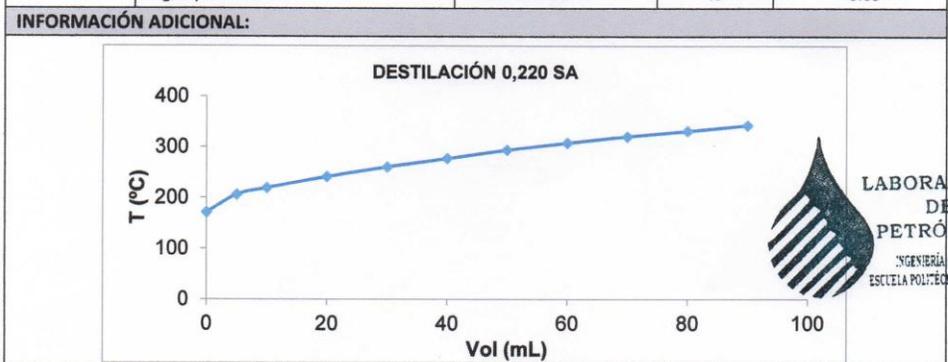
## Anexo O Caracterización del diésel/biodiésel al 20%

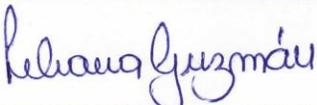
	<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b> <b>DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> <b>LABORATORIO DE PETRÓLEOS</b>	Página 4 de 6
		HI01

<b>REPORTE DE ANÁLISIS Nº ALPEP 041-017</b> <b>ORDEN DE TRABAJO 5406</b>			
<b>INFORMACIÓN GENERAL:</b>			
<b>CLIENTE</b>	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK		
<b>MUESTRA</b>	DIÉSEL	<b>NÚMERO DE MUESTRAS</b>	1
<b>FECHA RECEPCIÓN</b>	25-08-2017	<b>FECHA DE ENTREGA INFORME</b>	06-10-2017

<b>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:</b>				
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CAPACIDAD
0.220 mL SIN ADITIVO	LPM106-SEP	Mezcla Diésel-Biodiesel	Vidrio	1 L

<b>RESULTADOS OBTENIDOS:</b>				
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	VALOR OBTENIDO
LPM106-SEP	*Punto de inflamación	ASTM D93 – 16a	°C	66
	*Contenido de azufre	ASTM D4294-16	ppm	106.76
	*Corrosión lámina de cobre	ASTM D130-12	---	1A
	*Índice de cetano calculado	ASTM D976-06	---	53.2
	*Ensayo de destilación: Temperatura del 90%	ASTM D86-15	°C	343
	*Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D445-15a	mm <sup>2</sup> /s	3.459
	*Agua y sedimentos	ASTM D1796 – 11	%	<0.05



	
Ing. Liliana Guzmán	Ing. Tania Parra
Jefa del Laboratorio de Petróleos	Especialista de Laboratorio de Petróleos

**NOTA:**

- \*Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados
- Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio
- El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.

Ladrón de Guevara E11-253-Edif. Eléctrica Química - 5to piso  
 022976-300 Ext. 4329/4317/4328  
 lab.petroleos\_ing.quimica@epn.edu.ec