



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

**TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE TORQUE Y POTENCIA EN
MOTORES DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN CON EL USO
DE DIÉSEL CONVENCIONAL Y BIOCOMBUSTIBLES CON
MEZCLAS B10 Y B15.**

**AUTORES: PAREDES BALLESTEROS BRYAN GUSTAVO
VILLAMARÍN NARVÁEZ WASHINGTON DAVID**

DIRECTOR: ING. PAÚL HERNÁNDEZ Msc.

IBARRA, ENERO 2021

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "ANÁLISIS COMPARATIVO DE TORQUE Y POTENCIA EN MOTORES DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN CON EL USO DE DIÉSEL CONVENCIONAL Y BIOCOMBUSTIBLES CON MEZCLAS B10 Y B15" presentado por los señores: Paredes Ballesteros Bryan Gustavo con número de cédula 1003668959, y Villamarín Narváez Washington David con número de cedula 1003758875, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 7 días del mes de enero del 2021

Atentamente



Firmado electrónicamente por:
**ERIK PAUL
HERNANDEZ
RUEDA**

Ing. Erik Paul Hernández Rueda MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1003668959	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Paredes Ballesteros Bryan Gustavo	
DIRECCIÓN:		Luis Benítez e Isaac Barrera - Otavalo	
EMAIL:		bgparedesb@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		06 2 520 527	TELÉFONO MÓVIL: 0997903247

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1003758875	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Villamarín Narváez Washington David	
DIRECCIÓN:		Urb. Los Pinos Casa #69, barrio San Eloy – Otavalo	
EMAIL:		wdvillamarinn@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		06 2 930 275	TELÉFONO MÓVIL: 0991047500


DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE TORQUE Y POTENCIA EN MOTORES DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN CON EL USO DE DIÉSEL CONVENCIONAL Y BIOCOMBUSTIBLES CON MEZCLAS B10 Y B15.
AUTOR (ES):	Paredes Ballesteros Bryan Gustavo, Villamarín Narváez Washington David
FECHA:	7 de enero de 2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Erik Paul Hernandez Rueda MSc.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 7 días del mes de enero de 2021

AUTORES:



Paredes Ballesteros Bryan Gustavo
1003668959



Villamarín Narváez Washington David
1003758875

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mis padres quienes con valentía y humildad han sabido guiarme por la senda del bien, su apoyo incondicional me ha dado fortaleza en cada momento de adversidad.

Bryan Gustavo Paredes Ballesteros

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios, quien es dueño y dador de sabiduría, por brindarme vida y salud para culminar esta etapa de mi vida.

Agradecido con mis padres, Gustavo, quien en su experiencia ha inculcado en mí el deseo de adquirir conocimientos y habilidades para la vida y por ser quien con recursos ha facilitado mi formación profesional. A mi madre, Anabel, por su amor, sus cuidados y su confianza en mí, me ha permitido ser una persona justa, noble y bondadosa, infinitas gracias por sus enseñanzas. Una especial mención a mi novia, sus buenos deseos y palabras de aliento depositadas en mí.

Agradezco profundamente a la Universidad Técnica del Norte, por ser mi Alma Mater y permitirme un lugar en tan prestigiosa institución, a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas y a la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz que en sus aulas me ha formado en conocimientos técnicos, científicos y éticos.

Un sincero agradecimiento al Ing. Paúl Hernández Msc, director de este trabajo de grado, su conocimiento y su perseverancia hacia nosotros ha facilitado el desarrollo de esta tesis de manera satisfactoria.

Agradecido con los docentes asesores de esta investigación, al Ing. Ignacio Benavides Msc, e Ing. Carlos Mafla Msc, los cuales han aportado de conocimientos y valor para la ejecución de este proyecto.

Bryan Gustavo Paredes Ballesteros

AGRADECIMIENTO

Quiero extender un sincero agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte por abrirme sus puertas para mi formación profesional; también quiero agradecer a los docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, ya que a lo largo de varios semestres me han compartido su conocimiento, sabiduría y valores, me han enseñado a ser un profesional con ética y responsabilidad.

Le agradezco a mi director de tesis, Ing. Paúl Hernández MSc., por haberme brindado la oportunidad de recurrir a toda su capacidad y conocimiento científico, ayudarme a realizar una investigación con fines ambientales y técnicos, y también guiarme durante cada paso de mi trabajo de grado.

Por último, quiero agradecer a mis padres, porque día a día me ayudaron a ser mejor persona y me mostraron la luz en los peores momentos, también quiero agradecer a mis compañeros, los cuales llegaron a ser una segunda familia durante tantos días de estudio mostrándome un compañerismo único y las ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

Washington David Villamarín Narváez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Objetivos.....	1
1.1.1 Objetivo general.	1
1.1.2 Objetivos específicos.....	1
1.2 Justificación.	1
1.3 Alcance.	2
1.4 Antecedentes.....	2
1.5 Motor alternativo de combustión diésel.....	3
1.5.1 Principio de funcionamiento.....	4
1.6 Introducción a la termodinámica y sus principios.	4
1.6.1 Concepto de sistemas.....	5
1.6.1.1 Sistema abierto.	5
1.6.1.2 Sistema cerrado.....	5
1.6.2 Transferencia de energía (trabajo).....	5
1.6.3 Transferencia de energía (calor).....	5
1.6.4 Algunas propiedades usuales.....	5
1.6.4.1 Presión.	5
1.6.4.2 Temperatura.....	6
1.7 Ciclos termodinámicos.....	6
1.7.1 Procesos de evolución.	6
1.8 Ciclo teórico del motor de encendido por compresión.	7
1.8.1 Tiempo de admisión.	7
1.8.2 Tiempo de compresión.	7
1.8.3 Tiempo de trabajo.....	7
1.8.4 Tiempo de escape.	8
1.9 Ciclo real del motor de encendido por compresión.	9
1.10 Apertura y cierre de válvulas.	9
1.11 Tiempos reales en un mec.....	10
1.11.1 Tiempo real de admisión.	10
1.11.2 Tiempo real de compresión.	11

1.11.3	Tiempo real de trabajo.....	11
1.11.4	Tiempo real de escape.	12
1.12	Características de la combustión de un mec.	13
1.12.1	Compresión.	14
1.12.2	Combustión.	14
1.12.2.1	Condiciones para una buena combustión.	16
1.12.3	Pérdidas de calor.	16
1.13	Curvas características del motor.	16
1.13.1	Curvas de par motor.	18
1.13.2	Curvas de potencia.....	19
1.13.3	Curvas de consumo específico.	20
1.14	Rendimiento de un motor.....	21
1.14.1	Rendimiento efectivo.....	22
1.15	Sistemas crdi de inyección diésel.	23
1.15.1	Sección de baja presión del sistema <i>common rail</i>	24
1.15.2	Sección de alta presión del sistema <i>common rail</i>	25
1.15.3	Gestión electrónica <i>common rail</i>	27
1.15.3.1	Sensor de temperatura de combustible.	28
1.15.3.2	Sensor de presión del riel.....	28
1.16	Combustible diésel.....	29
1.16.1	Propiedades del combustible diésel con la composición y rendimiento. .	29
1.16.2	Emisión de gases y material particulado por la combustión diésel.	30
1.16.3	Normativa técnica ecuatoriana de regulación de niveles emitidos por fuentes móviles terrestres diésel.....	30
1.17	Biocombustibles.....	32
1.17.1	Combustibles diésel alternativos.	32
1.17.2	Transesterificación.....	33
1.17.3	Biodiésel	33
1.18	Instrumentos de medición.	34
1.18.1	Dinamómetro inercial.	34
1.18.2	Opacímetro.	34
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
2.1	Materiales y equipos.	36
2.1.1	Ficha técnica del vehículo utilizado.	36
2.1.2	Ficha técnica del dinamómetro utilizado.....	37

2.1.3	Ficha técnica del opacímetro.	38
2.1.4	Especificaciones del aditivo para el biocombustible.	38
2.2	Metodología.	39
2.2.1	Preparación de la mezcla entre diésel convencional y biodiésel.	39
2.2.2	Procedimiento para la obtención de biocombustible B10 y B15.	39
2.2.3	Proceso para colocar el aditivo en cada mezcla B10 y B15.	40
2.2.4	Normativa iso 1585 pruebas en vehículos (dinamómetro).	42
2.2.5	Preparación del vehículo para pruebas en el dinamómetro.	42
2.2.6	Pruebas y tomas de medidas.	43
2.2.7	Pruebas para determinar torque y potencia.	45
2.2.8	Adaptación de un reservorio externo para las mezclas de biodiesel.	46
2.2.9	Curvas de torque y potencia usando tanto diésel como biodiésel.	48
2.2.10	Procedimiento para medir opacidad.	50
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
3.1	Curvas características del motor con diésel convencional.	52
3.1.1	Media aritmética de los datos de potencia y par utilizando únicamente diésel.	55
3.2	Curvas características del motor con mezcla de biodiésel B10.	56
3.2.1	Media aritmética de los datos de potencia y par utilizando mezcla de biocombustible B10.	59
3.3	Curvas características del motor con mezcla de biodiésel B10 añadiendo un aditivo en el combustible.	59
3.3.1	Media aritmética de los datos de potencia y par utilizando mezcla de biocombustible B10 con aditivo.	62
3.4	Curvas características del motor con mezcla de biodiésel B15.	63
3.4.1	Media aritmética de los datos de potencia y par utilizando mezcla de biocombustible B15.	66
3.5	Curvas características del motor con mezcla de biodiésel B15 con el uso de aditivo.	67
3.5.1	Media aritmética de los datos de potencia y par utilizando mezcla de biocombustible B15 con aditivo.	71
3.6	Tabla general de los datos obtenidos en las pruebas de dinamómetro.	71
3.7	Comparación de curvas características de torque y potencia en función de la utilización de diesel tradicional en compañía de las mezclas de biocombustibles B10 y B15.	72
3.7.1	Curva de potencia vs velocidad.	72
3.7.2	Curva de torque vs velocidad.	73

3.8	Comparación de curvas características de torque y potencia entre las mezclas de biocombustible estándar y las mezclas con aditivo.....	73
3.8.1	Curva de potencia vs velocidad entre biodiésel B10 y B10 más aditivo..	74
3.8.2	Curva de torque vs velocidad entre biodiésel B10 y B10 más aditivo.....	75
3.8.3	Curva de potencia vs velocidad entre biodiésel B15 y B15 más aditivo..	76
3.8.4	Curva de torque vs velocidad entre biodiésel B15 y B15 más aditivo.....	77
3.9	Análisis de opacidad.	77
3.9.1	Análisis de opacidad utilizando diésel convencional.	78
3.9.1.1	Comparación de los resultados de opacidad con diésel convencional.	79
3.9.2	Análisis de opacidad utilizando biocombustible B10.....	79
3.9.2.1	Comparación de los resultados de opacidad con biocombustible B10.....	80
3.9.3	Análisis de opacidad utilizando biocombustible B10 con aditivo.....	80
3.9.3.1	Comparación de los resultados de opacidad con biocombustible B10 y aditivo.....	81
3.9.4	Análisis de opacidad utilizando biocombustible B15.....	82
3.9.4.1	Comparación de los resultados de opacidad con biocombustible B15.....	83
3.9.5	Análisis de opacidad utilizando biocombustible B15 con aditivo.....	83
3.9.5.1	Comparación de los resultados de opacidad con biocombustibles B15 y aditivo.....	84
3.9.6	Comparativa general de opacidad entre todos los tipos de combustibles utilizados.	85
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
4.1	Conclusiones.....	86
4.2	Recomendaciones	87
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
	ANEXOS.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	
NUM	PÁGINA
1.1 Pérdidas de energía	22
1.2 Propiedades del combustible diésel	29
1.3 Emisión de gases y partículas por la combustión del diésel	30
2.1 Ficha técnica vehículo Ford Ranger.	36
2.2 Especificaciones del dinamómetro	37
2.3 Especificaciones del opacímetro	38
2.4 Especificaciones del aditivo	38
3.1 Resultados prueba 1	53
3.2 Resultados prueba 2	54
3.3 Resultados prueba 3	55
3.4 Resultados obtenidos de la prueba realizada únicamente con diésel	55
3.5 Resultados prueba 1	56
3.6 Resultados prueba 2	57
3.7 Resultados prueba 3	58
3.8 Resultados obtenidos de las pruebas utilizando biodiésel en mezcla B10	59
3.9 Resultados prueba 1	60
3.10 Resultados prueba 2	61
3.11 Resultados prueba 3	62
3.12 Resultados obtenidos de las pruebas utilizando biodiésel de mezcla B10 con aditivo	63
3.13 Resultados prueba 1	64
3.14 Resultados prueba 2	65
3.15 Resultados prueba 3	66
3.16 Resultados obtenidos de las pruebas con mezcla de biodiésel B15	67
3.17 Resultados prueba 1	68
3.18 Resultados prueba 2	69
3.19 Resultados prueba 3	70
3.20 Resultados de las pruebas utilizando mezcla de biodiésel B15 con el aditivo	71
3.21 Comparativa general de los datos obtenidos en las pruebas dinanométricas con cada tipo de combustible	71
3.22 Resultados de opacidad prueba 1	78
3.23 Resultados de opacidad prueba 2	78
3.24 Resultados obtenidos de las pruebas de opacidad realizadas con diésel	79
3.25 Resultados de opacidad prueba 1	79
3.26 Resultados de opacidad prueba 2	80
3.27 Resultados obtenidos de las pruebas de opacidad realizadas con biodiésel B10	80
3.28 Resultados de opacidad prueba 1	81
3.29 Resultados de opacidad prueba 2	81
3.30 Resultados obtenidos de las pruebas de opacidad realizadas con biodiésel B10 con aditivo	82
3.31 Resultados de opacidad prueba 1	82
3.32 Resultados de opacidad prueba 2	82
3.33 Resultados obtenidos de las pruebas de opacidad realizadas con biodiésel B15	83
3.34 Resultados de opacidad prueba 1	83

3.35 Resultados de opacidad prueba 2	84
3.36 Resultados obtenidos de las pruebas de opacidad realizadas con biodiésel B15 con aditivo	85

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
NUM	PÁGINA
1.1 Primer motor diseñado por Diesel	4
1.2 Diagrama presión volumen del ciclo diésel teórico	7
1.3 Ciclo teórico de un MEC	8
1.4 Diagrama real de un MEC y sus procesos	9
1.5 Diagrama completo de la distribución	10
1.6 Tiempo de admisión con AAA	11
1.7 Tiempo de trabajo con AAE y avance de inyección	12
1.8 Escape con RCE y AAE	13
1.9 Desarrollo de la combustión	15
1.10 Curvas características de un motor	17
1.11 Par Motor	18
1.12 Curva par motor	19
1.13 Curva de potencia	20
1.14 Curva de consumo específico de un motor	21
1.15 Funciones en la gestión electrónica e hidráulica de un sistema Common Rail	23
1.16 Bomba de suministro de engranes	24
1.17 Filtros de Combustible	25
1.18 Bomba de alta presión	25
1.19 Válvula reguladora de presión	26
1.20 Acumulador de presión o riel	26
1.21 Inyectores del Sistema Common Rail	27
1.22 Representación de un sistema EDC	28
1.23 Sensor de presión del riel	28
1.24 Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) * a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos)	31
1.25 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos)	32
1.26 Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba de aceleración libre)	32
1.27 Proceso de transesterificación	33
1.28 Cadenas de hidrocarburos del biocombustible	34
2.1 Realización de las mezclas de biocombustibles	40
2.2 Aditivo que se emplea en las mezclas	41
2.3 Adición del aditivo a las mezclas B10 y B15	41
2.4 Anclaje del vehículo	43
2.5 Sujeción del vehículo al suelo mediante cintas	44
2.6 Enganche del vehículo en sus elementos de suspensión	44
2.7 Mangueras de entrada y retorno a la bomba de alta presión	46
2.8 Filtro de combustible	47
2.9 Depósito externo de los combustibles	47
2.10 Hoja de resultados provista por el software en conjunto con el dinamómetro	49
2.11 Instalación del opacímetro	50

2.12 Muestra de los resultados de cada prueba	51
3.1 Curvas características del motor con diésel prueba 1	52
3.2 Curvas características del motor con diésel prueba 2	53
3.3 Curvas características del motor con diésel prueba 3	54
3.4 Curvas características del motor con biodiésel B10 prueba 1	56
3.5 Curvas características del motor con biodiésel B10 prueba 2	57
3.6 Curvas características del motor con biodiésel B10 prueba 3	58
3.7 Curvas características del motor con biodiésel B10 y aditivo prueba 1	60
3.8 Curvas características del motor con biodiésel B10 y aditivo prueba 2	61
3.9 Curvas características del motor con biodiésel B10 y aditivo prueba 3	62
3.10 Curvas características del motor con biodiésel B15 prueba 1	64
3.11 Curvas características del motor con biodiésel B15 prueba 2	65
3.12 Curvas características del motor con biodiésel B15 prueba 3	66
3.13 Curvas características del motor con biodiésel B15 con aditivo prueba 1	68
3.14 Curvas características del motor con biodiésel B15 con aditivo prueba 2	69
3.15 Curvas características del motor con biodiésel B15 con aditivo prueba 3	70
3.16 Curva de potencia vs velocidad entre diésel, biodiésel B10 y biodiésel B15	72
3.17 Curva de torque vs velocidad entre diésel, biodiésel B10 y biodiésel B15	73
3.18 Curva de potencia vs velocidad comparando con biodiesel B10 y B10 con aditivo	74
3.19 Curva de torque vs velocidad comparando con biodiesel B10 y B10 con aditivo	75
3.20 Curva de potencia vs velocidad comparando con biodiesel B15 y B15 con aditivo	76
3.21 Curva de torque vs velocidad comparando con biodiesel B15 y B15 con aditivo	77
3.22 Comparativa general de los resultados de opacidad con todos los combustibles	85

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN

NUM

PÁGINA

[1.1] Par motor	18
[1.2] Potencia	19
[1.3] Potencia conociendo otras variables	20
[1.4] Consumo específico	21
[1.5] Rendimiento	22
[1.6] Rendimiento efectivo	22

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO

NUM	PÁGINA
1. Pruebas realizadas en el dinamómetro	93
2. Preparación de las mezclas de los combustibles	94
3. Trabajos en el vehículo previos al desarrollo de las pruebas	95
4. Realización de pruebas de opacidad	96
5. Resultados de pruebas con diésel convencional	97
6. Resultados de pruebas con biodiésel B10	100
7. Resultados de pruebas con biodiésel B10 más aditivo	103
8. Resultados de pruebas con biodiésel B15	106
9. Resultados de pruebas con biodiésel B15 más aditivo	109
10. Resultados de pruebas de opacidad con diésel convencional	112
11. Resultados de pruebas de opacidad con biodiésel B10	114
12. Resultados de pruebas de opacidad con biodiésel B10 más aditivo	116
13. Resultados de pruebas de opacidad con biodiésel B10	118
14. Resultados de pruebas de opacidad con biodiésel B10 más aditivo	120

RESUMEN

La presente investigación tuvo la finalidad de realizar un análisis comparativo entre diésel convencional y mezclas de biodiesel, el cual fue sintetizado a partir del aceite de palma. Se realizaron mezclas B10 y B15 que corresponden a un 10% y 15% de biocombustible en un total de diésel fósil. Además de analizar las mezclas se procedió a realizar una investigación bibliográfica para entender el funcionamiento de un biocombustible en los motores de encendido por compresión. Por otra parte, se utilizó el método de investigación de campo con la finalidad de recopilar datos de torque y potencia obtenidos a partir del uso de las mezclas de biodiesel, en el cual se comparó las variaciones existentes en los dos porcentajes utilizados. Como resultado de las pruebas realizadas se obtuvo que las mezclas de biocombustible muestran un resultado desfavorable en potencia, pero en mediciones de torque tiene un aumento mínimo con respecto al diésel convencional. En la prueba de opacidad los valores se redujeron considerablemente para las mezclas B10 y B15 con respecto al uso del diésel convencional, llegando a tener un valor aceptable dentro de los parámetros de control de emisiones de gases contaminantes para motores de encendido por compresión. De los resultados obtenidos según las pruebas de campo realizadas, se determinó que el uso de biodiésel con mezcla B10 en relación al diésel convencional existen pérdidas del 0.68% en potencia y un incremento del 0.32 % en torque. Para la mezcla B15 en relación al diésel convencional se evidenció una disminución en la potencia de 1.53% y de 0.22% en torque. En referencia a las pruebas de opacidad se demostró que las mezclas de biocombustible B10 y B15 redujeron entre un 25.9 y 29.6 % respectivamente en comparación con el diésel convencional.

El uso de un aditivo en las mezclas de biodiésel no resultó factible debido a que reduce considerablemente los valores de torque y potencia en las pruebas realizadas, también se ve afectado los niveles de opacidad, ya que los datos se asemejan al diésel fósil y uno de los objetivos planteados en esta investigación es demostrar que el biodiésel es capaz de reducir la emisión de gases contaminantes.

ABSTRACT

This investigation had the purpose of carrying out a comparative analysis between conventional diesel and biodiesel blends, which was synthesized from palm oil. B10 and B15 mixtures were made, corresponding to 10% and 15% biofuel in a total of fossil diesel. In addition to analyzing the mixtures, a bibliographic research was carried out to understand the functioning of a biofuel in compression ignition engines. On the other hand, the field research method was used in order to collect torque and power data obtained from the use of biodiesel mixtures, in which the existing variations in the two percentages used were compared. As a result of the tests carried out, it was obtained that the biofuel mixtures show an unfavorable result in power, but in torque measurements it has a minimal increase compared to conventional diesel. In the opacity test, the values were considerably reduced for the B10 and B15 mixtures with respect to the use of conventional diesel, reaching an acceptable value within the control parameters of polluting gas emissions for compression ignition engines. From the results obtained according to the field tests carried out, it was determined that the use of biodiesel with a B10 mixture in relation to conventional diesel has losses of 0.68% in power and an increase of 0.32% in torque. For the B15 mixture in relation to conventional diesel, a decrease in power of 1.53% and 0.22% in torque was evidenced. In reference to the opacity tests, it was shown that the biofuel blends B10 and B15 reduced between 25.9 and 29.6% respectively compared to conventional diesel.

The use of an additive in the biodiesel blends was not feasible because it considerably reduces the torque and power values in the tests carried out, the opacity levels are also affected, since the data resembles fossil diesel and one of the The objectives set out in this research is to demonstrate that biodiesel is capable of reducing the emission of polluting gases.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como principal objetivo presentar de manera textual datos recopilados de un análisis comparativo de mezclas de biodiesel, el mismo que fue utilizado en un motor de encendido por compresión con la finalidad de obtener datos de torque, potencia y porcentaje de opacidad.

Para cumplir con el objetivo planteado se realizó una comparación entre dos mezclas, las cuales son B10 y B15. Este biocombustible es procesado a partir del aceite de palma el cual tiene una gran producción en el Ecuador abriendo el campo para su producción a una mayor escala, ya que dentro de la producción de biomasa existen diferentes tipos de aceites de una variada procedencia, pero dentro de este campo de investigación es demostrar la factibilidad del biocombustible con respecto a los índices de contaminación, y también demostrar la variación en torque y potencia que puedan alterar el desempeño del motor.

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó un opacímetro y un dinamómetro inercial, para el objeto de prueba, se utilizó un vehículo que emplea un sistema por riel común. Los equipos y el objeto de prueba mencionado anteriormente se encontraban en un estado óptimo de funcionamiento para reducir errores durante las pruebas.

Durante el desarrollo se da a conocer los objetivos del tema de investigación planteado, y también se plantea la problemática de la investigación, posteriormente se realiza un marco teórico para la comprensión de los elementos que intervienen en la investigación. Por último, se realizaron pruebas y mediciones con los materiales descritos y se tabularon los datos para una mejor comprensión de estos, se concluyen las ideas principales conforme a los objetivos planteados y se consideran recomendaciones para los lectores y futuras investigaciones de biocombustible y su uso en motores diésel.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVOS.

1.1.1 OBJETIVO GENERAL.

Realizar un análisis comparativo de torque y potencia en motores de encendido por compresión, con el uso de diésel convencional y biocombustibles con mezclas B10 y B15, en vehículos con sistema CRDI.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar mediciones de torque y potencia a partir de diésel fósil y la mezcla de biocombustible B10 y B15 en motores con sistema CRDI.
- Medir niveles de opacidad en cada una de las mezclas.
- Comparar los datos de torque y potencia en base a los resultados obtenidos.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

El proyecto de investigación se ampara al Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 toda una Vida de Ecuador, en el Eje 1 Derechos para todos durante toda la vida en el objetivo 3, Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones literal 3.4, Incentivar prácticas e ideas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar hábitos de cuidados ambientales (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades, 2017).

En lo anteriormente expuesto, se ha buscado mejorar el rendimiento de una máquina térmica, en este caso tomamos en cuenta el motor diésel, el aporte que tendrá la investigación es generar un nuevo conocimiento del porqué la eficiencia de un motor de combustión cambia de acuerdo con varios factores externos. Gracias a esta investigación se puede incentivar a futuras investigaciones y estudios limitando aún más el enfoque para analizar.

La investigación es importante en nuestro país debido a que los vehículos utilizados para oficios públicos son en su mayoría flotas de vehículos que poseen un motor diésel; el conocimiento que se generará en esta investigación puede ser utilizado como fuente de información para señalar características positivas de los motores diésel a

comparación de los motores de encendido por chispa, esto mejorará el interés de la población ya que el diésel en nuestro país es económicamente más accesible.

Esta investigación también destaca la importancia de la utilización del biocombustible. Gracias a esto se puede resaltar los beneficios del biodiesel, así también, probar la eficiencia en el motor utilizando mezclas de biodiesel B10 y B15, realizando una comparación con el diésel derivado del petróleo y demostrar la reducción significativa de niveles de emisiones de gases contaminantes.

1.3 ALCANCE.

El alcance que plantea esta investigación de fines energéticos acorde al grupo de investigación formado por docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz, se realizará en las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte con el apoyo del docente tutor de este trabajo de grado.

Para poder cumplir con los objetivos que hemos planteado y a la vez poder cuantificarlos, la investigación se efectuará en el sistema de inyección CRDI de un tipo de vehículo que posee este sistema apropiable a los motores diésel, el vehículo en cuestión es: Ford Ranger 2.5.

Para la ejecución de la investigación, la toma de datos y evaluaciones pertinentes utilizaremos los siguientes equipos pertenecientes a los talleres de la carrera de Ingeniería Automotriz en el campus central de la casona universitaria. Los equipos que se mencionan son: dinamómetro inercial, medidor de opacidad y los materiales que se utilizarán son: Aceite de palma y un aditivo catalizador de combustible.

1.4 ANTECEDENTES.

En 1987 Rudolf Diesel construye el primer prototipo de un motor de combustión para trabajar con un bajo consumo de aceite, el cual fue diseñado principalmente para funcionar con aceites vegetales (Etienne & Man, 2014).

De esta manera el uso de los combustibles fósiles ha ayudado de una manera significativa al desarrollo industrial, especialmente en el área automotriz; con el descubrimiento del petróleo, ya que tiene un alto poder energético, puede ser aprovechado en el uso de motores de combustión interna (Pfeiffer & Pfeiffer, 2006). Dentro del proceso de refinación del petróleo podemos obtener dos tipos de combustibles: la gasolina y el diésel. Nuestro objeto de estudio es el diésel el cual ha tenido un desarrollo significativo en los últimos años y su uso más frecuente es en el

transporte público y de carga pesada, pero esto desencadenó un crecimiento demográfico exponencial del parque automotor, subiendo los niveles de contaminación ambientales.

A pesar de que se comenzaron a implementar medidas anticontaminantes, esto no fue suficiente, ya que no se lograba reducir los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero; así comenzó la búsqueda de combustibles alternativos, los cuales puedan sustituir completa o parcialmente al combustible fósil para reducir los niveles de contaminación en la combustión (I, Arencibia, Ii, & Blanco, 2008).

Ya que en estos tiempos, por lo que se conoce, se vive una crisis energética global, para (Ashok et al., 2019) afirma que: Las dos principales preocupaciones que se han originado en los últimos tiempos son: el deterioro ambiental. y el agotamiento de los combustibles fósiles. La producción de biocombustibles en el mundo ha crecido exponencialmente y se muestra como la principal oportunidad de sustitución que tienen los países desarrollados y emergentes para responder a la demanda energética y garantizar el consumo interno, así como también, mitigar los efectos producidos por los gases de efecto invernadero (Morelos Gómez, 2016).

La clave de la economía de la producción del biodiesel se encuentra en las materias primas utilizadas; el aceite de higuera se extrae de las semillas de la higuera (*Ricinus Communis*); es un líquido altamente viscoso, miscible en alcohol y ácido acético y de bajo punto de solidificación (Benavides, Benjumea, & Pashova, 2007). De esta manera la producción de biocombustibles ha sido fomentada en varios países para mejorar la calidad del aire y ampliar la matriz energética.

1.5 MOTOR ALTERNATIVO DE COMBUSTIÓN DIÉSEL.

Un motor de combustión interna aprovecha la energía liberada en forma de calor de un combustible para transformarla en energía mecánica o de movimiento (Escudero & Rivas, 2011).

Un poco de historia, en 1897 en cooperación con Maschinen -fabrik Augsburg-Nurnberg, Rudolf Diesel construyó el primer motor de combustión que funciona con aceite pesado como combustible (Etienne & Man, 2014).

Después de varias pruebas Rudolf Diesel con su motor alcanzó un 18% de eficiencia superando notablemente al motor de Otto, desde aquel momento el motor diésel se industrializó (Álvarez, Callejón, Forns, Balsells, & Casanova, 2005).



Figura 1.1 Primer motor diseñado por Diesel.

(Payri & Desantes, 2015, p.13)

1.5.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Es un motor endotérmico que aprovecha el mecanismo pistón, biela-manivela, conocido como tren alternativo. (Álvarez et al., 2005). con el fin de generar el movimiento rotatorio partiendo del movimiento lineal de los pistones.

El motor diésel se caracteriza por trabajar con elevadas presiones, por su sistema de alimentación, por la forma de realizar la combustión y su alto rendimiento para de esa manera obtener un mejor aprovechamiento del combustible y un mejor trabajo útil. (Escudero & Rivas, 2011).

En los motores diésel el aire se comprime hasta una temperatura que es superior a la temperatura de autoencendido del combustible, y la combustión inicia al contacto cuando el combustible es inyectado dentro de ese aire caliente (Cengel & Boles, 2011).

1.6 INTRODUCCIÓN A LA TERMODINÁMICA Y SUS PRINCIPIOS.

La energía es la facultad o la habilidad de un sistema para producir trabajo o calor. La energía está presente en varias formas, en los mismos flujos de calor y trabajo o de la misma manera, almacenada en acumuladores, como en el caso de la energía química en un combustible (Álvarez et al., 2005).

Como se mencionó anteriormente, todos los combustibles poseen energía, que puede ser transformada en trabajo, en los motores de combustión interna, la energía del combustible es utilizada para que se realice un trabajo (Matínez, 2011).

1.6.1 CONCEPTO DE SISTEMAS.

La definición de sistema, es la cantidad de materia o una región en espacio elegida para el análisis. La región fuera del sistema se determina como alrededores, y la superficie real o imaginaria de separación del sistema con sus alrededores se llama frontera, puede ser fija o móvil (Cengel & Boles, 2011).

1.6.1.1 Sistema abierto.

Denominado también como volumen de control. Es cualquier porción de espacio limitada por la frontera que la materia pueda atravesarse sin dificultad (Rodríguez, 1990).

1.6.1.2 Sistema cerrado.

Denominado también como masa de control. Es cualquier sistema en el cual no hay transferencia de materia a través de las fronteras (Rodríguez, 1990).

1.6.2 TRANSFERENCIA DE ENERGÍA (TRABAJO).

Es conveniente definir el trabajo como la energía transferida a través de las fronteras de un sistema organizadamente, esta definición involucra a la de mecánica, ejemplo, es la fuerza que actúa a lo largo de cierta distancia (Howell & Buckius, 1990).

1.6.3 TRANSFERENCIA DE ENERGÍA (CALOR).

El calor es la representación de energía que se transfiere entre dos sistemas debido a una diferencia de temperatura, en otras palabras, una interacción de energía será calor sólo si ocurre gracias a un gradiente de temperatura (Cengel & Boles, 2011).

1.6.4 ALGUNAS PROPIEDADES USUALES.

Cualquier característica de un sistema se considera como una propiedad, entre esta clasificación están: la presión, el volumen, la masa, temperatura, etc. (Cengel & Boles, 2011).

1.6.4.1 Presión.

Conocer sobre la presión en termodinámica es muy importante para describir el estado de un sistema. Se define la presión como la fuerza normal a una superficie real o ficticia, ejercida por una unidad de área en el sistema (Howell & Buckius, 1990).

1.6.4.2 Temperatura.

No es fácil ofrecer una definición de este concepto. Según nuestra capacidad sensorial, se expresa la temperatura de modo cualitativo; no obstante, no es posible cuantificar el valor en base a nuestras sensaciones, para ello Fowler estableció la ley cero de la termodinámica (Cengel & Boles, 2011).

La ley cero expresa que dos sistemas A y B, están a la misma temperatura cuando con la ayuda de un sensor de temperatura está en equilibrio térmico con el sistema A, de manera similar en el sistema B, y ambos sensores leen la misma temperatura (Howell & Buckius, 1990).

Para ello se crearon escalas de temperatura, que permiten usar una base común para las mediciones de esta propiedad, las escalas más usadas son Celsius y Fahrenheit (Cengel & Boles, 2011).

1.7 CICLOS TERMODINÁMICOS.

Como se mencionó con antelación, el motor térmico es un transformador de energía de un flujo de calor en trabajo mediante una serie de procesos termodinámicos. Estos procesos forman un ciclo termodinámico. Un ciclo termodinámico es una serie de procesos que evolucionan en un intervalo de temperaturas (Álvarez et al., 2005).

Debido a que estamos hablando de un motor de combustión, el fluido es el que efectúa la transformación de energía. Si la evolución que sufre el fluido se considera ideal se tendrá un ciclo teórico (Payri & Desantes, 2015).

los ciclos termodinámicos teóricos de aire suponen la intermediación más simple al funcionamiento de los MCIA. Estos usan una evolución completamente cíclica de una masa determinada que intercambia solamente calor y trabajo con el exterior por lo cual son ciclos cerrados (Payri & Desantes, 2015).

1.7.1 PROCESOS DE EVOLUCIÓN.

Para el fácil cálculo se puede suponer que el aire como fluido está considerado como un gas ideal, podemos analizar las transformaciones de trabajo entre dos estados mediante los siguientes procesos:

- a) Proceso de volumen constante.
- b) Proceso a presión constante.
- c) Proceso a temperatura constante.

- d) Proceso adiabático o isentrópico.
- e) Proceso a politrópico.

1.8 CICLO TEÓRICO DEL MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN.

En la práctica, las transformaciones del fluido de trabajo en el motor Diesel se identifican por las carreras del pistón, estas son: carrera de admisión en la que se llena el cilindro, carrera de compresión en la cual se comprime politrópicamente el fluido, carrera de explosión la cual coincide con la expansión politrópica de los gases y por último la carrera de escape o de vaciado de los gases (Parera, 1996).

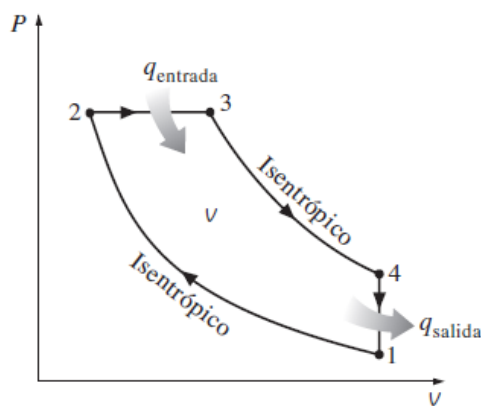


Figura 1.2 Diagrama presión volumen del ciclo diésel teórico.

(Cengel & Boles, 2011, p.504)

1.8.1 TIEMPO DE ADMISIÓN.

El pistón se mueve desde el punto muerto superior (PMS) hacia el punto muerto inferior (PMI), la válvula de admisión se abre y al cilindro ingresa el aire pre filtrado (Escudero & Rivas, 2011).

1.8.2 TIEMPO DE COMPRESIÓN.

La válvula de admisión se cierra y el pistón se desplaza del PMI al PMS. El aire dentro de la cámara de combustión se comprime (Escudero & Rivas, 2011).

Mientras la fase está en proceso, la temperatura del aire aumenta alrededor de 700 a 800 °C. Este incremento se produce por la elevada presión a la que el aire está sometido (Escudero & Rivas, 2011).

1.8.3 TIEMPO DE TRABAJO.

Para facilitar la comprensión de este tiempo del motor será dividido en etapas:

La primera etapa es el proceso de inyección del combustible que empieza cuando el pistón se aproxima al PMS y continúa durante la primera parte de la carrera de potencia. Por lo tanto, el proceso de combustión en el ciclo Diesel ideal se obtiene como un proceso de adición de calor a presión constante (Cengel & Boles, 2011).

La segunda etapa es la explosión, el combustible libera energía calórica debido a que entra en contacto con el aire caliente (700 a 800 °C), aunque la explosión aumenta la temperatura del fluido, la energía calórica se libera en la carrera del pistón hacia el PMI y aumenta el volumen del fluido pero la presión se mantiene constante y esta energía es suficiente para aportar trabajo útil (Parera, 1996).

1.8.4 TIEMPO DE ESCAPE.

Cuando el pistón llega al punto más bajo, se abre la válvula de escape y el pistón empieza a ascender empujando los gases de escape hacia el exterior. En el instante que el pistón llega al PMS, la válvula de escape se cierra (Matínez, 2011).

Por cada dos vueltas del cigüeñal se efectúa un ciclo completo. Como se mencionó con anterioridad, el trabajo útil se genera en la carrera de trabajo precisamente (Escudero & Rivas, 2011).

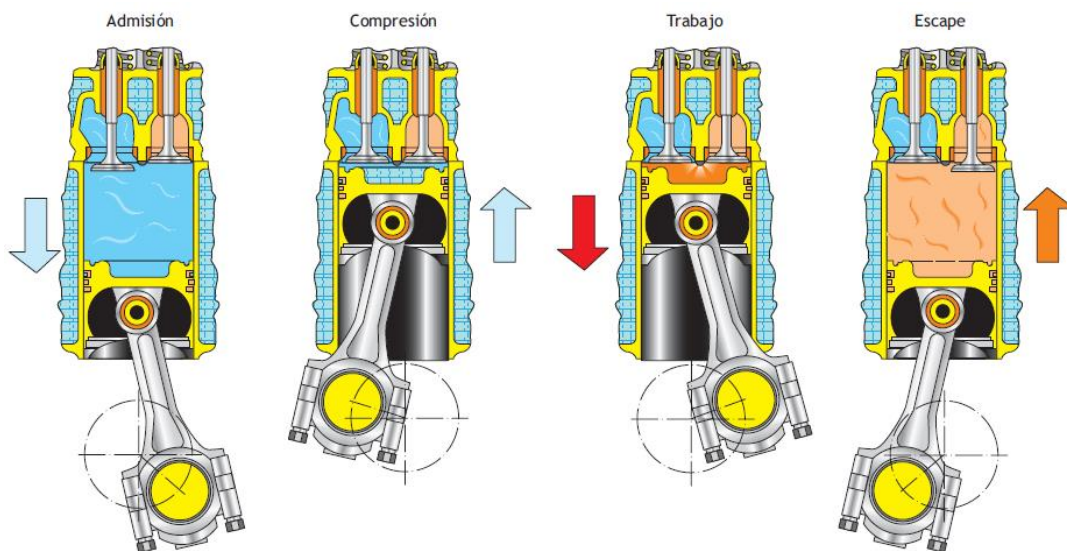


Figura 1.3 Ciclo teórico de un MEC

(Escudero & Rivas, 2011, p.79)

1.9 CICLO REAL DEL MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN.

El ciclo real del ciclo teórico en un motor de combustión interna difiere bastante, debido a las condiciones tanto físicas como de funcionamiento que no son ideales para realizar la transformación termodinámica de manera ideal (Parera, 1996)

Algunas de estas diferencias son ocasionadas por la variación de calores específicos, a las pérdidas de calor, a la combustión, el tiempo de apertura de las válvulas, etc. Detenidamente, existe una diferencia en particular, el ciclo real diésel no se realiza a presión constante (Fernández & Hidalgo, 2007).

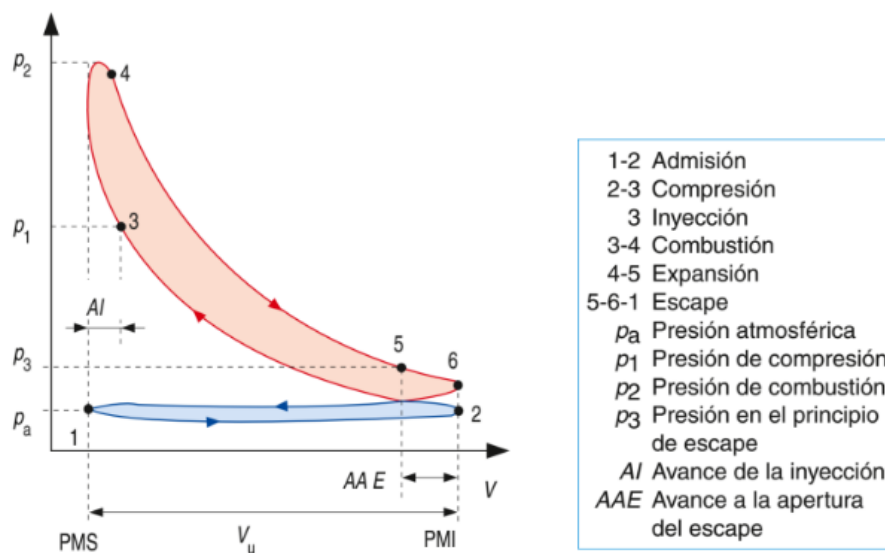


Figura 1.4 Diagrama real de un MEC y sus procesos

(Acebes, 2017, p.51)

1.10 APERTURA Y CIERRE DE VÁLVULAS.

Según el ciclo teórico de funcionamiento, las válvulas se abren y se cierran en el momento preciso cuando el pistón alcanza los puntos muertos. En realidad, no es así, ya que las válvulas tardan en abrirse y cerrarse (Escudero & Rivas, 2011).

Para (Ferrer & Checa, 2010), la finalidad del avance y del retraso de la apertura y cierre de válvulas es que el motor aproveche de mejor manera el combustible y obtenga más potencia, esto se denomina adaptar los tiempos del motor.

Para ello, conoceremos las diferentes configuraciones de las válvulas de admisión y escape.

Según (Montes, Julián Rodríguez Montes, Rodríguez, Maqueda, & Castro, 2005):

1. Avance a la apertura de la admisión: Cuando la válvula de admisión se abre antes de que el pistón llegue al punto muerto superior.
2. Retraso al cierre de la admisión: Cuando la válvula de admisión se cierra un pequeño instante después de que el pistón haya llegado al punto muerto inferior.
3. Avance a la apertura de escape: La válvula de escape se abre antes de que el pistón haya llegado al punto muerto inferior.
4. Retraso al cierre de escape: Sucede cuando la válvula de escape se cierra un poco después de que el pistón pase el punto muerto superior en el cuarto tiempo.

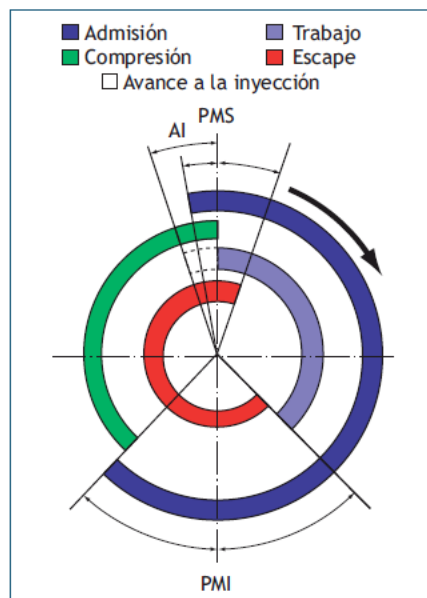


Figura 1.5 Diagrama completo de la distribución

(Escudero & Rivas, 2011, p.79)

1.11 TIEMPOS REALES EN UN MEC.

1.11.1 TIEMPO REAL DE ADMISIÓN.

En el ciclo real el tiempo de admisión se prolonga notablemente. La válvula de admisión se abre antes de que el pistón llegue al PMS (de 10 a 15°), produciéndose el adelanto de apertura de la admisión, como se afirmó anteriormente. El cierre de la

válvula de admisión se realiza después del PMS de 40 a 45° llamado el retroceso al cierre de la admisión (Ferrer & Checa, 2010).

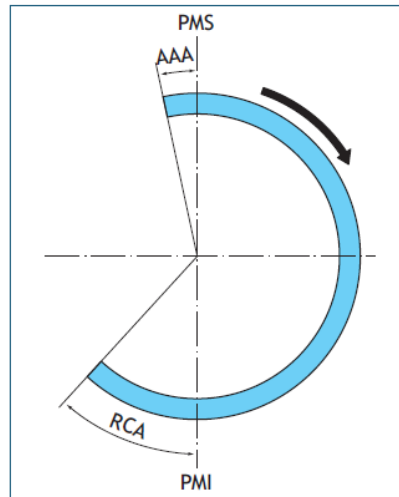


Figura 1.6 Tiempo de admisión con AAA

(Escudero & Rivas, 2011, p.66)

1.11.2 TIEMPO REAL DE COMPRESIÓN.

Las dos válvulas se encuentran cerradas, el pistón asciende comprimiendo el aire dentro del cilindro hasta alcanzar la presión óptima. La compresión no es adiabática, existe intercambios de calor en las paredes del cilindro (Acebes, 2017).

Mientras el pistón sube en compresión, comienza la inyección de combustible. El aumento de la presión es gradual, se necesita un lapso para que empiece la combustión y se libere el calor, para compensar esto se adelanta el momento de la inyección (AI) (Acebes, 2017).

1.11.3 TIEMPO REAL DE TRABAJO.

Ya que las dos válvulas se encuentran cerradas, la presión generada mueve el pistón desde el PMS hacia el PMI, transformándose en trabajo mecánico. Como se mencionó, la válvula de escape se abre antes produciendo un adelanto en la apertura de escape, y así termina este tiempo (Ferrer & Checa, 2010).

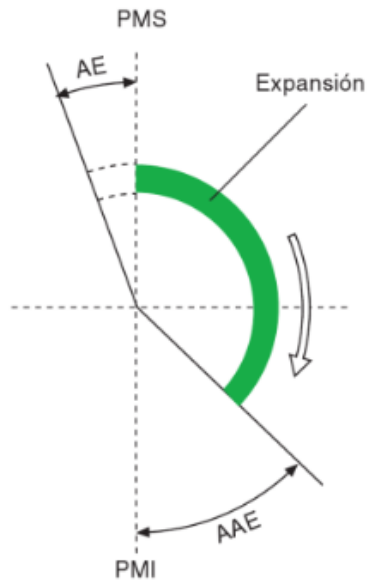


Figura 1.7 Tiempo de trabajo con AAE y avance de inyección.

(Ferrer & Checa, 2010, p.41)

1.11.4 TIEMPO REAL DE ESCAPE.

Anteriormente mencionamos el adelanto a la apertura de escape, esto hace que la presión caiga notablemente y por ende, la sustracción de calor no se realiza a volumen constante (no isócora) (Acebes, 2017)

La presión ya ha disminuido dentro del cilindro y el pistón comienza a subir desde el PMI, los gases quemados son arrojados del cilindro gracias a que se mantiene una presión ligeramente mayor a la atmosférica, la válvula de escape se cierra después de que el pistón haya pasado el PMS para aprovechar la velocidad de salida de los gases y mejorar su evacuación (Acebes, 2017).

Por lo general el adelanto a la apertura de escape se produce de 40 a 50° y el retraso del cierre de escape se produce entre 15 y 20° (Ferrer & Checa, 2010).

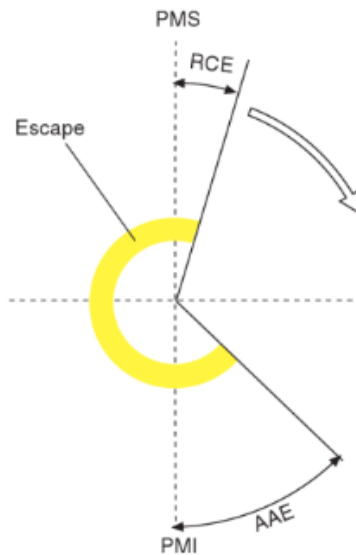


Figura 1.8 Escape con RCE y AAE

(Ferrer & Checa, 2010, p.41)

1.12 CARACTERÍSTICAS DE LA COMBUSTIÓN DE UN MEC.

En la sección anterior se ha detallado el reglaje de la distribución y los tiempos variables de las válvulas, los cuales afectan al ciclo teórico del motor de encendido por compresión, lo que produce cambios en el ciclo Diesel.

Ahora se analizará otra variable que afecta de la misma manera al ciclo ideal del motor, esa variable es la combustión en el motor ya que nunca se produce como una constante.

Debido a que los motores Diesel realizan las funciones de vaporizar, mezclar y encender el combustible dentro de sus cilindros en un tiempo notablemente corto, se puede evidenciar que deben darse las condiciones óptimas para que la combustión torne a ser ideal (Kates & Luck, 1982).

El rendimiento que se obtiene en el motor Diesel es directamente proporcional a la eficacia con la que realiza la transformación de la energía de calor a trabajo. En esta transformación los constituyentes más destacados influyentes son: la relación de compresión, la presión y la temperatura que se alcanza en la combustión y la manera en que se efectúa (Acebes, 2017).

Para ello analizaremos los siguientes conceptos:

1.12.1 COMPRESIÓN.

Sabemos que el motor Diesel comprime solamente aire, por lo que admite niveles altos de compresión, para que el combustible se inflame al contacto con el aire caliente proveniente de la alta presión, el aire transfiere cuantiosa cantidad de calor al combustible al ser inyectado por lo tanto la inflamación es más rápida y más completa (Acebes, 2017).

Los motores Diesel generalmente trabajan con tasas de compresión altas, mayores que los de ciclo Otto. El volumen de la cámara de compresión es inferior, por lo cual la presión aumenta considerablemente en el tiempo de compresión (Escudero & Rivas, 2011).

1.12.2 COMBUSTIÓN.

La combustión del motor es un proceso complejo que depende de la ingeniería del diseño, el combustible y factores atmosféricos (Velji, Lüft, & Merkel, 2009).

El combustible es inyectado en estado líquido, como chorro pulverizado dentro de la cámara de combustión, después de la compresión. El combustible a la salida del inyector se vaporiza al entrar en contacto con el aire, ya que se halla a elevada presión y temperatura gracias a la carrera de compresión a la que está sometida el pistón (Álvarez et al., 2005).

Cuando el combustible vaporizado tiene contacto con el oxígeno, esta mezcla se auto inflama. La autoinflamación es un proceso que se inicia espontáneamente gracias a la interacción entre el combustible y el reactivo, y este hace que ceda energía para que inicie la reacción de combustión (Álvarez et al., 2005).

Existen tres fases del proceso de combustión las cuales se detallarán a continuación:

Fase 1: Representa el comienzo de la inyección, se presenta con algún adelanto con relación del PMS, ya se mencionó que las gotas de combustible se vaporizan, calientan y reaccionan con el oxígeno del aire y comienza a arder. Esta combustión inicial aumenta la temperatura lo adecuado para que el combustible se transforme a estado gaseoso, pero todavía no se ha inflamado (Acebes, 2017).

Fase 2: Se quema la parte de combustible acumulada durante el retraso, la velocidad de combustión es muy alta, y ocasiona una repentina elevación en la presión (de 70 a 90 bar) (Acebes, 2017)

El retraso constituye el tiempo transcurrido entre el inicio de la inyección de combustible y la autoignición de una masa inicial de combustible que ocurrirá en cualquier punto de la cámara de combustión (Álvarez et al., 2005)

Fase 3: En esta etapa la temperatura ya es muy alta, la inyección continúa y el combustible se mantiene ingresando, se mezcla con el resto de oxígeno y se quema paulatinamente hasta la última etapa de la inyección, en ese momento se quema la cantidad sobrante de combustible inyectado finalizando la combustión (Acebes, 2017).

El caudal, la presión y la forma de chorro dependerá de cómo se efectuará la combustión.

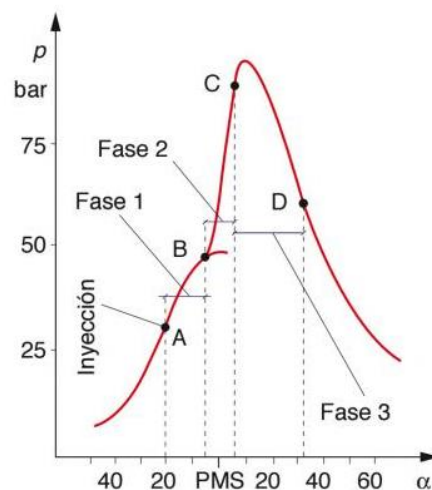


Figura 1.9 Desarrollo de la combustión

(Acebes, 2017, p.53)

Donde:

A: Inicio de la inyección.

B: Retraso del encendido.

C: Fin del retraso de encendido.

D: Fin de la combustión.

1.12.2.1 Condiciones para una buena combustión.

Para (Kates & Luck, 1982) las condiciones de una buena combustión son las siguientes:

1. Pulverización fina.
2. Alta temperatura para que la inyección sea rápida y puntual.
3. Gran velocidad relativa entre el aire y las partículas de combustible.
4. Buena mezcla de las partículas de combustible con el aire.

La pulverización, alcance y dispersión del combustible, depende del sistema de inyección que posea el motor.

La temperatura esta estrictamente relacionada por la relación de compresión, las dimensiones de los cilindros y la refrigeración.

1.12.3 PÉRDIDAS DE CALOR.

La combustión está relacionada con la liberación de energía a medida que continúa la reacción química (...) la cantidad de energía que puede ser liberada en la reacción química depende de las energías de los reactivos y los productos individuales de la combustión (Griffiths & Barnard, 1995).

La liberación de calor depende de la dificultad de la mezcla turbulenta de aire con combustible a alta presión y temperatura después de la compresión, de la misma manera la variedad de diseños de las cámaras de combustión y los diferentes sistemas de inyección de combustible afectan característicamente para que se produzca pérdidas de calor (Lakshminarayanan, Shi, Reitz, & Aghav, 2010).

1.13 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR.

Cada motor está reconocido por sus características constructivas y de funcionamiento (potencia, par y consumo específico), todas estas representan la energía que tiene la capacidad de desplegar y del aprovechamiento útil de esta energía en vehículos (M. Sánchez, 2012).

Gracias a las curvas características del motor se puede reconocer las magnitudes físicas con relación a las revoluciones del motor. Como representación, se utilizan diagramas la parte de las abscisas representa las revoluciones, y en el eje de las

ordenadas, los distintos parámetros con su respectiva unidad (Escudero & Rivas, 2011).

En el párrafo anterior se mencionó las características de funcionamiento del motor, y efectivamente de esas mismo, se obtiene las curvas de par motor, de potencia y de consumo específico.

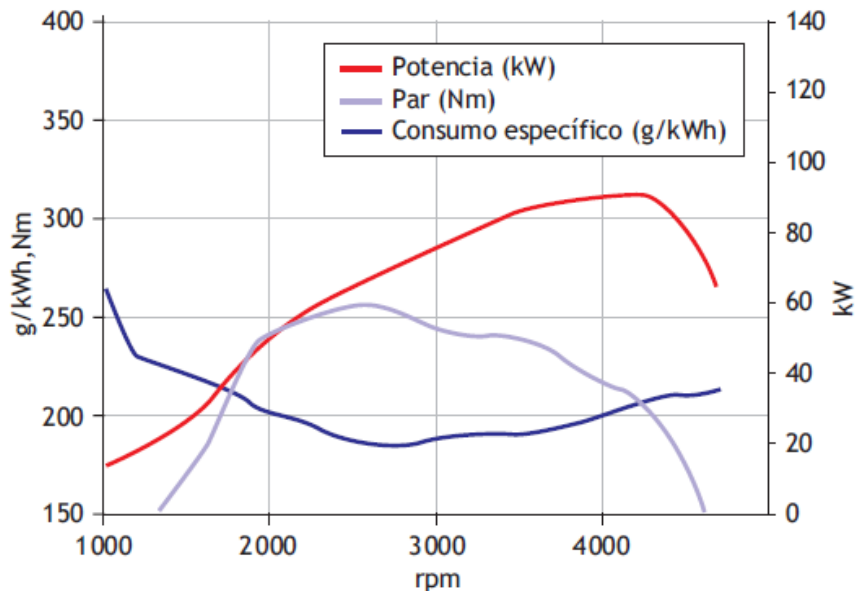


Figura 1.10 Curvas características de un motor

(Escudero & Rivas, 2011, p.96)

Según (Ceac & Gil, 2007) para entender los gráficos que se presentaron en la figura 11, es necesario conocer las variables que afectan al trabajo del cilindro, las variables son:

1. La presión que existe sobre el pistón, es proporcional a la fuerza ejercida sobre el mismo, sólo se debe realizar el producto de la presión por la superficie del pistón y como resultado se obtiene la fuerza que se transmite a la biela.
2. Conocer el recorrido realizado por el pistón. Sabemos que la presión sobre el pistón depende del tiempo que se está efectuando y del lugar que este se encuentre en su carrera. La fracción de carrera que realiza el pistón es proporcional al volumen que deja libre, ya que el volumen correspondiente es igual a la multiplicación del recorrido por el área de la superficie del pistón.

1.13.1 CURVAS DE PAR MOTOR.

La magnitud física par motor (M) es la multiplicación que resulta de una fuerza (F) por una distancia denominada brazo de palanca (s) (Ortmann, 2005).

Según fórmula (Ortmann, 2005):

$$M = F * s \quad [1.1]$$

En un motor, la combustión y los gases empujan al pistón, y esta fuerza es transmitida por la biela al cigüeñal, y mientras la distancia entre el eje de giro de la biela y el eje de giro del cigüeñal, mayor será el par motor que se genera en el eje motriz (M). (Sánchez, 2012).

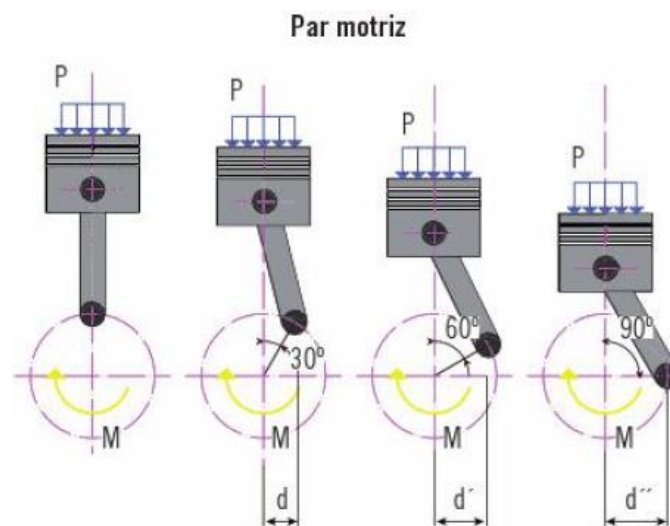


Figura 1.11 Par Motor

(M. Sánchez, 2012, p.78)

El valor del par motor es variable, porque, aunque el radio de la muñequilla del cigüeñal sea constante, la fuerza que recibe el cigüeñal del pistón mediante la biela varía debido a que la presión que se genera en la cámara de compresión varía por los factores mencionados anteriormente (Escudero & Rivas, 2011).

Durante la admisión existe una depresión que es nula en el PMS y tiene un valor máximo al centro de la carrera del pistón. Esta depresión corresponde a una fuerza negativa, lo contrario a la explosión ya que se genera por la inercia acumulada en las partes giratorias del motor (..), esta fuerza es positiva y se traduce en trabajo útil (Ceac & Gil, 2007).

En la figura 13, se aprecia una gráfica de par motor, que aumenta hasta las 2200 revoluciones y luego empieza a descender.

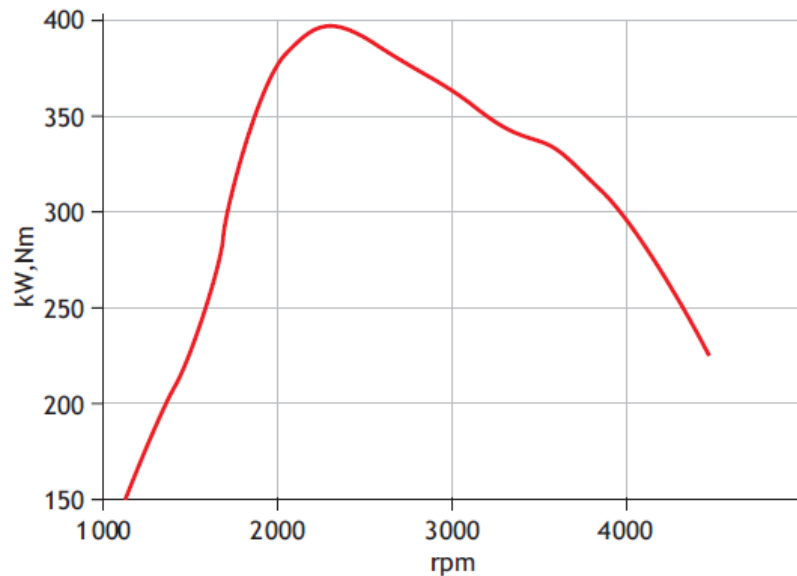


Figura 1.12 Curva par motor

(Escudero & Rivas, 2011, p.96)

1.13.2 CURVAS DE POTENCIA.

La potencia matemáticamente hablando es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo (Ceac & Gil, 2007).

La potencia se puede expresar en Watts, en caballos de fuerza, según el sistema de unidades correspondiente.

La fórmula para calcular la potencia según (Ceac & Gil, 2007) es:

$$P = \frac{W}{t} \quad [1.2]$$

Dónde:

P: Es la potencia.

W: Es el trabajo realizado.

t: Es el tiempo.

También se puede calcular la potencia conociendo el par motor, esto es: el resultado de la potencia es igual al par (M) por la velocidad angular del motor (n), que puede estar expresada en rpm o rad/s (Escudero & Rivas, 2011).

$$P = M * n \quad [1.3]$$

La curva de potencia efectiva a carga completa se representa en la figura 14, donde se puede apreciar la potencia máxima que ofrece el motor con respecto al régimen de giro (Calleja, 2015).

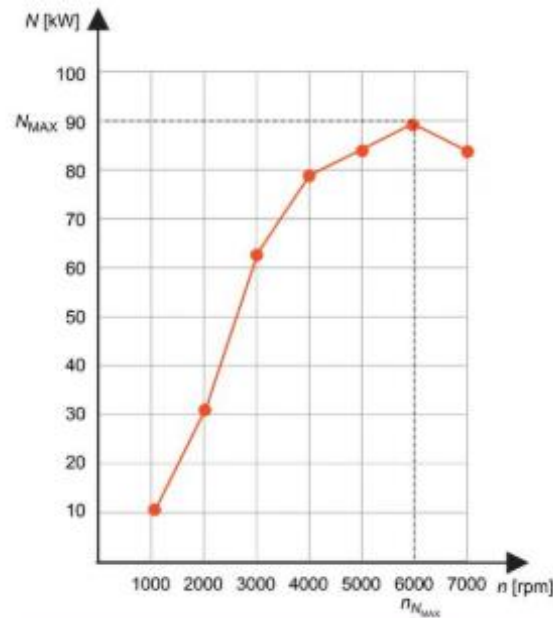


Figura 1.13 Curva de potencia

(Calleja, 2015, p.46)

La figura 14, muestra la potencia efectiva del motor como se aclaró anteriormente, existe otro tipo de potencia llamada la potencia específica, y se trata de la potencia que se obtiene por cada litro de cilindrada del motor.

La potencia y el par motor están estrechamente ligados por la presión media efectiva, siendo un parámetro para evaluar las prestaciones del motor (...) la presión media efectiva se obtiene encontrando la media de las presiones en cada ciclo de trabajo y es más cercana a la presión mínima que a la máxima (Escudero & Rivas, 2011).

1.13.3 CURVAS DE CONSUMO ESPECÍFICO.

Se puede definir el consumo específico como el gasto másico de combustible que tiene el motor en diferentes escenarios de funcionamiento, por cada kW de potencia entregado y por el tiempo de su funcionamiento (Calleja, 2018).

Según (Calleja, 2018) la fórmula para calcular el consumo específico es:

$$c_e = \frac{\dot{m}_f}{N_e} \quad [1.4]$$

Donde:

c_e es el consumo específico en g / kWh o kg / kWh.

\dot{m}_f es flujo másico de combustible, expresado en g / h o kg / h.

N_e es la potencia efectiva en kW.

A continuación, la figura 15 muestra la curva de consumo específico

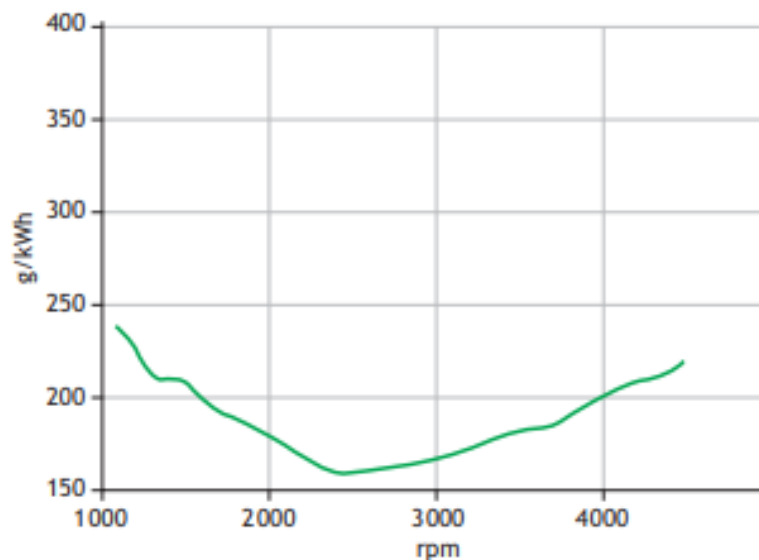


Figura 1.14 Curva de consumo específico de un motor

(Escudero & Rivas, 2011, p.27)

Empíricamente, el consumo específico de un motor de combustión diésel se encuentra entre 150 g / kWh a 250 g / kWh.

1.14 RENDIMIENTO DE UN MOTOR.

Anteriormente habíamos mencionado que un motor de combustión no aprovecha totalmente la energía contenida en el combustible para transformarla en trabajo útil, una considerable porción de energía se pierde, por lo que la energía disponible es menor a la originaria.

El balance resultante entre la cantidad de energía contribuida y la conseguida en una máquina se llama rendimiento y se representa como el porcentaje del trabajo que se contribuye (Acebes, 2017).

$$\eta = \frac{\text{energía obtenida}}{\text{energía aportada}} \cdot 100(\%) \quad [1.5]$$

1.14.1 RENDIMIENTO EFECTIVO.

El tipo de rendimiento efectivo, cuantifica el grado de aprovechamiento del motor en relación al combustible utilizado, en otras palabras, relaciona la potencia efectiva con la potencia de combustible (Calleja, 2018).

La fórmula según (Calleja, 2018), es la siguiente:

$$\eta_e = \frac{N_e}{\dot{m}_f \cdot H_c}$$

[1.6]

Donde:

η_e es el rendimiento efectivo expresado en tanto por ciento al multiplicar por 100

N_e es la potencia efectiva del motor en kW.

\dot{m}_f es flujo másico de combustible, expresado en g / h o kg / h.

H_c es el poder calorífico del combustible, en kJ / kg.

El rendimiento de un motor evidentemente será mejor si existe menos pérdidas en el proceso de transformación.

A continuación, se expondrá en la tabla 1, las pérdidas de energía que influyen en el rendimiento de un motor.

Tabla 1.1 Pérdidas de energía

Pérdidas de energía	
Pérdidas de calor	Se producen por el sistema de refrigeración y la transferencia de calor al exterior. También se considera las pérdidas de calor en los gases de escape.
Pérdidas mecánicas	Provocado por el rozamiento entre piezas en movimiento y por el accionamiento de sistemas auxiliares como la bomba de agua, bomba de aceite, etc.

Pérdidas químicas	Se genera por deficiencia en la combustión
-------------------	--

Fuente: (Acebes, 2017).

1.15 SISTEMAS CRDi DE INYECCIÓN DIÉSEL.

Los requisitos planteados a los sistemas de inyección de los motores diésel crecen permanentemente. Las elevadas presiones, rápidos tiempos de respuesta y la adaptación flexible del desarrollo de la inyección al estado de servicio del motor hacen el motor diésel económico, limpio y potente. (Bosch, 2005, p.4)

Según (Domínguez & Ferrer, 2019):

El *common rail* es uno de los sistemas más utilizados actualmente en los motores diésel. En este sistema, los inyectores van unidos entre sí por un conducto o riel común conectado a la bomba de alta presión, la bomba genera aproximadamente 1350 bar de presión máxima (...) el sistema está dividido en dos grupos de funcionamiento. (p. 109)

- 1- Sección de baja presión.
- 2- Sección de alta presión.

La ventaja principal de los sistemas *common rail* son las amplias posibilidades de variación en la configuración de la presión de inyección y los momentos de inyección (Bosch, 2005, p.4).

Es decir, la generación de presión y la inyección no van de la mano con el número de revoluciones del motor, sino que son independientes controladas por una unidad de control electrónico, la cual, se convierte en el cerebro de todo el sistema de inyección.

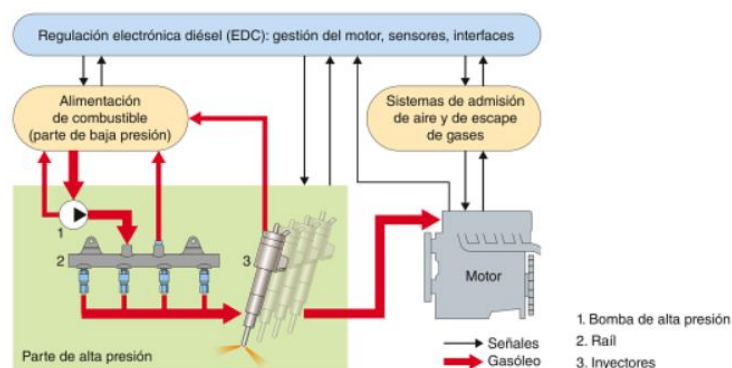


Figura 1.15 Funciones en la gestión electrónica e hidráulica de un sistema *Common Rail*

(Pardiñas & Feijó, 2018, p.385)

1.15.1 SECCIÓN DE BAJA PRESIÓN DEL SISTEMA *COMMON RAIL*.

Cumple la función de hacer llegar el combustible del tanque hasta la bomba de alta presión. Cuenta además con dispositivos los cuales hacen que el diésel llegue a la bomba de alta presión en condiciones adecuadas: filtrado y a temperatura apropiada (Pérez, 2017).

Para (E. Sánchez, 2009), los componentes principales del circuito de baja presión son:

1. Bomba de Alimentación: la función que cumple la bomba de alimentación es suministrar el carburante a la bomba de alta presión, existen bombas eléctricas y también bombas con engranajes de acuerdo a la aplicación, la figura 17 muestra una representación de la bomba de engranajes.
2. Filtro de combustible: el filtro de combustible tiene varias funciones, las que se pueden destacar son las siguientes: filtración del carburante, decantación de agua (en el caso de un filtro con trampa de agua), en la figura 18 se puede evidenciar la representación de un filtro de combustible de sistemas diésel.
3. Calentador de carburante: su misión es calentar el combustible hasta alcanzar la temperatura óptima de funcionamiento.

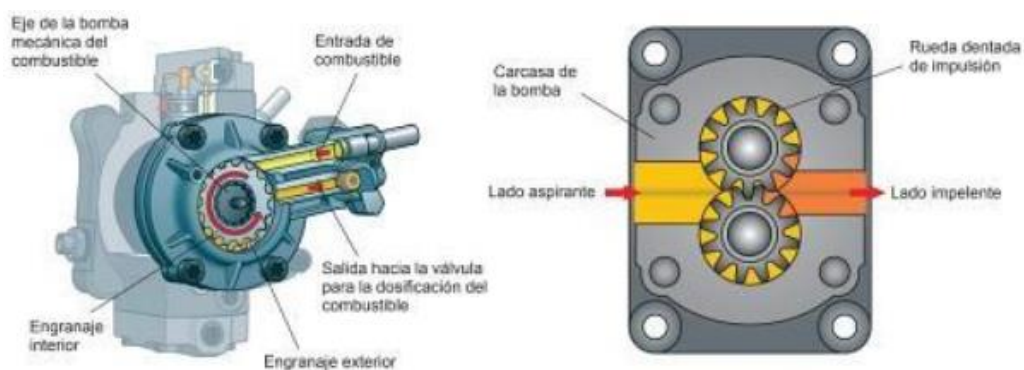


Figura 1.16 Bomba de suministro de engranes

(Pérez, 2017, p.303)

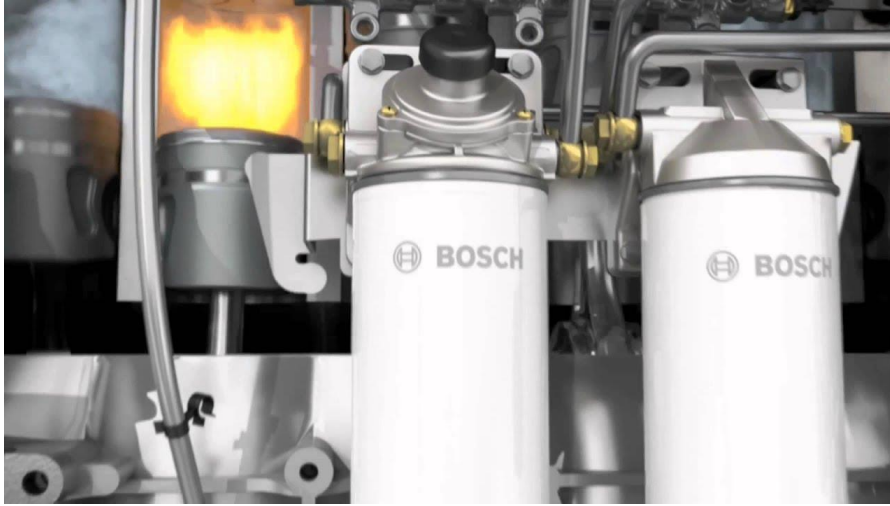


Figura 1.17 Filtros de Combustible

(Bosch, 2015, n.d.)

1.15.2 SECCIÓN DE ALTA PRESIÓN DEL SISTEMA COMMON RAIL.

De forma ininterrumpida, la bomba de alta presión comprime el combustible y lo envía al riel acumulador de alta presión. La unidad de control del motor activa los inyectores eléctricos para determinar el momento y la cantidad a inyectar. La presión de combustible se adapta por la válvula dosificadora, a los distintos estados de funcionamiento del motor y mediante la unidad de control electrónico que siempre se mantiene informado por el sensor de presión. (Domínguez & Ferrer, 2019)

Para (Pardiñas & Feijó, 2018), los elementos que constituyen al circuito de alta presión son:

1. La bomba de alta presión: Genera la alta presión y suministra el combustible hacia el riel o rampa. La bomba es alimentada por el circuito de baja presión.



Figura 1.18 Bomba de alta presión

(E. Sánchez, 2009, p.392)

2. Válvula reguladora de caudal: situada en la bomba de alta presión, pero en el circuito de baja. Suele llamarse ZME, VCV, SCV, depende el fabricante. Su función es controlar la cantidad de carburante enviado hacia la bomba de alta presión en función con los requerimientos del motor, consiguiendo una regulación de manera indirecta de la presión.
3. Válvula reguladora de presión: se encuentra situada en el riel o en la bomba de alta presión, cumple la función de regular la presión en el circuito de alta presión.



Figura 1.19 Válvula reguladora de presión

(Bosch, n.d.)

4. Riel: Garantiza una presión de combustible contante durante el proceso de inyección.



Figura 1.20 Acumulador de presión o riel

.(Pérez, 2017, p.315)

5. Inyectores: Pulverizan la cantidad deseada de carburante directamente en la cámara de combustión en el tiempo requerido.



Figura 1.21 Inyectores del Sistema *Common Rail*

(Domínguez & Ferrer, 2019, p.109)

1.15.3 GESTIÓN ELECTRÓNICA COMMON RAIL.

Lo que respecta a la gestión electrónica en sistemas de riel común se tiene una unidad de control electrónico y además sensores encargados de informar a la unidad de control electrónico magnitudes físicas correspondientes al funcionamiento. Según (Pardiñas & Feijó, 2018):

1. ECU: Unidad electrónica de control (electronic control unit), se encarga de controlar, en función de las condiciones de marcha del motor, la cantidad total que se debe inyectar a cada cilindro, el avance, el número de inyecciones, distancia entre las mismas y las cantidades de cada fase de inyección. Además, controla otras funcionalidades relacionadas al sistema como: la presión que se efectuará en el riel, válvula EGR (recirculación de gases de escape), el precalentamiento, y el intercambio de información con otros módulos del vehículo.
2. Sensores: proporcionan a la ECU los datos necesarios para controlar la inyección, existen numerosos sensores, pero nos centraremos netamente en los involucrados en el circuito de combustible.

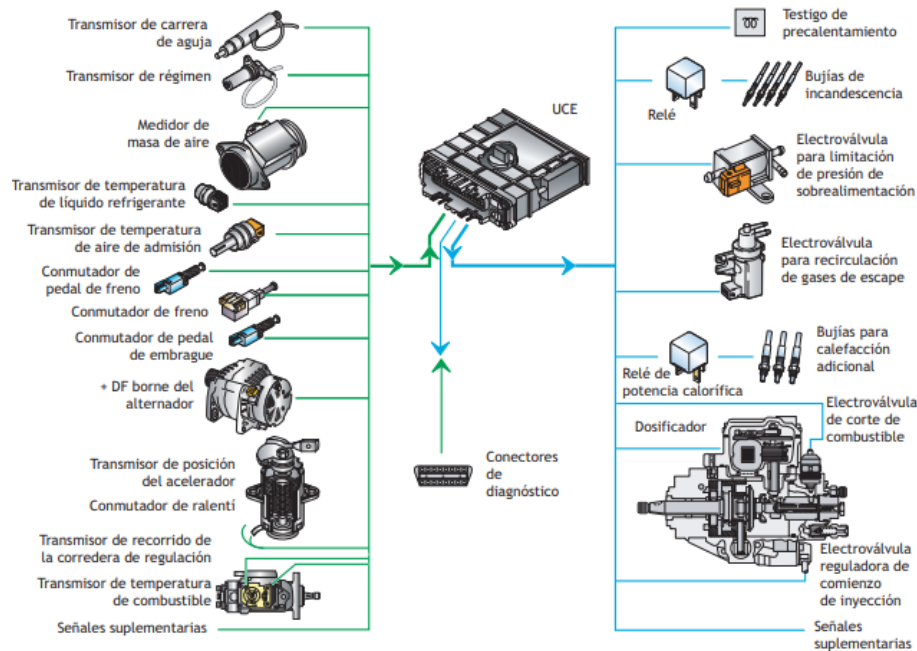


Figura 1.22 Representación de un sistema EDC

(E. Sánchez, 2009, p.356)

1.15.3.1 Sensor de temperatura de combustible.

Está montado en la zona de baja presión del combustible diésel. Con la temperatura que el sensor detecta se puede calcular con exactitud el caudal inyectado. (campo de medición -40 a $+120^{\circ}$ C) (Bosch, 2002).

1.15.3.2 Sensor de presión del riel.

Los sensores de presión en *Common Rail*, miden la presión del combustible en el acumulador de alta presión. El cumplimiento exacto de la presión del riel es importante por cuestiones de gases de escape y de potencia del motor. La presión excedente a la prefijada es igualada mediante una válvula de control de presión. (Bosch, 2002).



Figura 1.23 Sensor de presión del riel

(Pardiñas & Feijó, 2018, p.417)

1.16 COMBUSTIBLE DIÉSEL.

El Aceite Combustible para motores, (ACPM) o diésel es un combustible de destilado obtenido del fraccionamiento o destilación primaria del petróleo (p. 31) (Trujillo, 2010). El combustible diésel o también conocido como gasóleo es un combustible derivado del petróleo obtenido a través de un proceso llamado destilación fraccionada a temperaturas entre los 190 a 400 °C que posteriormente se deja enfriar para su condensación, está compuesto principalmente por parafínicos (C_nH_{2n+2}), naftalénicos (C_nH_{2n}) y aromáticos (C_nH_{2n-6}) (Chávez, 2019).

1.16.1 PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLE DIÉSEL CON LA COMPOSICIÓN Y RENDIMIENTO.

A continuación, detallamos una tabla de las propiedades del combustible diésel, su composición y rendimiento de acuerdo a varios factores de calidad y uso en el vehículo.

Tabla 1.2 Propiedades del combustible diésel

Propiedad	Efecto de la propiedad en el rendimiento	Rango de tiempo de efecto.
Punto de inflamabilidad	Seguro y fácil de usar, no afecta directamente al desempeño del motor.	-
Agua y sedimentos	Afecta al filtro de combustible e inyectores.	A largo plazo
Volatilidad	Afecta la facilidad de ignición y humo.	Inmediato
Viscosidad	Afecta la atomización del combustible y lubricación del sistema, también afecta a fugas del sistema.	Inmediato y a largo plazo
Ceniza	Puede dañar el sistema de inyección de combustible y puede causar depósitos en la cámara de combustión.	A largo plazo
Azufre	Afecta las emisiones de partículas, desgaste del cilindro y depósitos.	Partículas: Inmediato Desgaste: A largo plazo
Corrosión	Indica el potencial corrosivo en partes metálicas.	A largo plazo
Número de cetano	Calidad de la ignición, arranque en frío, combustión y emisiones.	Inmediato
Punto de evaporación y punto de flujo	Afecta al trabajo en bajas temperaturas y manejo de combustible.	Inmediato
Residuo de carbón	Mide la tendencia del combustible;	A largo plazo
Contenido de energía	Afecta al consumo de combustible	Inmediato
Densidad	Afecta el valor del calentamiento del combustible	Inmediato

Estabilidad	Indica el potencial para formar partículas insolubles, residuos de combustible durante la combustión o almacenamiento.	Inmediato y a largo plazo
Lubricidad	Afecta al desgaste del sistema de inyección de combustible, bomba e inyector.	Moderado: A largo plazo Severo: A corto plazo
Separabilidad del agua	Afecta la capacidad del agua para separarse del combustible	Inmediato y a largo plazo
Funcionamiento a baja temperatura	Afecta al flujo y la filtración en ambientes fríos.	Inmediato

Fuente: (Bacha et al., 2007, p.45)

1.16.2 EMISIÓN DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO POR LA COMBUSTIÓN DIÉSEL.

Como productos de la combustión Diesel se forman distintos gases de escape, los cuales están considerados como nocivos para la salud. Estos gases son resultado de la combustión incompleta, ya que los residuos indeseados pueden ser: hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxido de azufre (Wolfgang Schuch, 2005, p.550). De los residuos antes mencionados podemos encontrar que los más dañinos son el óxido de azufre y el óxido de nitrógeno, ya que afectan directamente a los sistemas vitales del cuerpo humano; por esta razón se busca disminuir sus niveles de emisiones. Otros gases contribuyen al efecto invernadero dentro de la atmósfera, los cuales, mediante varios procesos se ha logrado reducir.

Tabla 1.3 Emisión de gases y partículas por la combustión del diésel

Componente del gas de escape	En ralentí	A potencia máxima
Óxidos de nitrógeno (NOx)	50 a 200 ppm	600 2500 ppm
Hidrocarburos (HC)	50 a 500 ppm	< 50 ppm
Monóxido de carbono (CO)	100 a 450 ppm	350 a 2000 ppm
Dióxido de carbono (CO ₂)	A 3,5% en vol.	12 a 16% en vol.
Vapor de agua (H ₂ O)	2 q 4% en vol.	A 11% en vol.
Oxígeno (O ₂)	18% en vol.	2 a 11% en vol.
Nitrógeno (N ₂) y otros	Resto	Resto
Índice de ennegrecimiento (turismos)	IE = < 0,5	IE = 2 a 3
Temperatura de gases de escape tras válvula de salida	100 a 200 °C	550 a 800 °C

Fuente: (Wolfgang Schuch, 2005, p. 551)

1.16.3 NORMATIVA TÉCNICA ECUATORIANA DE REGULACIÓN DE NIVELES EMITIDOS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DIÉSEL.

Alrededor del mundo existen varios tipos de entidades gubernamentales que se encargan de regular los niveles de emisiones de gases contaminantes; a lo largo de la historia, desde la invención de motor de combustión, diferentes entidades se

preocuparon de la cantidad de gases emitidos a la atmósfera ya que estos resultaron ser dañinos para la salud humana y también contribuían al calentamiento global. Por esta razón establecieron normas para controlar los niveles de emisiones de dichos gases, las entidades más conocidas a nivel mundial son: la normativa europea EURO y EPA en Estados Unidos.

En el Ecuador la entidad encargada de la normalización y regulación de los límites de emisiones de gases contaminantes es el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), el cual establece una normativa obligatoria para cada vehículo de combustión diésel.

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado kg	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	Partículas g/km	CICLOS DE PRUEBA
Vehículos Livianos	Todos	Todos	2,10	0,25	0,62	0,12	FTP - 75
Vehículos Medianos	≤ 3 860	≤ 1 700	6,2	0,5	0,75	0,16	
		> 1 700 ≤ 3 860	6,2	0,5	1,1	0,28	
Vehículos Pesados**	> 3 860	Todos	15,5	1,3	5,0	0,10***	Transiente pesado
* prueba realizada a nivel del mar							
** en g/bHP-h (gramos / brake Horse Power-hora)							
*** para buses urbanos el valor es 0,07 g/bHP-h							

Figura 1.24 Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) * a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos)

(INEN, 2005)

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

* 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

Figura 1.25 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos)

(INEN, 2005)

Año modelo	% Opacidad
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

Figura 1.26 Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba de aceleración libre)

(INEN, 2005)

1.17 BIOCOMBUSTIBLES.

1.17.1 COMBUSTIBLES DIÉSEL ALTERNATIVOS.

Dentro de los biocombustibles se encuentran los biocarburantes, término que agrupa al conjunto de combustibles líquidos de origen vegetal que provienen de las distintas reacciones físico-químicas que ha sufrido la materia orgánica (I. Sánchez & Huertas, 2012). Este tipo de biocombustibles que son obtenidos de materias primas como aceites vegetales presentan una gran ventaja ya que proviene de una fuente sustentable y contribuye a la reducción de emisiones de gases contaminantes.

1.17.2 TRANSESTERIFICACIÓN.

La reacción de aceites o grasas (triglicéridos) con alcohol en presencia de un catalizador alcalino genera como productos esteres y glicerina. Esta reacción se conoce como transesterificación, y es la forma principal de producir biodiésel a partir de diversas materias primas (Curcas, Huerga, Carrizo, Brizuela, & Querini, 2010). En este proceso, como materias primas se utilizará metanol, ya que en nuestro medio es de bajo costo y alta disponibilidad; como catalizadores utilizaremos el hidróxido de sodio, el cual reacciona de manera favorable con los aceites vegetales.

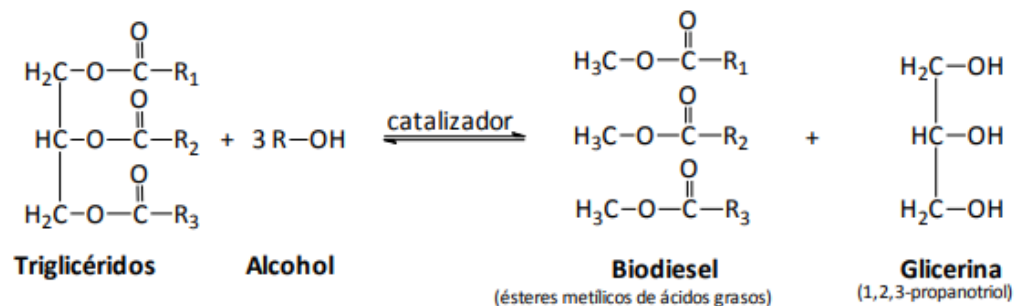


Figura 1.27 Proceso de transesterificación

(Pardal, 2012, p.17)

Como se puede observar en el gráfico mostrado, de la reacción de los triglicéridos con el alcohol producen tres cadenas de ésteres metílicos, las cuales se conocen como moléculas de biodiésel; también como resultado de esta reacción se obtiene glicerina. Para este proceso se debe tomar en cuenta algunas variables de operación, las cuales podemos encontrar: calidad de la materia prima, temperatura, relación molar, cantidad del catalizador y velocidad de agitación de la mezcla.

1.17.3 BIODIÉSEL

El biodiésel es un tipo de combustible que es producido a partir de materias primas renovables para motores diésel, las cuales pueden ser de origen vegetal o de grasas animales; este biocombustible posee propiedades similares al diésel y puede ser empleado para cualquier tipo de automóvil, el cual también puede ser mezclado en diferentes proporciones con el combustible diésel convencional (I. Sánchez & Huertas, 2012, p.11)

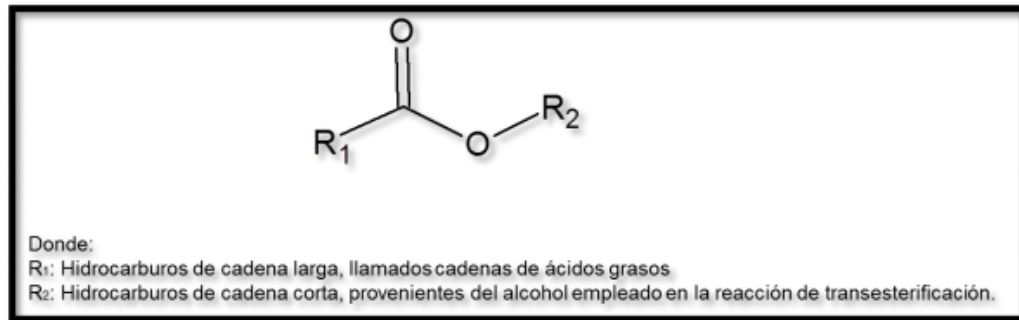


Figura 1.28 Cadenas de hidrocarburos del biocombustible

(I. Sánchez & Huertas, 2012, p.11)

Este tipo de biocombustible está compuesto por una cadena de esteres monoalquílicos de ácidos, los cuales se pueden obtener a través de un proceso de transesterificación como se mencionó anteriormente, el biodiésel hace referencia a múltiples tipos de combustibles alternativos los cuales son obtenidos a partir de fuentes vegetales renovables o también de aceites animales. Actualmente el biodiésel se considera como un aditivo ya que no se usa en su totalidad en un motor de combustión diésel, se necesita mezclar con el diésel convencional para un buen desempeño en el motor, pero varias investigaciones apuntan que en un futuro podremos utilizar el 100% de un biodiésel en un motor de combustión.

1.18 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.

1.18.1 DINAMÓMETRO INERCIAL.

Un dinamómetro inercial para (Baltazar, 2017), es un dispositivo de medición de magnitudes físicas mediante la aplicación de una fuerza y una distancia.

Dimensionalmente, el producto de esta fuerza y esa distancia resulta en una magnitud llamada par o torque, a partir de la medición de dicho par, el dinamómetro puede medir la potencia del motor derivando del producto del par por sus rpm.

1.18.2 OPACÍMETRO.

Es un instrumento para medir la opacidad en el humo generado por el tubo de escape.

Para (Valencia, 2008), los opacímetros interpretan su lectura partiendo de la relación de la intensidad de radiación transmitida por un material absorbente y la intensidad

provista desde la fuente de radiación visible, la definición de opacidad y el diseño óptico del aparato.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1 MATERIALES Y EQUIPOS.

2.1.1 FICHA TÉCNICA DEL VEHÍCULO UTILIZADO.

El vehículo que se utilizó como objeto de pruebas, fue una *pickup* de marca Ford, modelo Ranger 2.5 Tdi DuraTorq, en la tabla 3.1, se detalla su ficha técnica de manera más específica.

Tabla 2.1 Ficha técnica vehículo Ford Ranger.

Motor	
Tipo	Diésel, 4 Cil. En Línea
Cilindrada	2.499 Cm ³ (93x92)
Alimentación	Inyección directa, Turbo, Intercooler
Distribución	4 válvulas Por Cilindro (DOHC)
Potencia Máx.	141 hp @ 3.500 Rpm
Par Máximo	330 Nm @ 1.800 Rpm
Transmisión	
Tracción	Trasera Con La Delantera Conectable Con Lsd
Cambio	Manual 5 Velocidades
Suspensión	
Delantera/Trasera	Barra De Torsión/Ballestas Semi-elípticas
Frenos	
Delanteros/	Discos Ventilados/
Traseros	Tambores
Dimensiones Y Pesos	
Largo/Ancho/Alto	4.998/1.750/1.750 Mm
Batalla	3.000 Mm

Vía Del./Trasera	1.450-1.450 Mm
Peso	1.815 Kg
Dim. Caja	1.530/1.458/465 Mm
Cap. De Carga	700 Kg
Depósito	70 Litros
Ruedas	
Llantas	6x16
Neumáticos	235/75 R-15
Prestaciones Y Consumo	
Velocidad Máx.	145 Km/H
Consumo Medio	11,5 L/100 Km

Fuente: (Ford Motor Company, 2010)

2.1.2 FICHA TÉCNICA DEL DINAMÓMETRO UTILIZADO.

La tabla 2.2 muestra la ficha técnica del dinamómetro inercial con el que se realizó las prácticas.

Tabla 2.2 Especificaciones del dinamómetro

Especificaciones	Datos
Marca	Vamag italiana
Torque	1500 Nm
Potencia Máxima	400 hp
Frecuencia	50 – 60 Hz
Masa	1200 Kg
Dimensiones	3070 x 870 x 310 h mm
Presión circuito aire comprimido	6 bar
Diámetro Rodillo	240 mm
Ancho Rodillo	660 mm
Velocidad Máxima	180 Km/h

Voltaje de suministro	220 – 400V AC
Corriente Nominal	16 Amp

Fuente: (Vamag, 2013)

2.1.3 FICHA TÉCNICA DEL OPACÍMETRO.

Opacímetro marca Brain Bee Automotive, modelo OPA 100 para medir la opacidad en motores diésel, tiene las características que se presentan en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Especificaciones del opacímetro

Transmisión de luz	0 – 99.9 %
Contador de revoluciones	300 – 9990 RPM
Temperatura de humo	20°C – 400°C

Fuente: (Brain Bee Workshop Solutions, n.d.)

2.1.4 ESPECIFICACIONES DEL ADITIVO PARA EL BIOCOMBUSTIBLE.

El aditivo que se utilizó es denominado catalizador de combustible. En la tabla 2.4 se muestra sus especificaciones de manera más detallada.

Tabla 2.4 Especificaciones del aditivo

Apariencia visual	Tabletas
Composición	DS700i
Composición química	Base: Fe (di-metilciclopentadienil)
Punto de ebullición	255°C
Punto de fusión	70°C
Densidad de vapor	5.3 (aire=1)
Presión de vapor	< 1 psi
Gravedad específica	1.04
Densidad	0.992
Solubilidad en agua	Insignificante
Estabilidad	Estable
Incompatibilidad	Agentes oxidantes fuertes
Polimerización peligrosa, riesgo de explosión o fuego inusual.	No ocurre ninguno

Fuente: (Ferox, 2008)

2.2 METODOLOGÍA.

2.2.1 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA ENTRE DIÉSEL CONVENCIONAL Y BIODIÉSEL.

Para realizar correctamente la mezcla, en los diferentes porcentajes, hay que tomar en cuenta ciertos factores, como, por ejemplo: la correcta graduación en nuestros instrumentos de trabajo, la limpieza de los mismos y también el uso de equipos de protección personal. Estos factores nos ayudaran a que el resultado final sea lo más exacto posible y con un porcentaje de error lo más corto posible.

Para realizar las respectivas pruebas de mediciones se tomó en cuenta un volumen inicial de 10 litros de diésel convencional, el cual, posteriormente se procedería a mezclar con el combustible alternativo que en este caso se utilizó biodiesel procedente del aceite de palma. Para realizar las respectivas mezclas hay que establecer el porcentaje de las mezclas de biocombustible, que este caso, se utilizó mezclas B10 y B15; las cuales corresponden 10% de biodiesel en el total de la mezcla y el 15% del total de la mezcla con diésel convencional, respectivamente.

2.2.2 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE B10 Y B15.

Para realizar la mezcla correcta entre el diésel convencional y biocombustible, debemos tomar en cuenta la cantidad final que vamos a utilizar en cada prueba, de esta manera, evitamos tener desperdicios y nuestros resultados no van a tener un margen de error muy amplio. En el caso de las mezclas de biocombustible B10 y B15 que corresponden al 10% y 15% respectivamente, del total de la mezcla, en la cual utilizamos un volumen final de 2 litros de biodiésel; para obtener el porcentaje deseado en una cantidad cuantificable simplemente utilizamos una regla de tres simple, la cual consiste en que el 100% de la mezcla sea el total del volumen y lo dividimos para el porcentaje deseado.

$$\text{Total de la mezcla} = 2 \text{ lt} = 100\%$$

$$\text{Porcentaje de la mezcla B10} = 10\%$$

$$\text{B10 en lt} = x = \frac{2 * 0.1}{1} = 0.2 \text{lt}$$

Con esta regla de tres simple, se puede determinar que del total de la cantidad que vamos a utilizar para las respectivas pruebas, 0.2 litros corresponden al volumen de biodiesel y 1.8 litros corresponden a la cantidad de diésel convencional en la mezcla. De la misma manera realizamos el cálculo para determinar el volumen que vamos a necesitar en la mezcla B15, que en este caso corresponde a 0.30 litros de biodiésel y 1.70 litros de diésel convencional para el total de la mezcla.



Figura 2.1 Realización de las mezclas de biocombustibles

En la figura 2.1 se pueden apreciar los elementos utilizados para realizar una correcta medición en los volúmenes que se necesita para realizar las respectivas mezclas B10 y B15. Con la correcta mezcla física procedemos a realizar las respectivas pruebas de torque, potencia, opacidad y emisiones de gases.

2.2.3 PROCESO PARA COLOCAR EL ADITIVO EN CADA MEZCLA B10 Y B15.

Para realizar un análisis en el rendimiento del vehículo con un aditivo necesitamos diluirlo en la mezcla B10 y B15 en la misma proporción que corresponde a 0.2 gr, para que el

aditivo se mezcle de mejor manera es necesario machacarlo y pesarlo sobre una balanza electrónica, de esta manera aseguramos que la cantidad utilizada es la correcta.



Figura 2.2 Aditivo que se emplea en las mezclas

En la figura 2.2 se evidencia el aditivo, que viene en forma de tableta, se procede a tritularlo, y tiene que estar en el peso correcto, una vez pesado continuamos a diluirlo con las mezclas B10 y B15.

Hay que recalcar que en las pruebas realizadas con aditivo utilizamos mezclas individuales de B10 y B15.



Figura 2.3 Adición del aditivo a las mezclas B10 y B15

En la figura 2.3, se puede apreciar el aditivo, el cual debe mezclarse con el biodiesel hasta que este se disuelva completamente.

2.2.4 NORMATIVA ISO 1585 PRUEBAS EN VEHÍCULOS (DINAMÓMETRO).

El Estándar Internacional especifica un método para probar motores diseñados para vehículos. Se aplica a la evaluación de su rendimiento con el objetivo, en particular de presentar las curvas de potencia y el consumo específico de combustible a plena carga en función de la velocidad del motor es aplicada solo a la evaluación de la potencia neta. (ISO, 1992, pág. 25). Esta norma es un método de prueba para verificar el rendimiento de un vehículo representando las curvas de potencia y torque en función de la velocidad del motor, donde se aplica en los motores de combustión interna alternativos a excepción de las motocicletas, ciclos motores y tractores agrícolas que eventualmente circulan por las carreteras. (ISO et al., 1992, pág. 26)

2.2.5 PREPARACIÓN DEL VEHÍCULO PARA PRUEBAS EN EL DINAMÓMETRO.

Hay que tomar en cuenta algunos parámetros y medidas de seguridad antes de realizar las pruebas en el dinamómetro inercial, ya que de esta manera obtendremos buenos resultados y también cuidaremos de nuestra seguridad.

Algunas de estas medidas son:

1. Uso obligatorio de equipos de protección personal (calzado punta de acero, overol o mandil, protección auditiva.
2. Colocar de manera correcta los anclajes para inmovilizar el vehículo.
3. Verificar que las ruedas motrices del vehículo se encuentren alineadas con los rodillos del dinamómetro.
4. El área de trabajo debe estar ventilada para evitar una excesiva inhalación de gases de combustión.



Figura 2.4 Anclaje del vehículo

En la figura 2.4, se evidencia el anclaje del vehículo a los seguros colocados en el suelo mediante cintas. Las ruedas motrices son las ruedas posteriores, las cuales se encuentran centradas en los rodillos.

Con los datos que se van a obtener en las siguientes pruebas podemos verificar el desempeño del vehículo según las especificaciones del fabricante, también podremos determinar el rendimiento del vehículo.

2.2.6 PRUEBAS Y TOMAS DE MEDIDAS.

Para tomar las pruebas y medidas debemos realizar los siguientes pasos:

1. Las ruedas motrices deben estar colocadas de manera alineada con los rodillos del dinamómetro y a su vez centradas con la línea de marcha del equipo.
2. Una vez que las ruedas estén centradas y alineadas con el dinamómetro hay que asegurar el automóvil con los elementos de seguridad que ayudan a que éste quede fijado al suelo.



Figura 2.5 Sujeción del vehículo al suelo mediante cintas

En la figura 2.5 se observan los anclajes ubicados en el suelo y sujetos al vehículo por medio de cintas, también se puede observar que las ruedas motrices se encuentran alineadas y centradas con los rodillos del dinamómetro.

3. Para un correcto anclaje de los elementos de seguridad hay que sujetar los ganchos en las ballestas y en la parte delantera se recomienda sujetar en la mesa, que es parte de los elementos de suspensión.

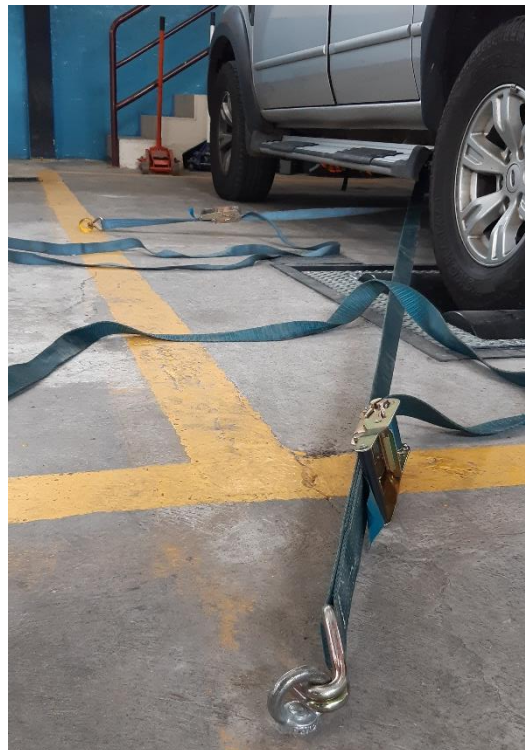


Figura 2.6 Enganche del vehículo en sus elementos de suspensión

En la figura 2.6 se puede observar el anclaje de los ganchos de sujeción en los elementos de suspensión.

4. Para evitar recalentamientos en el motor ya que no existen una buena ventilación en los lugares cerrados, hay que colocar un ventilador en frente del vehículo y mantenerlo encendido durante el tiempo que se realicen las pruebas.

2.2.7 PRUEBAS PARA DETERMINAR TORQUE Y POTENCIA.

Para iniciar las pruebas en el dinamómetro hay que tomar en cuenta las especificaciones del fabricante, ya que estos datos no ayudaran a que la gráfica de torque y potencia proporcionada por el *software* sea más precisa al momento de realizar las mediciones. Dichas mediciones se realizan bajo la normativa ISO 1585, la cual utiliza a la velocidad generada por el motor y transmitida a las ruedas motrices para transmitir datos de mediciones con diferentes mezclas de biocombustible.

Luego de haber ingresado los datos, se procede a seleccionar la potencia de preparación del motor que viene dada en varias escalas en hp, de la cual se debe escoger la que más se acerque a la potencia proporcionada en los datos del vehículo por el fabricante.

Para comenzar a realizar las pruebas y tomar las medidas correspondientes debemos seleccionar la velocidad de salida, que es el momento en el que el dinamómetro y el *software* empezaran a introducir los datos. Esta velocidad de salida se debe considerar ya que existe una variación de aceleración desde el reposo hasta una velocidad considerable, en ocurre de 0 a 50 km/h.

Al momento de iniciar con la toma de medidas se deben realizar varias simulaciones de prueba, esto nos ayudara a tener una mejor perspectiva del funcionamiento del dinamómetro y obtener resultados más precisos. Una vez realizados los ensayos se procede a realizar las mediciones, las cuales obtendremos colocando el automóvil en marcha y comenzaremos a acelerar gradualmente y cambiando las marchas hasta llegar la 4ta, dicha marcha es la que más se acerca en relación 1:1 con la velocidad proporcionada por el motor; en la marcha mencionada anteriormente debemos acelerar hasta la velocidad de salida que especificamos, que en este caso es 50 km/h, en ese instante hay que pisar el pedal del acelerador a fondo e instantáneamente las gráficas de torque y potencia empezaran a dibujarse en la pantalla que viene incorporada al dinamómetro, la velocidad seguirá aumentando hasta llegar a una velocidad máxima aproximada de 160 km/h, en el instante que las curvas de torque y potencia empiezan a

descender se debe pisar el embrague y dejar que el vehículo regrese a su régimen normal de ralentí.

2.2.8 ADAPTACIÓN DE UN RESERVORIO EXTERNO PARA LAS MEZCLAS DE BIODIESEL.

Dentro de las mediciones que se realicen y para tener una medida exacta de la cantidad de biodiesel que se está utilizando, junto con la cantidad de aditivo que se adiciona a la mezcla, se recomienda utilizar un reservorio externo. En las pruebas realizadas para esta investigación utilizamos un reservorio externo de 20lt el cual colocamos dos mangueras de 1/8in, de las cuales, una de las mangueras se coloca en la alimentación de la bomba de alta y la otra se coloca en el retorno.

Como primer paso procedemos a ubicar la bomba de inyección de alta presión y sus respectivos conductos de alimentación de combustible y retorno.



Figura 2.7 Mangueras de entrada y retorno a la bomba de alta presión

En la figura 2.7, se puede observar las mangueras de alimentación y de retorno de combustible hacia la bomba de alta.

Una vez que se haya ubicado estos conductos procedemos a ubicar los mismos conductos que van hacia el filtro de combustible, retiramos el filtro viejo y colocamos uno nuevo para obtener mejores resultados durante las pruebas.

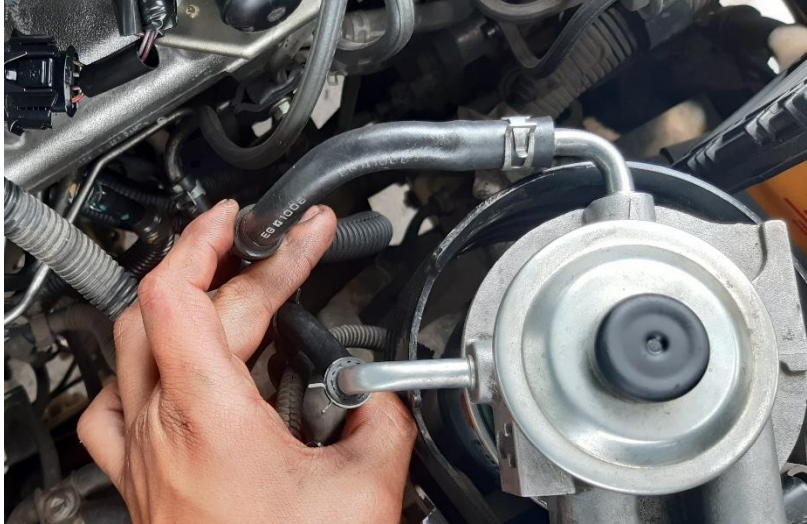


Figura 2.8 Filtro de combustible

La figura 2.8 muestra los conductos de alimentación y retorno de combustible, conjuntamente se encuentra el filtro de combustible y la bomba de vacío para purgar el sistema de alimentación.

Una vez que se haya reemplazado el filtro viejo por uno nuevo, colocamos las mangueras de alimentación y de retorno de nuestro deposito hacia los conductos del filtro, y con la bomba de vacío procedemos a purgar el sistema con el fin de eliminar el exceso de aire dentro de nuestro sistema adaptado con deposito externo.

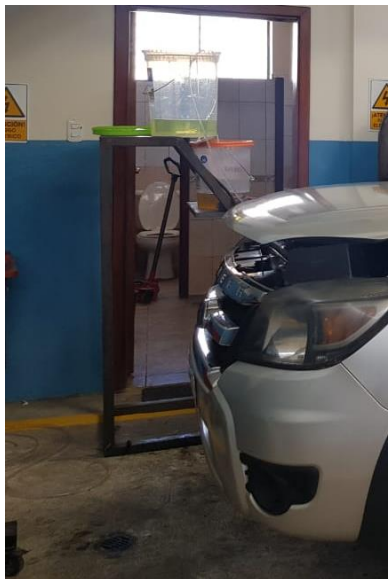


Figura 2.9 Depósito externo de los combustibles

En la figura 2.9 se muestra al depósito externo colocado a un nivel superior al de la bomba de alimentación de alta presión, ya que, al no tener una bomba de succión, la gravedad nos ayuda a que el biodiesel llegue a la bomba.

2.2.9 CURVAS DE TORQUE Y POTENCIA USANDO TANTO DIÉSEL COMO BIODIÉSEL.

Después de haber realizado varias pruebas en el dinamómetro con diésel convencional y con biodiésel, obtendremos las respectivas curvas de torque y potencia con algunos datos los cuales hay que interpretar de manera correcta.

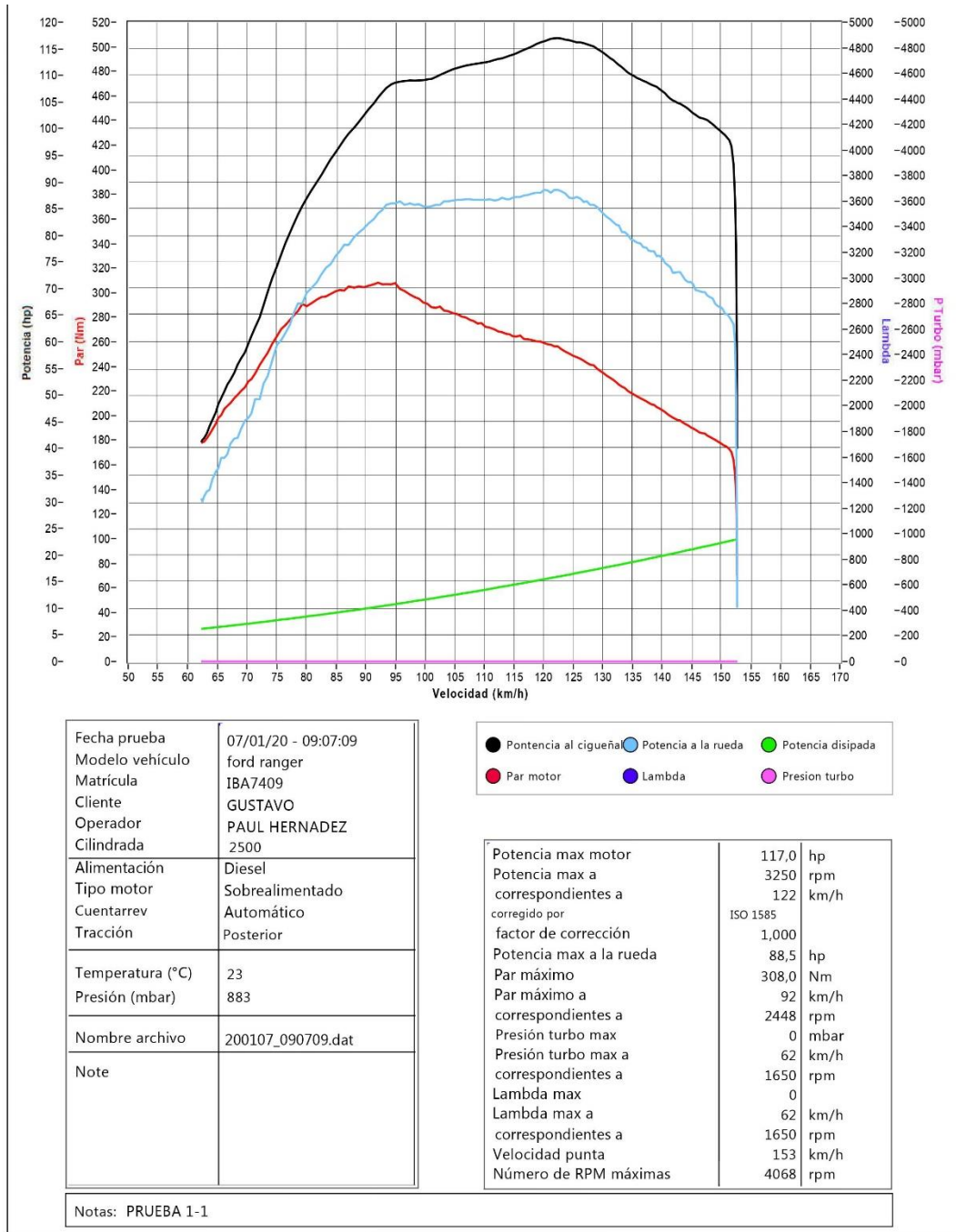


Figura 2.10 Hoja de resultados provista por el *software* en conjunto con el dinamómetro

En la figura 2.10 se aprecia las curvas obtenidas del *software*, la curva de color negro representa a la potencia de salida directamente del cigüeñal, la curva de color celestes representa a la curva de potencia de salida a las ruedas motrices, la curva roja representa al torque o par motor generado por el motor y la curva verde representa a la potencia disipada; todos estos datos se basan en regímenes de velocidad y RPM del motor.

2.2.10 PROCEDIMIENTO PARA MEDIR OPACIDAD.

1. Instalar el medidor de opacidad OPA 100, en el lugar en el cual se efectúa el diagnóstico.



Figura 2.11 Instalación del opacímetro

2. Ingresar los datos correspondientes al vehículo en el *software* encargado de presentar los datos obtenidos de la medición.
3. Encender el motor, y mantenerlo encendido hasta estabilizar tanto temperatura como rpm.
4. Colocar el cuentarrevoluciones sobre el bloque del motor.
5. Ubicar la sonda de medición de opacidad en el tubo de escape del vehículo.
6. Realizar aceleraciones progresivas para cada muestra de medición, tanto para diésel, y las mezclas con biodiésel.
7. Guardar los valores mostrados en el computador de cada una de las mediciones efectuadas.



Figura 2.12 Muestra de los resultados de cada prueba

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente capítulo, se analizó los datos obtenidos de torque y potencia en las pruebas dinamométricas, se realizó una comparativa entre biocombustibles utilizados en el motor del vehículo sujetos a las pruebas, tal y como se describe en el capítulo anterior, adicional a esto, se realizó mediciones de opacidad entre los combustibles seleccionados, con el fin de determinar el índice de gases contaminantes de los productos de la combustión.

3.1 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CON DIÉSEL CONVENCIONAL.

a. Datos obtenidos en la primera prueba dinamométrica, utilizando únicamente diésel y su análisis correspondiente.

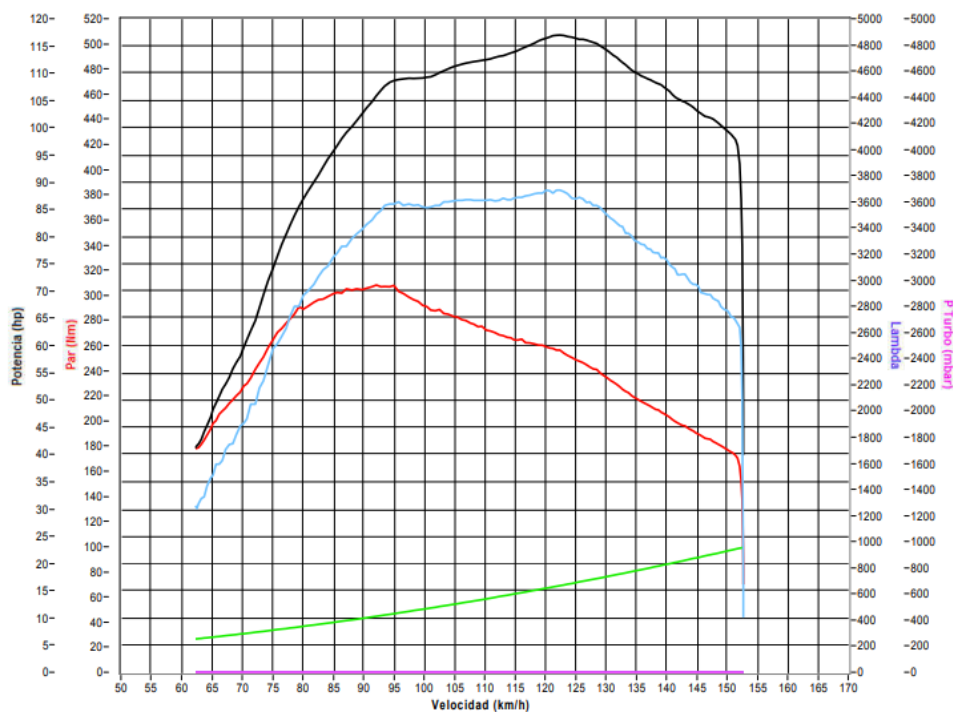


Figura 3.1 Curvas características del motor con diésel prueba 1

En la figura 3.1, se puede apreciar las curvas características del motor tanto de potencia, como de par motor. Se consiguió un valor de par máximo de 308 Nm a un régimen de 2448 rpm, siguiendo la curva de par, a partir de ese valor, la curva comienza a decaer, debido a que el torque es directamente proporcional a la calidad de la explosión en el cilindro. No obstante, la potencia muestra un valor máximo de 117 hp a un régimen de 3250 rpm, algo aceptable, según las condiciones del vehículo.

A continuación, la tabla 3.1 detalla los valores encontrados en esta prueba.

Tabla 3.1 Resultados prueba 1

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	117 hp	122 km/h	3250 rpm
Torque	308 Nm	92 km/h	2448 rpm

b. Datos obtenidos en la segunda prueba dinamométrica, utilizando únicamente diésel y su análisis correspondiente.

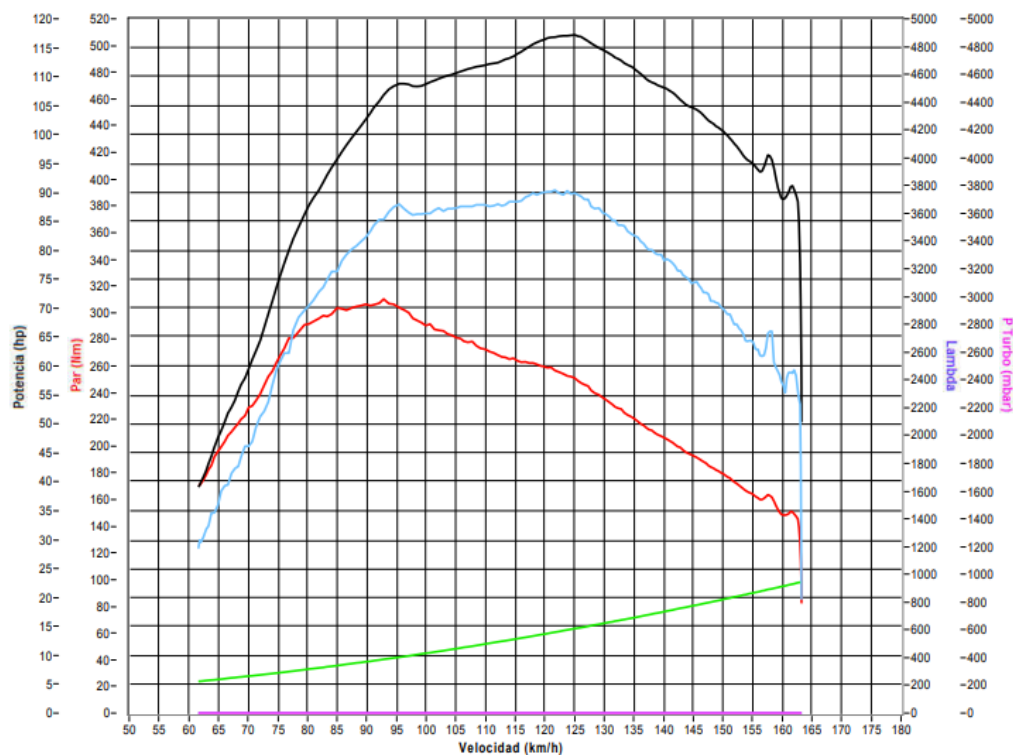


Figura 3.2 Curvas características del motor con diésel prueba 2

Según los valores obtenidos en la figura 3.2, se puede evidenciar que tanto las curvas de torque y potencia son muy similares a las de la prueba 1, los puntos de torque y potencia máxima relacionada a la variable de régimen para cada una de ellas, se puede observar que la potencia máxima obtenida en esta prueba fue de 117.2 hp, a un régimen de 3330 rpm, a su vez, el par máximo obtenido fue de 310 Nm a un régimen de 2453 rpm.

En la tabla 3.2, se detalla los valores obtenidos de esta prueba.

Tabla 3.2 Resultados prueba 2

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	117.2 hp	125 km/h	3330 rpm
Torque	310 Nm	92 km/h	2453 rpm

c. Datos obtenidos en la tercera prueba dinamométrica, utilizando únicamente diésel, y su análisis correspondiente.

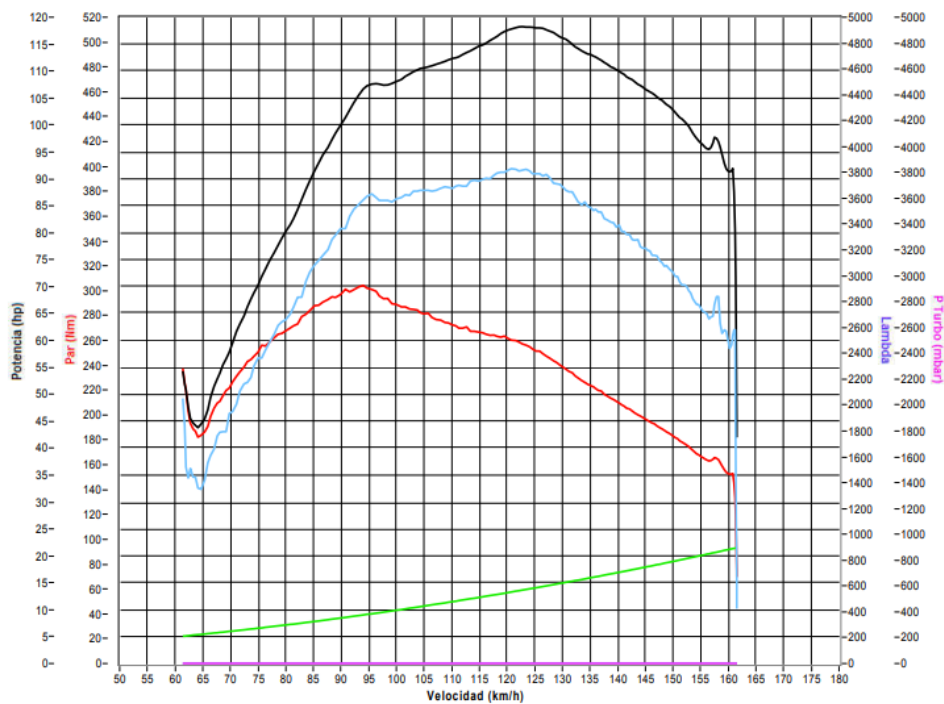


Figura 3.3 Curvas características del motor con diésel prueba 3

Se puede evidenciar en la figura 3.3 que, la curva de par motor tiene un valor máximo de 304 Nm a 2498 rpm, y luego decae por causa del incremento del régimen del motor, con ello, se llega a alcanzar unos valores de 118.2 hp a un régimen del motor de 3275 rpm.

Para detallar de mejor manera, se presenta en la tabla 3.3, los valores obtenidos en la tercera prueba.

Tabla 3.3 Resultados prueba 3

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	118.2 hp	123 km/h	3275 rpm
Torque	304 Nm	94 km/h	2498 rpm

3.1.1 MEDIA ARITMÉTICA DE LOS DATOS DE POTENCIA Y PAR UTILIZANDO ÚNICAMENTE DIÉSEL.

Para facilitar la representación de los datos obtenidos en esta prueba, se realizó un promedio entre los datos recopilados de cada prueba, con la utilización de diésel tradicional como reactivo para efectuar la combustión, esta prueba dinamométrica arrojó los siguientes datos representados en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Resultados obtenidos de la prueba realizada únicamente con diésel

	Potencia	Régimen	Velocidad	Par motor	Régimen	Velocidad
Promedio	117.5 hp	3285 rpm	123.3 km/h	307.3 Nm	2466.3 rpm	92.6 km/h

Los promedios obtenidos de cada variable que se estudió, se representan en la tabla anterior.

Se compara el torque y la potencia que provee el fabricante en su ficha técnica y los datos obtenidos en esta investigación, podemos destacar que, existe una variación considerable en los datos. Esto se debe a que el fabricante obtiene sus valores en pruebas realizadas en diferentes condiciones externas, como: altitud, temperatura ambiental y humedad del aire.

También se debe considerar la vida útil del motor, ya que el fabricante realiza sus pruebas con el vehículo nuevo de producción y utilizando un dinamómetro de motor. En esta investigación hay que considerar que la prueba se realizó con un dinamómetro inercial (chasis) y el vehículo de pruebas ya cuenta con un recorrido significativo.

3.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CON MEZCLA DE BIODIÉSEL B10

- a. Datos obtenidos en la primera prueba dinamométrica, utilizando mezcla de biodiésel B10, y su análisis correspondiente.

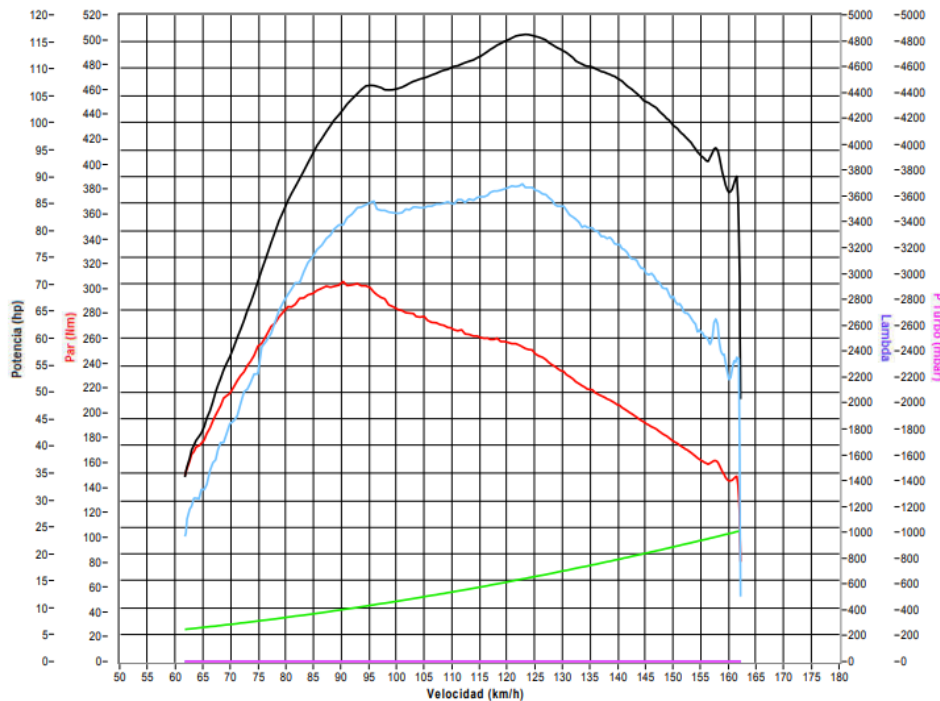


Figura 3.4 Curvas características del motor con biodiésel B10 prueba 1

En la figura 3.4, se pudo observar los siguientes datos obtenidos de las variables de torque y potencia, la gráfica del par, muestra un valor de 306 Nm a 2387 rpm correspondientes, no obstante, se evidenció una potencia máxima de 116.4 hp a un régimen de 3292 rpm y alcanzando una velocidad de punta de 124 km/h

En la tabla 3.5, se muestra de mejor manera los datos obtenidos en relación a las gráficas de torque y potencia para esta prueba.

Tabla 3.5 Resultados prueba 1

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	116.4 hp	124 km/h	3292 rpm
Torque	306 Nm	90 km/h	2387 rpm

b. Datos obtenidos de la segunda prueba dinamométrica, utilizando mezcla de biodiésel B10, y su análisis correspondiente.

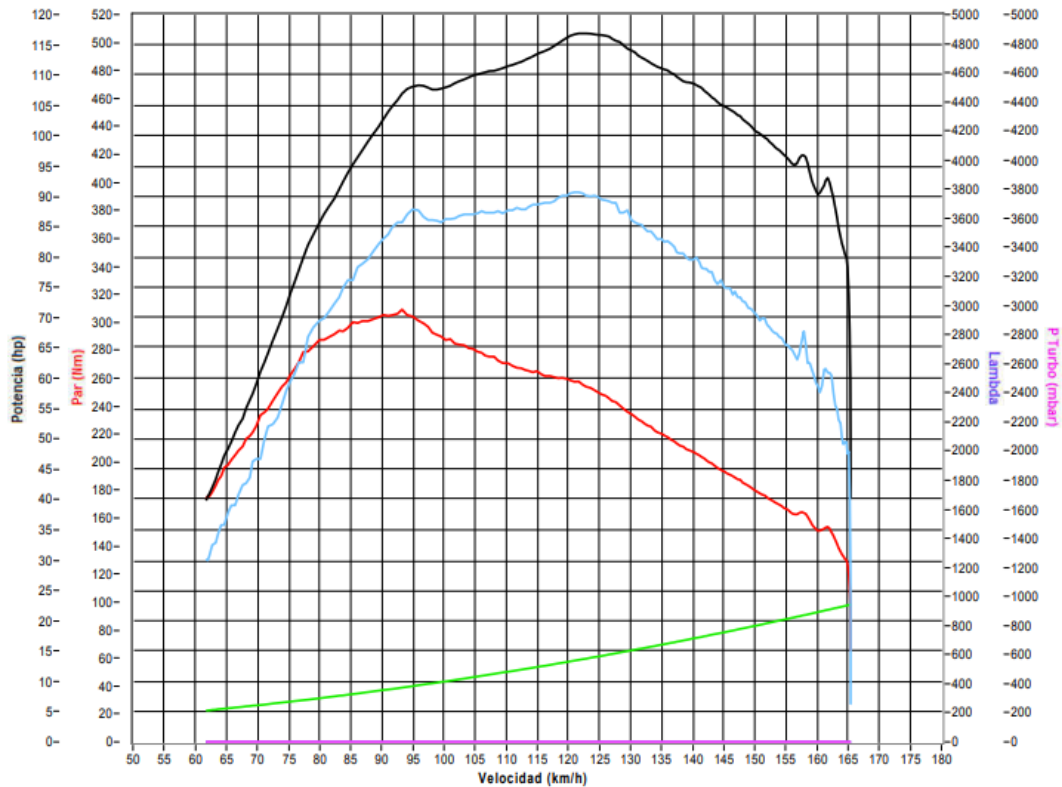


Figura 3.5 Curvas características del motor con biodiésel B10 prueba 2

En la gráfica correspondiente a la figura 3.5, se pudo justificar que se obtuvo un par máximo de 309 Nm a un régimen de 2465 rpm, por otra parte, en el caso de la potencia máxima que fue determinada en esta segunda prueba, se pudo corroborar un valor de 116.9 hp a un régimen de 3229 rpm.

En la tabla 3.6, se expresan estos valores de manera más legible, con el fin de expresar los resultados de la segunda prueba con mezcla B10.

Tabla 3.6 Resultados prueba 2

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	116.4 hp	121 km/h	3229 rpm
Torque	309 Nm	93 km/h	2465 rpm

c. Datos obtenidos de la tercera prueba dinamométrica, utilizando mezcla de biodiésel B10, y su análisis correspondiente.

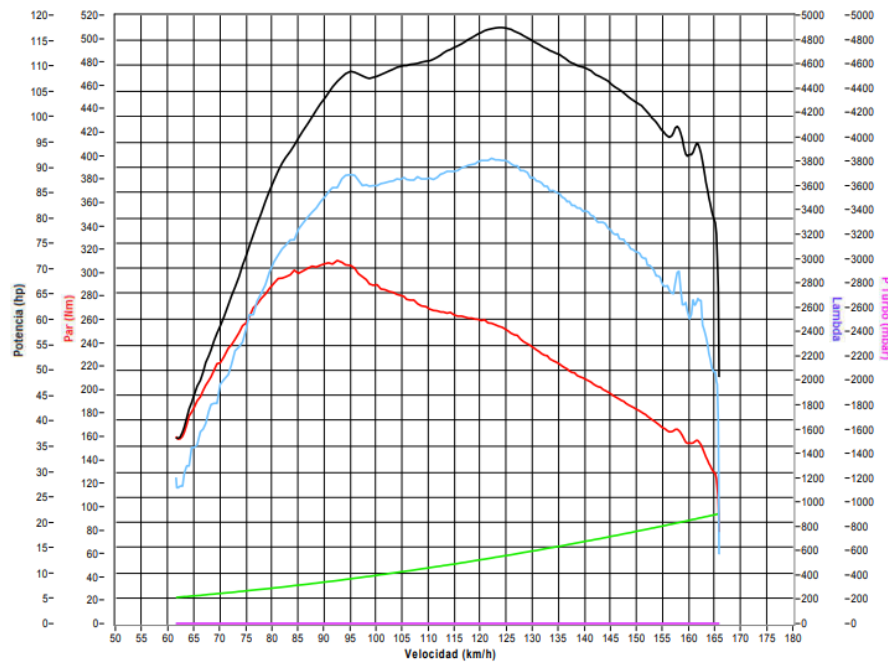


Figura 3.6 Curvas características del motor con biodiésel B10 prueba 3

En el desarrollo de la última prueba correspondiente al uso de mezcla B10 con biocombustible, se ha demostrado que la gráfica de la potencia muestra un valor máximo de 117.5 hp a un régimen de 3296 rpm, en el caso del par motor, se pudo notar que, en un régimen de 2452 rpm, se obtiene un valor de par máximo de 310 Nm.

La tabla 3.7, muestra los valores obtenidos de torque y potencia de esta tercera prueba con mezcla B10.

Tabla 3.7 Resultados prueba 3

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	117.5 hp	124 km/h	3296 rpm
Torque	310 Nm	92 km/h	2452 rpm

3.2.1 MEDIA ARITMÉTICA DE LOS DATOS DE POTENCIA Y PAR UTILIZANDO MEZCLA DE BIOCOMBUSTIBLE B10.

Tabla 3.8 Resultados obtenidos de las pruebas utilizando biodiésel en mezcla B10

	Potencia	Régimen	Velocidad	Par motor	Régimen	Velocidad
Promedio	116.7 hp	3272.3 rpm	123 km/h	308.3 Nm	2434.6 rpm	91.6 km/h

Los datos representados en la tabla 3.8, sirven para representar el promedio de todas las mediciones realizadas en la prueba utilizando la adición de una mezcla con biocombustible B10.

Los datos obtenidos de esta prueba con mezclas de biocombustible B10, muestran una mínima variación. Esto se debe a que el régimen de revoluciones y velocidad máxima en cuarta velocidad, no son iguales en cada una de las pruebas realizadas, también intervienen factores externos y temperatura del vehículo.

3.3 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CON MEZCLA DE BIODIÉSEL B10 AÑADIENDO UN ADITIVO EN EL COMBUSTIBLE.

- a. Datos obtenidos de la primera prueba dinamométrica, utilizando mezcla de biodiésel B10, con un aditivo en el combustible y su análisis correspondiente.

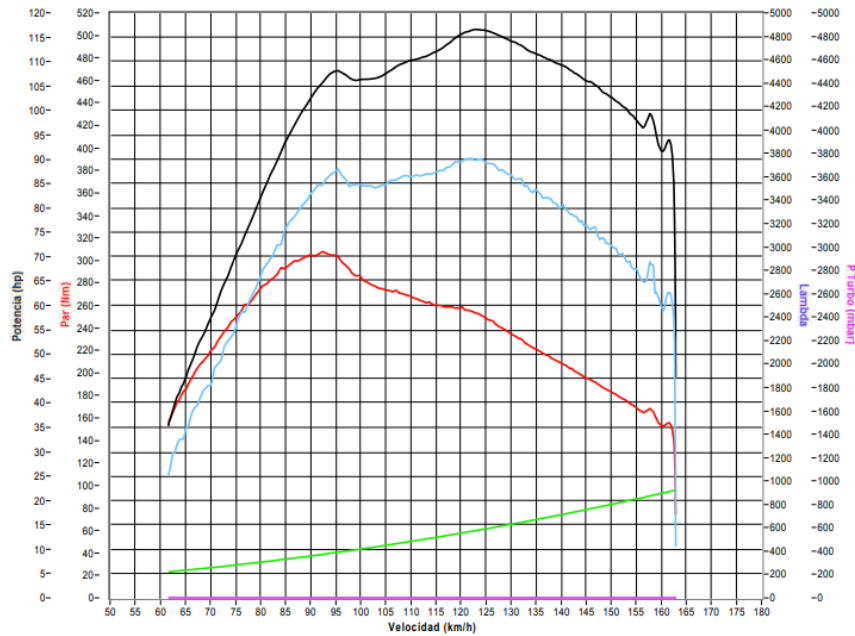


Figura 3.7 Curvas características del motor con biodiésel B10 y aditivo prueba 1

Los resultados de la primera prueba dinamométrica, utilizando biodiésel con mezcla B10, pero añadiendo un aditivo al combustible, mostraron los siguientes valores. En el caso de la potencia máxima obtenida a un régimen de 3277 rpm fue 116.6 hp, en cuestiones del par motor, se obtuvo resultados de un par máximo correspondiente a 308 Nm a un régimen de 2442 rpm.

Representando los datos que se obtuvieron en la tabla 3.9, sería de esta manera.

Tabla 3.9 Resultados prueba 1

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	116.6 hp	123 km/h	3277 rpm
Torque	308 Nm	92 km/h	2442 rpm

b. Datos obtenidos de la segunda prueba dinamométrica, utilizando mezcla de biodiésel B10, con un aditivo en el combustible y su análisis correspondiente.

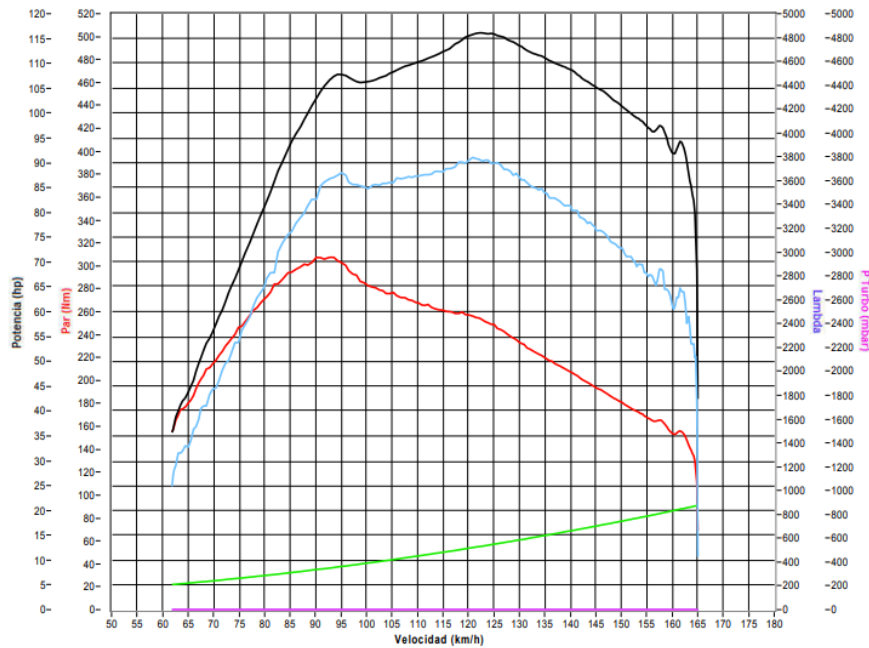


Figura 3.8 Curvas características del motor con biodiésel B10 y aditivo prueba 2

En la ejecución de la segunda prueba con mezcla B10 y aditivo para el combustible, se obtuvo un par máximo de 307 Nm a un régimen correspondiente de 2487 rpm; en el caso de determinar el valor de la potencia máxima, se encontró un valor de 116.1 hp cuando el motor giraba a una velocidad de 3250 rpm.

Estos valores, son expresados de una manera más conveniente, en la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Resultados prueba 2

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	116.1 hp	122 km/h	3250 rpm
Torque	307 Nm	93 km/h	2487 rpm

c. Datos obtenidos de la tercera prueba dinamométrica, utilizando mezcla de biodiésel B10, con un aditivo en el combustible y su análisis correspondiente.

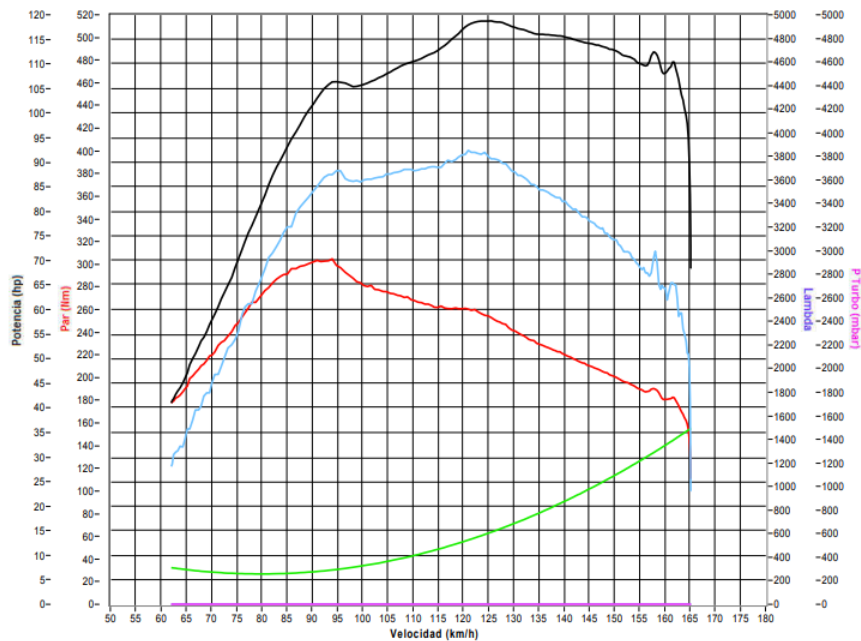


Figura 3.9 Curvas características del motor con biodiésel B10 y aditivo prueba 3

Según la tercera prueba con una mezcla B10 y un aditivo adicional para el combustible, se pudo identificar los siguientes valores. En cuestión de la potencia máxima obtenida de la curva característica se obtuvo un valor de 118.7 hp a un régimen de 3344 rpm, y un par máximo de 305 Nm a un régimen correspondiente de 1644 rpm.

A continuación, la tabla 3.11 muestra los valores que se analizaron a partir de las curvas obtenidas de esta tercera prueba.

Tabla 3.11 Resultados prueba 3

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	118.1 hp	126 km/h	3344 rpm
Torque	305 Nm	93 km/h	2486 rpm

3.3.1 MEDIA ARITMÉTICA DE LOS DATOS DE POTENCIA Y PAR UTILIZANDO MEZCLA DE BIOCOMBUSTIBLE B10 CON ADITIVO.

Para simplificar la manera de mostrar los datos obtenidos de la prueba dinamométrica utilizando la mezcla B10 con el adicional de un aditivo, se muestra la tabla 3.12 a

continuación, siendo obtenidos los resultados de las tres pruebas pertinentes para este objeto de análisis, se detalló un promedio en definitiva para conocer en qué difiere a la prueba anterior.

Tabla 3.12 Resultados obtenidos de las pruebas utilizando biodiésel de mezcla B10 con aditivo

	Potencia	Régimen	Velocidad	Par motor	Régimen	Velocidad
Promedio	116.9 hp	3290.3 rpm	123.6 km/h	306.6 Nm	2471.6 rpm	92.6 km/h

El uso de aditivo para esta prueba, representó un incremento mínimo con respecto a la prueba anterior realizada únicamente con la mezcla B10, en los valores de potencia el incremento es casi despreciable, no obstante, en torque se cuantificó un resultado menor.

3.4 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CON MEZCLA DE BIODIÉSEL B15.

- a. Datos obtenidos de la primera prueba dinamométrica, utilizando mezcla de biodiésel B15.**

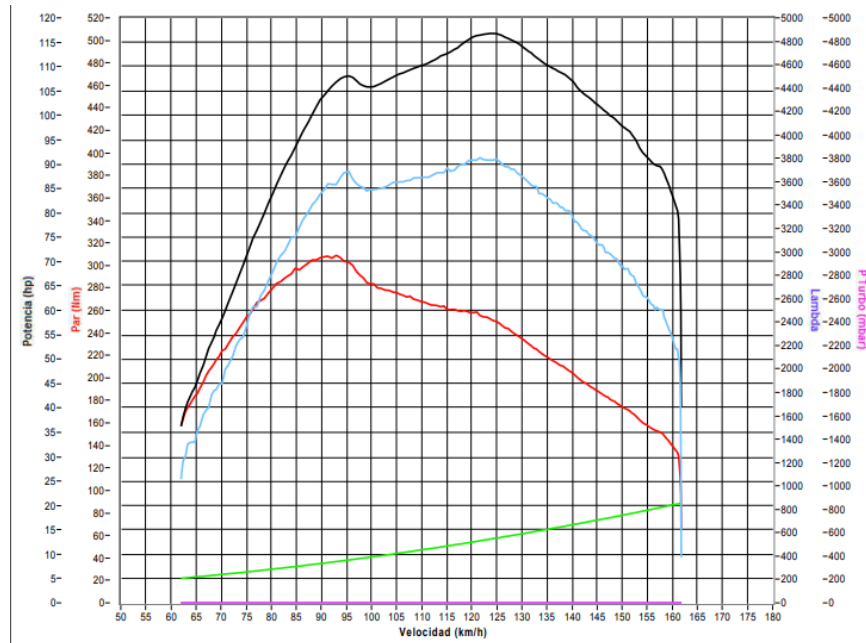


Figura 3.10 Curvas características del motor con biodiésel B15 prueba 1

En la primera prueba se agregó un 5% de biocombustible a la mezcla, la cual marcó los siguientes resultados obtenidos de las curvas de torque y potencia. Para el caso de la potencia, se determinó un valor máximo de 116.8 hp a un régimen correspondiente de 3315 rpm; por otra parte, se determinó un par máximo de 309 Nm a 2463 rpm.

La tabla 3.13, muestra los valores que se obtuvieron de las curvas de torque y potencia para su representación.

Tabla 3.13 Resultados prueba 1

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	116.8 hp	124 km/h	3315 rpm
Torque	309 Nm	92 km/h	2463 rpm

b. Datos obtenidos de la segunda prueba dinamométrica, utilizando mezcla de biodiésel B15.

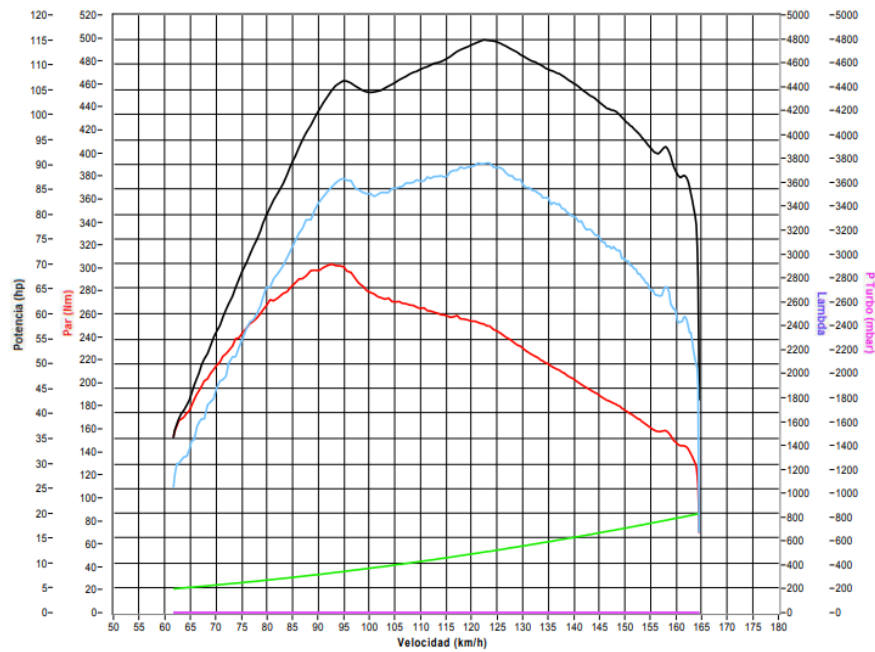


Figura 3.11 Curvas características del motor con biodiésel B15 prueba 2

Se desarrolló la segunda prueba en el dinamómetro con la mezcla B15, esta prueba arrojó los siguientes resultados, tanto para potencia y par motor máximo. Según la curva mostrada de potencia, se estimó un valor de potencia máxima de 115 hp a un régimen de 3260 rpm, a su vez, se determinó un resultado de par máximo de 303 Nm a 2462 rpm.

Para representar estos valores, se utiliza la tabla 3.14 correspondiente a la prueba dos con mezcla B15.

Tabla 3.14 Resultados prueba 2

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	115 hp	122 km/h	3260 rpm
Torque	303 Nm	92 km	2462 rpm

c. Datos obtenidos de la tercera prueba dinamométrica, utilizando mezcla de biodiésel B15.

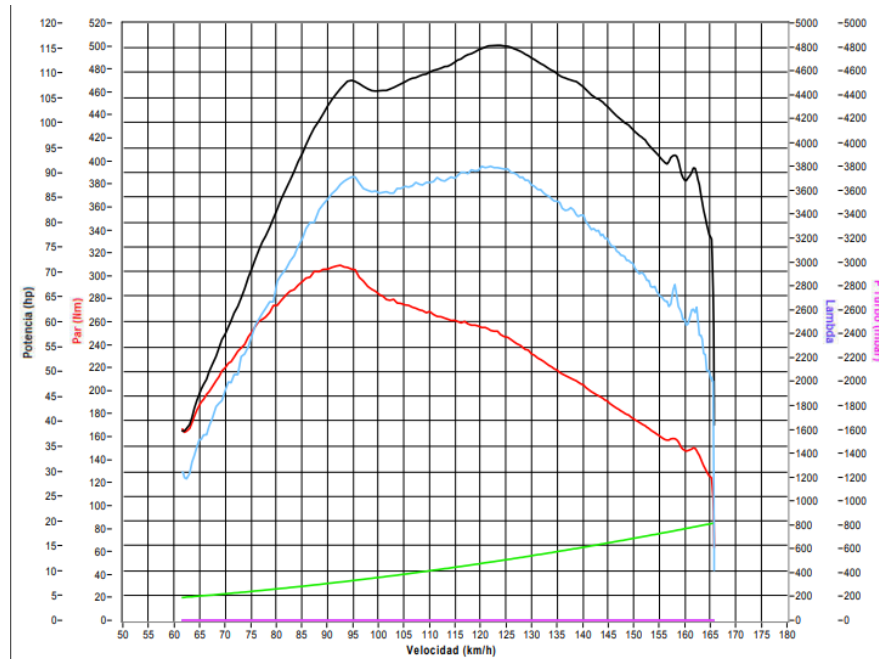


Figura 3.12 Curvas características del motor con biodiésel B15 prueba 3

En la figura mostrada se puede evidenciar las curvas de par motor y potencia, la curva de potencia crece hasta alcanzar un valor máximo de 115.5 hp con un régimen de 3268 rpm. En el caso de la curva de torque, se pudo evidenciar que su valor máximo corresponde a 309 Nm a un régimen de 2459 rpm.

A continuación, se muestra la tabla 3.15 que repasa los valores máximos obtenidos a partir de las curvas de torque y potencia de esta prueba.

Tabla 3.15 Resultados prueba 3

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	115.5 hp	123 km/h	3268 rpm
Torque	309 Nm	92 km/h	2459 rpm

3.4.1 MEDIA ARITMÉTICA DE LOS DATOS DE POTENCIA Y PAR UTILIZANDO MEZCLA DE BIOCOMBUSTIBLE B15.

Seguidamente, se realiza la tabla 3.16 que especifica los valores máximos tanto de par motor como de potencia, con la finalidad de establecer un promedio de esta prueba, utilizando una mezcla de biocombustible al 15%, todos estos valores fueron obtenidos gracias a las pruebas dinamométricas que se realizaron.

Tabla 3.16 Resultados obtenidos de las pruebas con mezcla de biodiésel B15

	Potencia	Régimen	Velocidad	Par motor	Régimen	Velocidad
Promedio	115.7 hp	3281 rpm	123 km/h	307 Nm	2461.3 rpm	92 km/h

El biodiésel tiene un poder calorífico menor al diésel tradicional, es por esta razón que se aumentó el porcentaje de biodiésel a un 15%, y en consecuencia a esa característica importante a considerar, que básicamente se traduce en obtener menor energía de la combustión del diésel, se obtuvo como resultado una disminución notoria en la potencia y el torque de acuerdo al promedio obtenido de las 3 pruebas utilizando esta mezcla.

3.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CON MEZCLA DE BIODIÉSEL B15 CON EL USO DE ADITIVO.

- a. Datos obtenidos de la primera prueba dinamométrica, utilizando mezcla de biodiésel B15 añadiendo el aditivo al combustible.**

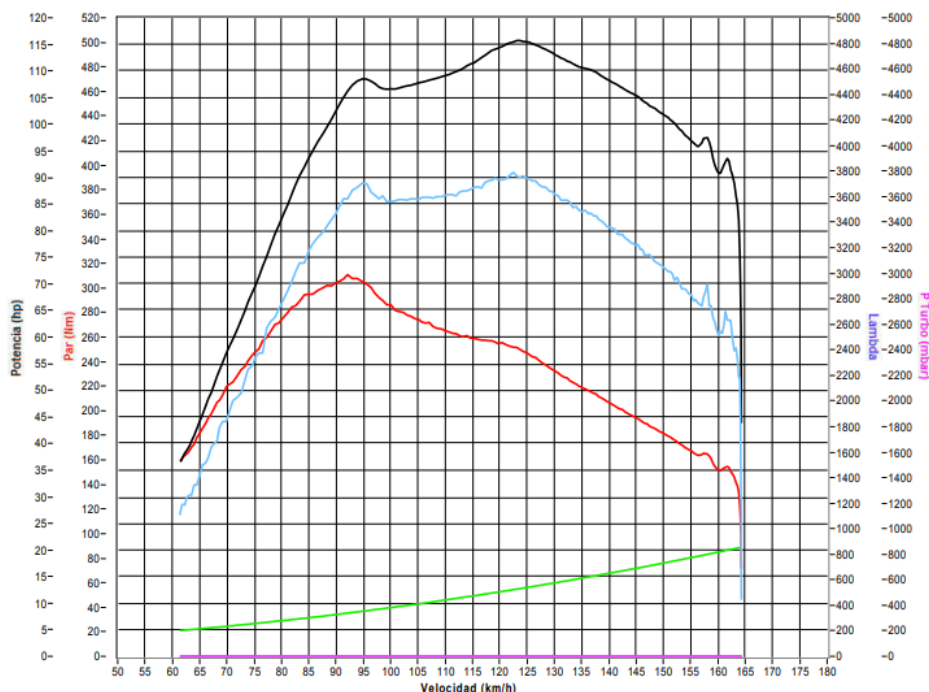


Figura 3.13 Curvas características del motor con biodiésel B15 con aditivo prueba 1

Para determinar los datos que se extrajeron de esta prueba, se añadió el aditivo correspondiente, lo cual muestra las gráficas de torque y potencia representadas en la figura 3.13. Se puede apreciar que la curva de potencia incrementa, hasta llegar a un valor máximo de 115.7 hp a 3296 rpm determinado por el dinamómetro. Por otra parte, la curva de par motor indica un valor máximo de 311 Nm a 2434 rpm.

En la tabla 3.17, se muestra los valores máximos obtenidos de manera más representativa.

Tabla 3.17 Resultados prueba 1

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	115.7 hp	124 km/h	3296 rpm
Torque	311 Nm	91 km/h	2434 rpm

b. Datos obtenidos de la segunda prueba dinamométrica, utilizando mezcla de biodiésel B15 añadiendo el aditivo al combustible.

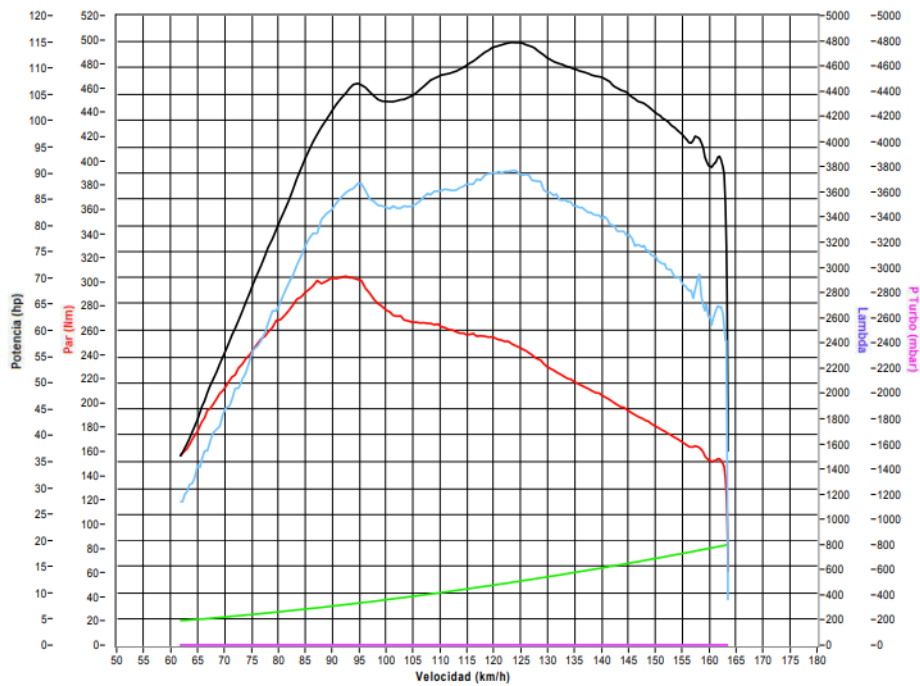


Figura 3.14 Curvas características del motor con biodiésel B15 con aditivo prueba 2

Se desarrolló la segunda prueba de esta mezcla b15 con aditivo, se puede evidenciar que esta prueba dejó las gráficas mostradas en a figura 3.14, la curva de potencia muestra un valor máximo de 114.9 hp a un régimen de 3285 rpm, en cambio, en el caso del torque, se reflejó un valor máximo de 305 Nm a 2458 rpm.

La tabla 3.18, muestra un resumen de los valores máximos obtenidos en esta prueba.

Tabla 3.18 Resultados prueba 2

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	114.9 hp	123 km/h	3285 rpm
Torque	305 Nm	92 km/h	2458 rpm

c. Datos obtenidos de la tercera prueba dinamométrica, utilizando mezcla de biodiésel B15 añadiendo el aditivo al combustible.

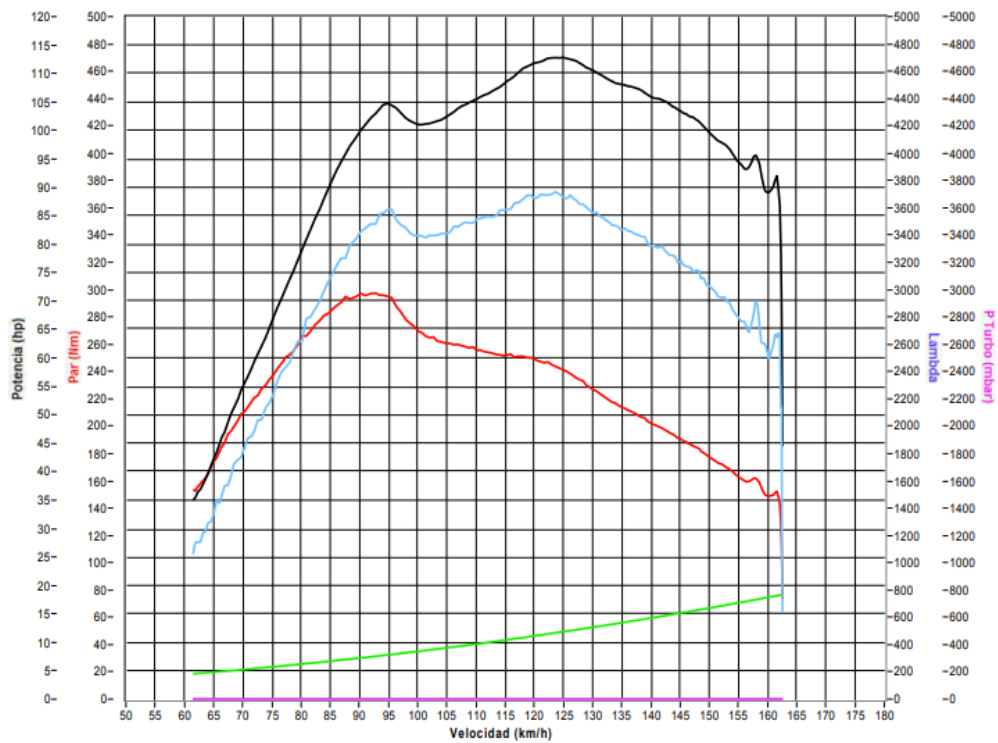


Figura 3.15 Curvas características del motor con biodiésel B15 con aditivo prueba 3

La figura 3.15, corresponde a las gráficas de torque y potencia tomadas de la prueba tres con la mezcla B15 y el aditivo, se obtuvo los valores máximos tanto de torque como de potencia. En el caso de la potencia se extrajo el valor de 112.8 hp a un régimen de 3332 rpm y para el torque se obtuvo un valor de 297 Nm a 2466 rpm.

En la tabla 3.19, se expresa estos valores máximos de torque y potencia para el caso de esta prueba.

Tabla 3.19 Resultados prueba 3

	Valor	Velocidad	Régimen
Potencia	112.8 hp	125 km/h	3332 rpm
Torque	297 Nm	93 km/h	2466 rpm

3.5.1 MEDIA ARITMÉTICA DE LOS DATOS DE POTENCIA Y PAR UTILIZANDO MEZCLA DE BIOCOMBUSTIBLE B15 CON ADITIVO.

La tabla 3.20, muestra los promedios obtenidos a partir de las tres pruebas que se realizaron, con este tipo de mezcla correspondiente a un biocombustible B15 conjuntamente añadido con el aditivo para su interpretación.

Tabla 3.20 Resultados de las pruebas utilizando mezcla de biodiésel B15 con el aditivo

	Potencia	Régimen	Velocidad	Par motor	Régimen	Velocidad
Promedio	114.4 hp	3304 rpm	124 km/h	304 Nm	2452.6 rpm	92 km/h

Se realizó un análisis integral, y se determinó el promedio para torque y potencia con la adición del aditivo a la mezcla B15, según la media obtenida, se registró una disminución considerable tanto en torque como potencia en relación a la prueba utilizando únicamente biodiesel al 15%.

3.6 TABLA GENERAL DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE DINAMÓMETRO.

Tabla 2.21 Comparativa general de los datos obtenidos en las pruebas dinanométricas con cada tipo de combustible

Combustible	Potencia	Régimen	Velocidad	Torque	Régimen	Velocidad
Diésel	117.5 hp	3285 rpm	123.3 km/h	307.3 Nm	2466.3 rpm	92.6 km/h
Mezcla B10	116.7 hp	3272.3 rpm	123 km/h	308.3 Nm	2434.6 rpm	91.6 km/h
Mezcla B10 con aditivo	116.9 hp	3290.3 rpm	123.6 km/h	306.6 Nm	2471.6 rpm	92.6 km/h
Mezcla B15	115.7 hp	3281 rpm	123 km/h	307 Nm	2461 rpm	92 km/h
Mezcla B15 con aditivo	114.4 hp	3304 rpm	124 km/h	304 Nm	2452.6 rpm	92 km/h

3.7 COMPARACIÓN DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE TORQUE Y POTENCIA EN FUNCIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE DIESEL TRADICIONAL EN COMPAÑÍA DE LAS MEZCLAS DE BIOCOMBUSTIBLES B10 Y B15.

Para evidenciar la diferencia en los valores obtenidos de las diversas pruebas, se realizó una comparación gráfica, en la cuales están involucradas cada uno de los promedios obtenidos en las pruebas en cuestión; a continuación, se presentan las curvas de potencia y par motor respectivas.

3.7.1 CURVA DE POTENCIA VS VELOCIDAD.

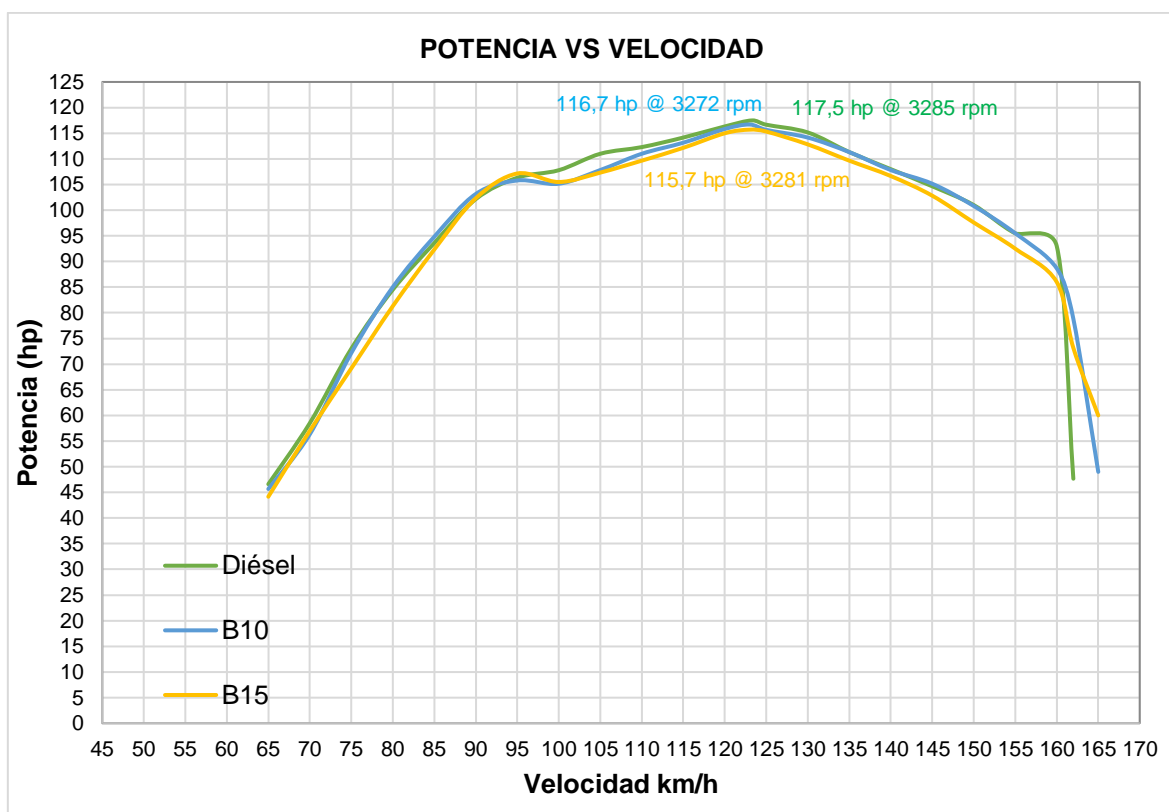


Figura 3.16 Curva de potencia vs velocidad entre diésel, biodiésel B10 y biodiésel B15

3.7.2 CURVA DE TORQUE VS VELOCIDAD.

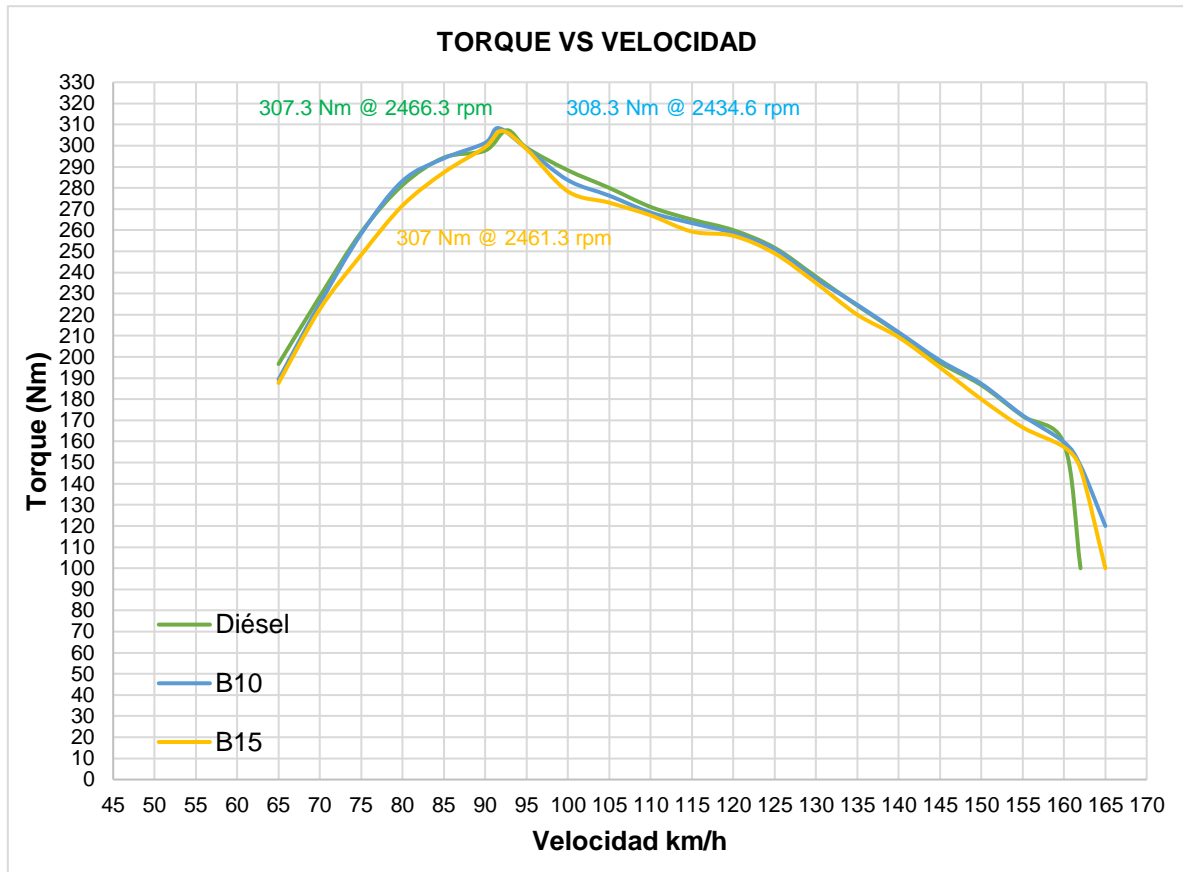


Figura 3.17 Curva de torque vs velocidad entre diésel, biodiésel B10 y biodiésel B15

3.8 COMPARACIÓN DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE TORQUE Y POTENCIA ENTRE LAS MEZCLAS DE BIOCOMBUSTIBLE ESTÁNDAR Y LAS MEZCLAS CON ADITIVO.

Con la finalidad de conocer si el rendimiento del motor podría mejor, se utilizó un aditivo, las curvas que se muestran a continuación resaltan la diferencia tanto en torque como en potencia con la adición del aditivo en las mezclas de biodiésel.

3.8.1 CURVA DE POTENCIA VS VELOCIDAD ENTRE BIODIÉSEL B10 Y B10 MÁS ADITIVO.

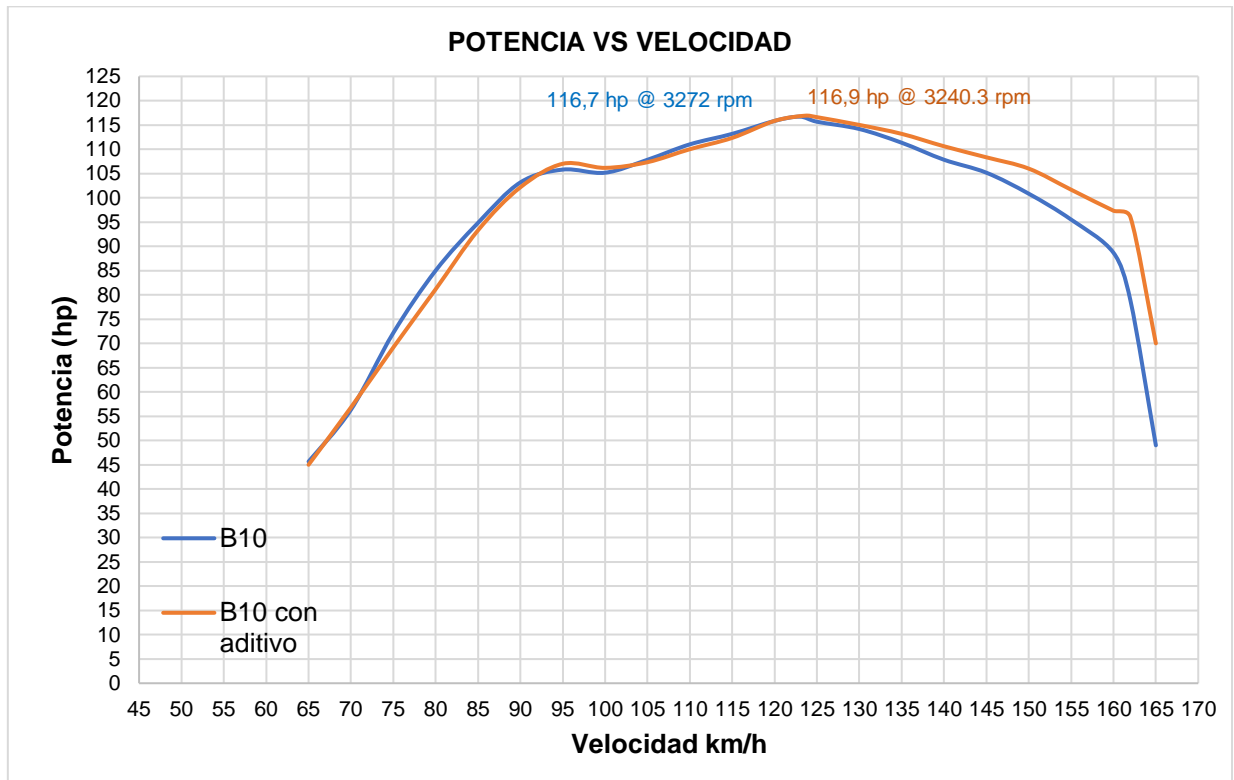


Figura 3.18 Curva de potencia vs velocidad comparando con biodiesel B10 y B10 con aditivo

3.8.2 CURVA DE TORQUE VS VELOCIDAD ENTRE BIODIÉSEL B10 Y B10 MÁS ADITIVO.

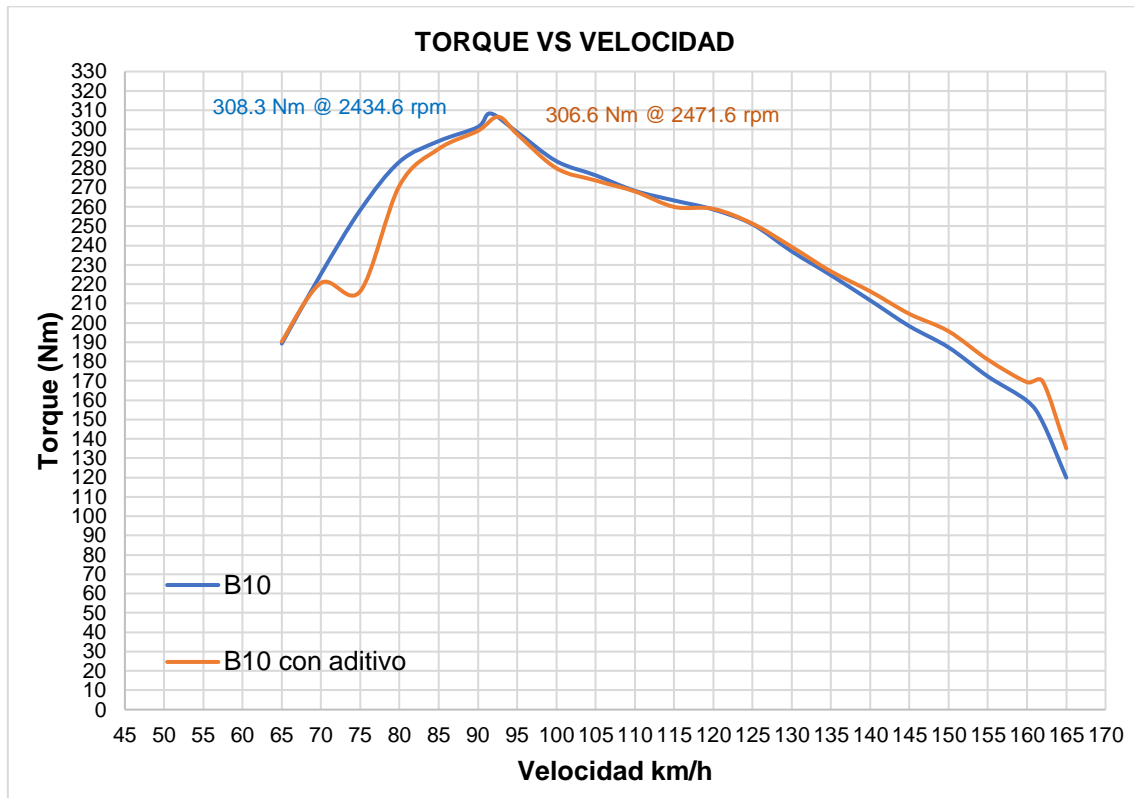


Figura 3.19 Curva de torque vs velocidad comparando con biodiesel B10 y B10 con aditivo

3.8.3 CURVA DE POTENCIA VS VELOCIDAD ENTRE BIODIÉSEL B15 Y B15 MÁS ADITIVO.

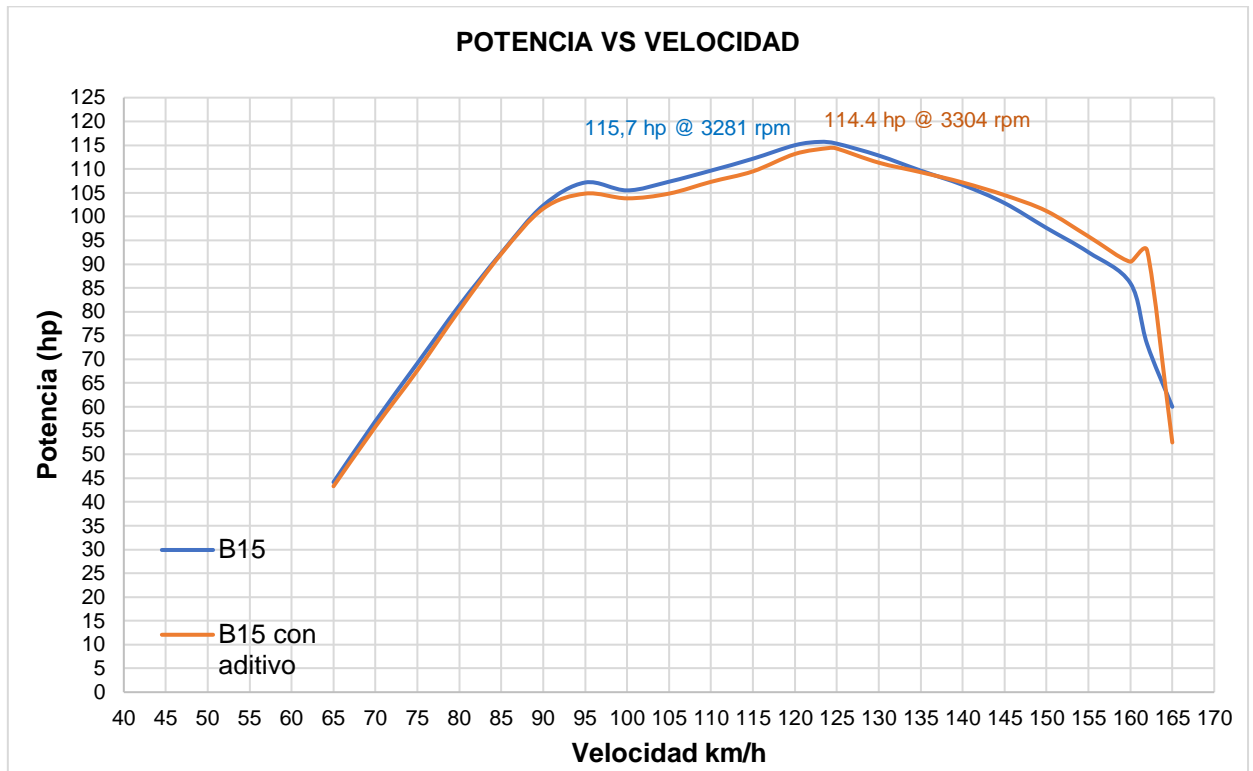


Figura 3.20 Curva de potencia vs velocidad comparando con biodiesel B15 y B15 con aditivo

3.8.4 CURVA DE TORQUE VS VELOCIDAD ENTRE BIODIÉSEL B15 Y B15 MÁS ADITIVO.

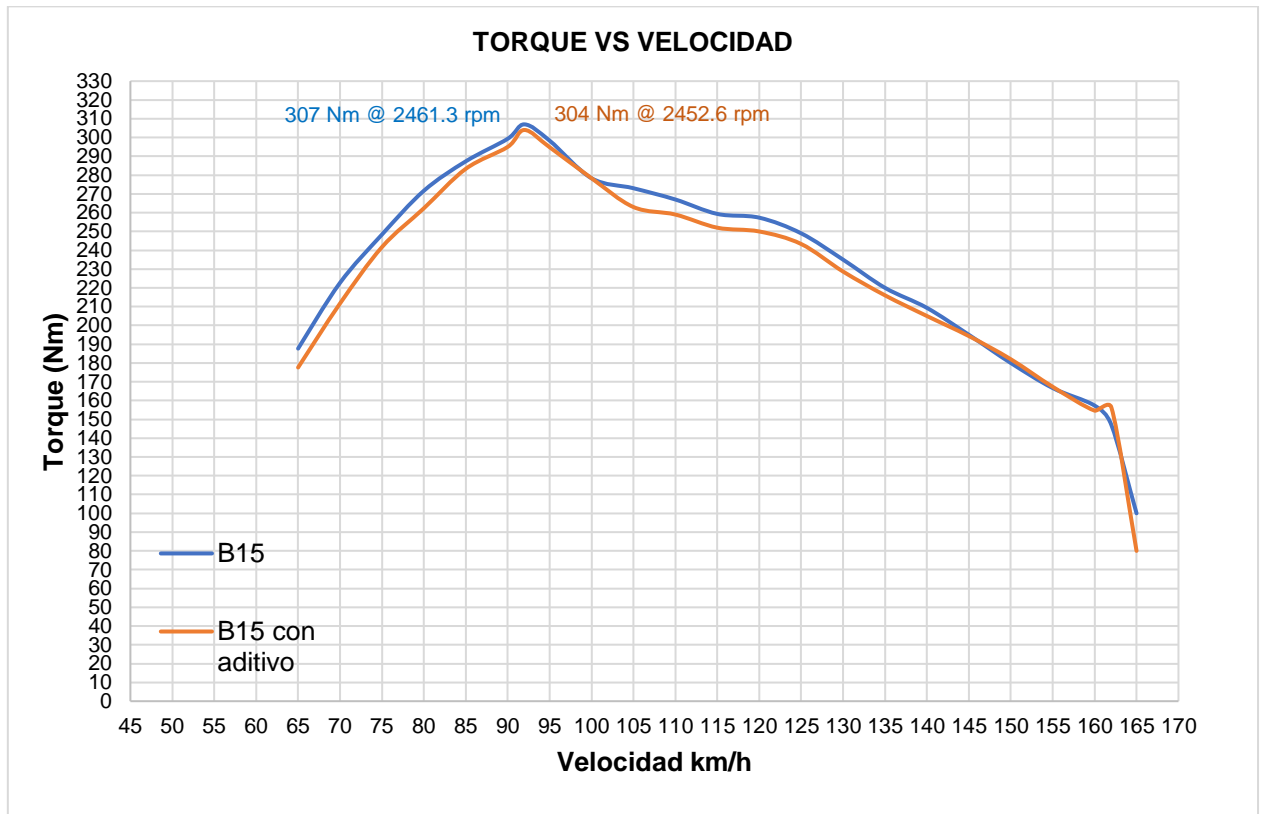


Figura 3.21 Curva de torque vs velocidad comparando con biodiésel B15 y B15 con aditivo

3.9 ANÁLISIS DE OPACIDAD.

Para definir esta sección de la investigación, se realizaron pruebas de opacidad para cada uno de los tipos de combustible estudiados, se realizaron dos pruebas por tipo, es decir, dos tomas de datos utilizando el diésel convencional como combustible, dos pruebas tanto para mezclas de biodiésel B10 y B15 y de igual manera con la añadidura del aditivo en el biocombustible.

La finalidad con la que se realizó este análisis de opacidad, fue verificar la premisa que dice que el biocombustible ayuda a reducir el índice de material particulado producto de la combustión, y con ello, bajaría el porcentaje de opacidad en los gases de escape.

3.9.1 ANÁLISIS DE OPACIDAD UTILIZANDO DIÉSEL CONVENCIONAL.

a. Datos obtenidos de la primera prueba de opacidad con diésel convencional.

Tabla 3.22 Resultados de opacidad prueba 1

Opacidad			
Nº aceleraciones	Pico opacidad (%)	Rpm ralentí	Rpm máximo
Aceleración 1	1.1	720	1840
Aceleración 2	1.4	720	2420
Aceleración 3	1.6	710	2790
Aceleración 4	0.9	720	2360
Aceleración 5	1.0	710	2290
Resultado del test		Aprobado	
Valor diferencia de la opacidad		0.7	
Valor promedio de la opacidad		1.2	

b. Datos obtenidos de la segunda prueba de opacidad con diésel tradicional.

Tabla 3.23 Resultados de opacidad prueba 2

Opacidad			
Nº aceleraciones	Pico opacidad (%)	Rpm ralentí	Rpm máximo
Aceleración 1	1.6	720	2380
Aceleración 2	1.2	720	2430
Aceleración 3	1.4	720	2440
Aceleración 4	2.1	720	2690
Aceleración 5	1.3	720	2280
Resultado del test		Aprobado	
Valor diferencia de la opacidad		0.9	
Valor promedio de la opacidad		1.5	

3.9.1.1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE OPACIDAD CON DIÉSEL CONVENCIONAL.

A continuación, la tabla 3.24 muestra los resultados obtenidos de las pruebas realizadas de opacidad, con la finalidad de obtener la media aritmética con el diésel tradicional como combustible.

Tabla 3.24 Resultados obtenidos de las pruebas de opacidad realizadas con diésel

	Diferencia de la opacidad	Promedio de la opacidad
Prueba 1	0.7	1.2
Prueba 2	0.9	1.5
Promedio	0.8	1.35

Este análisis de opacidad con diésel tradicional, determinó un promedio entre ambas pruebas de 1.35 % de opacidad, es un rango muy aceptable comparándolo con los límites permitidos por la legislación ecuatoriana.

3.9.2 ANÁLISIS DE OPACIDAD UTILIZANDO BIOCOMBUSTIBLE B10.

a. Datos obtenidos de la primera prueba de opacidad con mezclas B10.

Tabla 3.25 Resultados de opacidad prueba 1

Opacidad			
Nº aceleraciones	Pico opacidad (%)	Rpm ralentí	Rpm máximo
Aceleración 1	0.8	710	2190
Aceleración 2	1.0	720	2190
Aceleración 3	1.0	720	2350
Aceleración 4	1.0	720	2270
Aceleración 5	1.3	720	2630
Resultado del test		Aprobado	
Valor diferencia de la opacidad		0.5	
Valor promedio de la opacidad		1.0	

b. Datos obtenidos de la segunda prueba de opacidad con mezclas B10

Tabla 3.26 Resultados de opacidad prueba 2

Opacidad			
N° aceleraciones	Pico opacidad (%)	Rpm ralentí	Rpm máximo
Aceleración 1	0.7	710	2190
Aceleración 2	0.9	710	2310
Aceleración 3	1.2	720	2620
Aceleración 4	1.0	720	2470
Aceleración 5	0.8	720	2150
Resultado del test		Aprobado	
Valor diferencia de la opacidad		0.5	
Valor promedio de la opacidad		0.9	

3.9.2.1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE OPACIDAD CON BIOCOMBUSTIBLE B10

Tabla 3.27 Resultados obtenidos de las pruebas de opacidad realizadas con biodiésel B10

	Diferencia de la opacidad	Promedio de la opacidad
Prueba 1	0.5	1
Prueba 2	0.9	0.9
Promedio	0.7	0.95

El resultado que se obtuvo del análisis de opacidad, disminuyó del 1%, esto se debe gracias a la añadidura del 10% de biocombustible en el diésel, de esa manera se logró una reducción en la opacidad.

3.9.3 ANÁLISIS DE OPACIDAD UTILIZANDO BIOCOMBUSTIBLE B10 CON ADITIVO.

a. Datos obtenidos de la primera prueba de opacidad con mezclas B10 y aditivo.

Tabla 3.28 Resultados de opacidad prueba 1

Opacidad			
Nº aceleraciones	Pico opacidad (%)	Rpm ralentí	Rpm máximo
Aceleración 1	1.5	720	2510
Aceleración 2	0.8	720	1590
Aceleración 3	1.4	720	2430
Aceleración 4	1.4	710	2350
Aceleración 5	1.7	720	2270
Resultado del test		Aprobado	
Valor diferencia de la opacidad		0.9	
Valor promedio de la opacidad		1.4	

b. Datos obtenidos de la segunda prueba de opacidad con mezclas b10 y aditivo.

Tabla 3.29 Resultados de opacidad prueba 2

Opacidad			
Nº aceleraciones	Pico opacidad (%)	Rpm ralentí	Rpm máximo
Aceleración 1	1.0	720	2120
Aceleración 2	1.2	720	1750
Aceleración 3	1.3	720	2470
Aceleración 4	1.3	720	1670
Aceleración 5	1.8	720	2410
Resultado del test		Aprobado	
Valor diferencia de la opacidad		0.8	
Valor promedio de la opacidad		1.3	

3.9.3.1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE OPACIDAD CON BIOCOMBUSTIBLE B10 Y ADITIVO.

Tabla 3.30 Resultados obtenidos de las pruebas de opacidad realizadas con biodiésel B10 con aditivo

	Diferencia de la opacidad	Promedio de la opacidad
Prueba 1	0.9	1.4
Prueba 2	0.8	1.3
Promedio	0.85	1.35

Después de obtener los promedios, se determinó que existe un incremento en la opacidad cuando se añade el aditivo al biocombustible.

3.9.4 ANÁLISIS DE OPACIDAD UTILIZANDO BIOCOMBUSTIBLE B15.

a. Datos de la primera prueba de opacidad con mezclas B15.

Tabla 3.31 Resultados de opacidad prueba 1

Opacidad			
Nº aceleraciones	Pico opacidad (%)	Rpm ralentí	Rpm máximo
Aceleración 1	1.2	720	2590
Aceleración 2	0.9	720	2280
Aceleración 3	1.2	710	2400
Aceleración 4	0.9	700	2370
Aceleración 5	0.6	720	1640
Resultado del test		Aprobado	
Valor diferencia de la opacidad		0.6	
Valor promedio de la opacidad		1.0	

b. Datos de la segunda prueba de opacidad con mezclas B15.

Tabla 3.32 Resultados de opacidad prueba 2

Opacidad			
Nº aceleraciones	Pico opacidad (%)	Rpm ralentí	Rpm máximo
Aceleración 1	0.7	720	2030

Aceleración 2	0.9	720	2050
Aceleración 3	1.3	720	2470
Aceleración 4	1.1	710	2340
Aceleración 5	1.0	730	2100
Resultado del test		Aprobado	
Valor diferencia de la opacidad		0.6	
Valor promedio de la opacidad		1.0	

3.9.4.1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE OPACIDAD CON BIOCOMBUSTIBLE B15.

Tabla 3.33 Resultados obtenidos de las pruebas de opacidad con biocombustible B15

	Diferencia de la opacidad	Promedio de la opacidad
Prueba 1	0.6	1
Prueba 2	0.6	1
Promedio	0.6	1

Se realizó la prueba con una mezcla de biodiésel B10 para determinar la opacidad, tenemos un valor de 1%, de igual manera como en el caso anterior, siempre que se añada biocombustible el valor de opacidad desciende con respecto al diésel convencional.

3.9.5 ANÁLISIS DE OPACIDAD UTILIZANDO BIOCOMBUSTIBLE B15 CON ADITIVO.

a. Datos de la primera prueba de opacidad con mezclas B15 y aditivo.

Tabla 3.34 Resultados de opacidad prueba 1

Opacidad			
Nº aceleraciones	Pico opacidad (%)	Rpm ralentí	Rpm máximo
Aceleración 1	1.1	710	1980
Aceleración 2	1.0	720	1770
Aceleración 3	1.2	720	2000

Aceleración 4	1.6	730	2290
Aceleración 5	1.5	710	2310
Resultado del test		Aprobado	
Valor diferencia de la opacidad		0.6	
Valor promedio de la opacidad		1.3	

b. Datos de la segunda prueba de opacidad con mezclas B15 y aditivo.

Tabla 3.35 Resultados de opacidad prueba 2

Opacidad			
Nº aceleraciones	Pico opacidad (%)	Rpm ralentí	Rpm máximo
Aceleración 1	1.1	710	2290
Aceleración 2	1.6	720	2410
Aceleración 3	1.2	720	2160
Aceleración 4	1.1	720	1690
Aceleración 5	1.3	720	2010
Resultado del test		Aprobado	
Valor diferencia de la opacidad		0.5	
Valor promedio de la opacidad		1.3	

3.9.5.1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE OPACIDAD CON BIOCOMBUSTIBLES B15 Y ADITIVO.

Tabla 3.36 Resultados obtenidos de las pruebas de opacidad realizadas con biodiésel B15 con aditivo

	Diferencia de la opacidad	Promedio de la opacidad
Prueba 1	0.6	1.3
Prueba 2	0.5	1.3
Promedio	0.55	1.3

Como en el caso de la mezcla B10 con aditivo, se determinó que al añadir el aditivo a la mezcla B15, existe un evidente incremento en la opacidad, eso se determinó gracias a la extracción de los promedios de esta prueba.

3.9.6 COMPARATIVA GENERAL DE OPACIDAD ENTRE TODOS LOS TIPOS DE COMBUSTIBLES UTILIZADOS.

La figura 3.22, muestra un balance general de los resultados obtenidos en todas las pruebas con la utilización de cada tipo de combustible en cuestión, se desarrolló el gráfico, tomando en cuenta los valores promedios de cada dato resultante obtenido de cada análisis por separado de los tipos de combustible empleados.

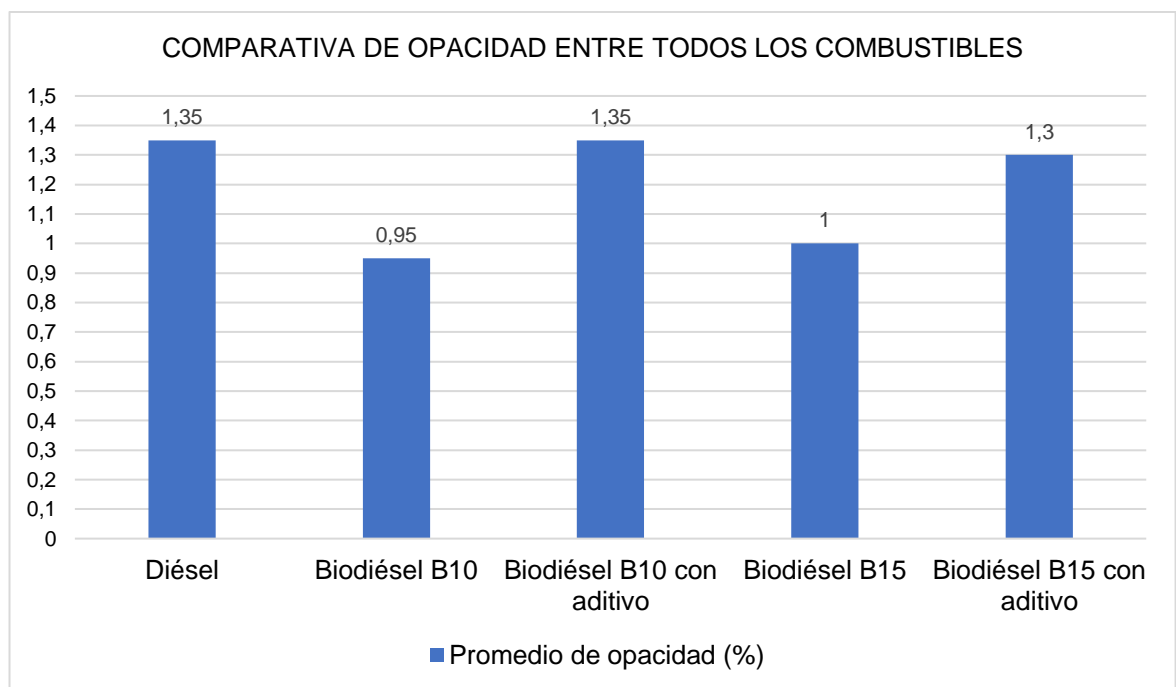


Figura 3.22 Comparativa general de los resultados de opacidad con todos los combustibles

De la figura 3.22, se determinó una evidente reducción en la opacidad al aplicar biodiésel en la mezcla, aunque, con la adición del aditivo catalizador de combustible, se determinó que el índice de opacidad es congruente a hacer la prueba únicamente con diésel tradicional.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES.

- Con la adición de biodiésel con mezclas B10 se comprobó que existe una reducción de un 0.68% en la potencia que desarrolla el vehículo con respecto al uso de diésel convencional. Por otra parte, con la utilización de biocombustible de mezcla B15 se demostró que existe una disminución en la potencia correspondiente al 1.53% comparado con el uso de diésel convencional únicamente.
- Se evidenció que, al utilizar una mayor concentración de biodiésel en la mezcla con el combustible, se obtuvo una disminución mayor en potencia.
- La adición de la mezcla de biodiesel B10, significó un aumento en el torque comparándolo con el empleo de diésel tradicional únicamente. Se demostró que, para el caso de mezcla las B10 existe un incremento del 0.32% en el torque. No obstante, en el caso de mezclas B15, se obtuvo una reducción del torque en un 0.22% con respecto al diésel. Se debe considerar que los valores más altos de torque en las pruebas con biodiésel, se obtuvieron a un régimen menor.
- La mezcla B10 con aditivo mejoró en un 0.17% el valor de potencia comparándolo únicamente con biodiésel B10. Por otra parte, el aditivo empleado en la mezcla B15 únicamente disminuyó en un 1.12% el valor establecido de potencia sin añadir el aditivo en esta mezcla.
- En el caso del torque con las mezclas B10 y B15 con la adición del aditivo, ambas combinaciones mostraron valores menores con respecto a los establecidos anteriormente. Se demostró una reducción en el torque de 0.55% y 0.97% respectivamente.
- Se llegó a determinar que el uso de biocombustibles ayuda a mitigar las emisiones de gases. La prueba de opacidad demostró que las dos mezclas de biocombustible redujeron entre un 25.9 y 29.6% el índice de opacidad en relación a la prueba de opacidad con diésel tradicional.
- Se demostró que, al añadir el aditivo en las mezclas de biocombustible, el índice de opacidad en ambas mezclas alcanza un valor congruente con el establecido únicamente con diésel tradicional. En conclusión, no existe una reducción de la opacidad al añadir el aditivo catalizador a las mezclas de biodiésel.

4.2 RECOMENDACIONES

- Para la investigación, se recomienda realizar la prueba dinamométrica en diferentes locaciones para variar la altitud, debido a que, la variación de oxígeno representa un aspecto importante, directamente relacionado a la combustión y en consecuencia a eso, a la liberación de energía obtenida de la combustión.
- Se recomienda el uso de biodiésel obtenido de otro tipo de base vegetal, con el fin de establecer diferencias con respecto al biocombustible obtenido del aceite de palma.
- Para futuras investigaciones, se recomienda emplear un vehículo con características distintas al que se utilizó para el desarrollo de esta investigación, con la finalidad de encontrar diferencias o similitudes en las variables estudiadas.
- Se recomienda realizar un mayor número de pruebas para cada tipo de combustible, ya que mientras mayor sea la muestra, los datos obtenidos se aproximan a condiciones reales y se disminuye el margen de error.
- Según la investigación de (Rashedul et al., 2014), se recomienda el uso de aditivos de tipo oxigenado más no de base férrica, con el fin de mejorar la combustión y por ende obtener resultados en torque, potencia y opacidad favorables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acebes, S. S. (2017a). *Características de los motores*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=cVwpDwAAQBAJ>
2. Acebes, S. S. (2017b). *Motores. Novedad 2017*. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=_vrIDgAAQBAJ
3. Álvarez, J., Callejón, I., Forns, S., Balsells, D., & Casanova, J. (2005). *Motores alternativos de combustión interna* (Universida). Barcelona.
4. Ashok, B., Nanthagopal, K., Arumuga Perumal, D., Babu, J. M., Tiwari, A., & Sharma, A. (2019). An investigation on CRDi engine characteristic using renewable orange-peel oil. *Energy Conversion and Management, 180*, 1026–1038. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2018.11.047>
5. Bacha, J., Freel, J., Gibbs, A., Gibbs, L., Hemighaus, G., Hoekman, K., ... Mills, J. (2007). Diesel Fuels Technical Review. *Chevron Global Marketing*, 1–116. <https://doi.org/10.1063/1.3575169>
6. Baltazar, A. (2017). *DISEÑO DE UN DINAMOMETRO DE RODILLOS PARA DETERMINAR POTENCIA Y TORQUE DE VEHICULOS LIVIANOS* (Universidad Mayor de San Andrés). Retrieved from <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/12119>
7. Benavides, A., Benjumea, P., & Pashova, V. (2007). Castor oil biodiesel as an alternative fuel for diesel engines. *Dyna, 74*(153), 141–150.
8. Bosch. (n.d.). *Sistemas de Inyección Diesel Bosch*. Zexel.
9. Bosch. (2015). *Así Funcionan los Filtros de Combustible Bosch*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=TJNxJ9pGF2k>
10. Bosch, R. (2002). *Regulación electrónica diesel (EDC)*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=G-Y4CQkWvvsC>
11. Bosch, R. (2005). *Sistemas de inyección diesel por acumulador Common Rail*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=3Jl1hs3QiMC>
12. Brain Bee Workshop Solutions. (n.d.). Mahale. Retrieved from <https://www.brainbee.mahle.com/es/>
13. Calleja, D. (2015). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=19ASCgAAQBAJ>
14. Calleja, D. (2018). *Motores*. (2da Edicio). Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=HxJMDwAAQBAJ>

15. Ceac, E., & Gil, H. (2007). *Manual Ceac del automóvil*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=I5IAgD9IRRIC>
16. Cengel, Y., & Boles, M. (2011). *Termodinámica*. McGraw Hill, 7, 1041.
17. Chávez, A. A. (2019). *MEDICIÓN DE GASES DE ESCAPE EN MOTORES MEC CON BIODIÉSEL A BASE DE PIÑÓN*. Universidad Técnica del Norte.
18. Curcas, J., Huerga, I., Carrizo, A., Brizuela, G., & Querini, C. (2010). *Producción de Biodiesel con Aceite de Jatropha Curcas*. 1–7.
19. Domínguez, E. J., & Ferrer, J. (2019). *Mecánica del Vehículo FPB*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=gFakDwAAQBAJ>
20. Escudero, S., & Rivas, J. L. (2011). *Motores* (1st ed.). MACMILLAN.
21. Etienne, F., & Man, A. (2014). Fundamentals of Automotive and Engine Technology. *Fundamentals of Automotive and Engine Technology*, 8–17. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-03972-1>
22. Fernández, I. P., & Hidalgo, M. A. (2007). *Fundamentos de Manquinas Termicas*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=bR2zUUBMzMsC>
23. Ferox. (2008). *Ferox Fuel Tabs*. 1(801).
24. Ferrer, J., & Checa, G. (2010). *Mantenimiento mecánico preventivo del vehículo*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=SwnFAwAAQBAJ>
25. Ford Motor Company. (2010). *Manual de propietario Ford*. Ford Motor Company.
26. Griffiths, J. F., & Barnard, J. A. (1995). *Flame and Combustion, 3rd Edition*. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=mP11_kZ2RHkC
27. Howell, J., & Buckius, R. (1990). *Principios de Termodinámica para Ingenieros* (Vol. 112). <https://doi.org/10.1192/bjp.112.483.211-a>
28. I, A. C. R., Arencibia, R., Ii, J., & Blanco, A. (2008). *Producción científica mundial sobre biodiesel*. 1–19.
29. INEN. (2005). *Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites Permitidos De Emisiones Producidas Por Fuentes Móviles Terrestres De Diesel*. 2002, 2–7.
30. Kates, E. J., & Luck, W. E. (1982). *Motores diesel y de gas de alta compresión*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=UjtKi-fjkrYC>
31. Lakshminarayanan, P. A., Shi, Y., Reitz, R. D., & Aghav, Y. V. (2010).

- Modelling Diesel Combustion*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=Dlfo4prQfigC>
32. Matínez, A. (2011). Motores de Combustión Interna. In *International Security* (Sant Celon, Vol. 13).
 33. Montes, J. R., Julián Rodríguez Montes, J. C. S. R. M. J. R. M. M. M. C. C., Rodríguez, J. C. S., Maqueda, M. J. R., & Castro, M. M. C. (2005). *Teoría de máquinas. Fundamentos y aplicaciones: fundamentos y aplicaciones*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=isUgZHfbZywC>
 34. Morelos Gómez, J. (2016). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. *Estudios Gerenciales*, 32(139), 120–126. <https://doi.org/10.1016/J.ESTGER.2016.01.001>
 35. Ortmann, R. (2005). *Técnica de los gases de escape para motores de gasolina*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=zYyWO0IXQOAC>
 36. Pardal, A. C. D. V. (2012). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis. *IPBeja Repositorio Científico*, 1–323.
 37. Pardiñas, J., & Feijó, R. (2018). *Sistemas auxiliares del motor*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=4hhfDwAAQBAJ>
 38. Parera, A. M. (1996). *Inyección Electrónica en Motores Diesel*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=gn8cyPMWDSUC>
 39. Payri, F., & Desantes, J. M. (2015). Motores de combustión interna alternativos. In R. Editorial (Ed.), *Editorial Reverté*.
 40. Pérez, M. Á. (2017). *Sistemas auxiliares del motor 2.^a edición* (2nd ed.). Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=KtXLDgAAQBAJ>
 41. Pfeiffer, A., & Pfeiffer, D. A. (2006). *Comemos combustibles fósiles. 05*.
 42. Rashedul, H. K., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Ashraful, A. M., Ashrafur Rahman, S. M., & Shahir, S. A. (2014). The effect of additives on properties, performance and emission of biodiesel fuelled compression ignition engine. *Energy Conversion and Management*, 88, 348–364. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.08.034>
 43. Rodríguez, J. A. (1990). *Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería*.
 44. Sánchez, E. (2009). *Sistemas auxiliares del motor*. Retrieved from <http://sistemasdecombustiblecbtis160.blogspot.com/>

45. Sánchez, I., & Huertas, K. (2012). *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE SEMILLAS DE Ricinus communis. (HIGUERILLA) MODIFICADAS GÉNÉTICAMENTE Y CULTIVADAS EN EL EJE CAFETERO.*
46. Sánchez, M. (2012). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos.* Málaga: IC Editorial.
47. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida Ecuador. *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades 2017, 2017*, 1–148.
<https://doi.org/10.1109/CDC.2014.7039974>
48. Trujillo, R. F. (2010). *Hidrocarburos, manejo seguro.*
49. Valencia, G. (2008). Trazabilidad en las Mediciones de Opacidad. *Simposio de Metrología 2008*, 6. Retrieved from
http://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/m1/sm2008-m113-1072.pdf
50. Vamag. (2013). *Instructions Manual.*
51. Velji, A., Lüft, M., & Merkel, S. (2009). Mixture formation, combustion and pollutant emissions in high-speed direct-injection diesel engines. *Advanced Direct Injection Combustion Engine Technologies and Development: Diesel Engines*, (x), 105–154. <https://doi.org/10.1533/9781845697457>
52. Wolfgang Schuch, F. E. (2005). *Manual de la técnica del automóvil* (p. 1233). p. 1233.

ANEXOS

ANEXO I

PRUEBAS REALIZADAS EN EL DINAMÓMETRO



Figura AI.1 Ubicación del vehículo en el dinamómetro

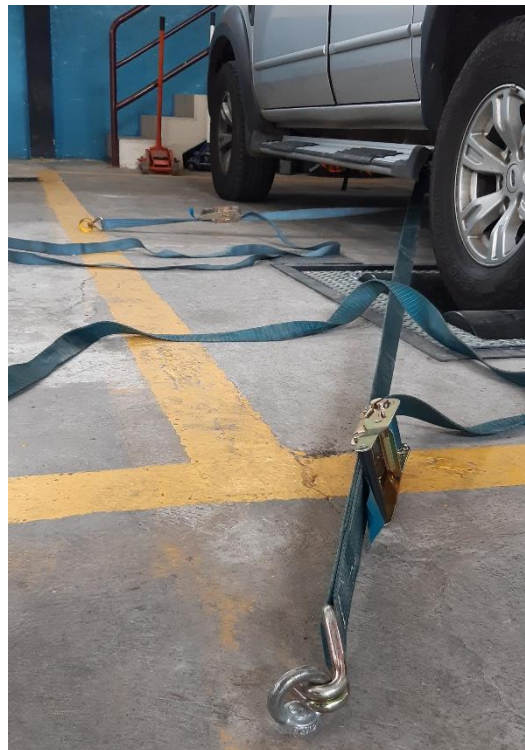


Figura AI.2 Anclaje del vehículo al suelo

ANEXO II
PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS DE LOS COMBUSTIBLES



Figura AII.1 Preparación de las mezclas de biocombustible



Figura AII.2 Adición del aditivo al biodiésel

ANEXO III
TRABAJOS EN EL VEHÍCULO 'PREVIOS AL DESARROLLO DE LAS
PRUEBAS



Figura AIII.1 Sustitución del filtro de combustible del vehículo

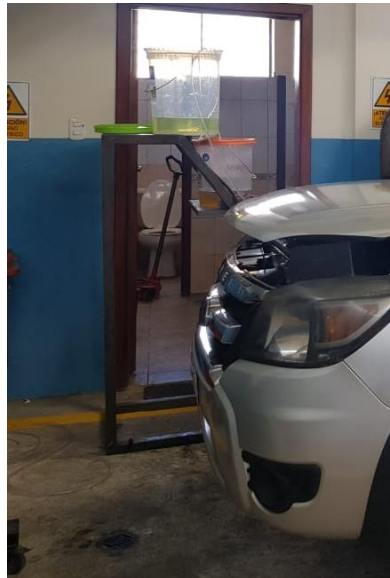


Figura AIII.2 Adaptación de un depósito de combustible externo

ANEXO IV
REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE OPACIDAD



Figura AIV.1 Realización de las pruebas de opacidad

ANEXO V

RESULTADOS DE PRUEBAS CON DIÉSEL CONVENCIONAL

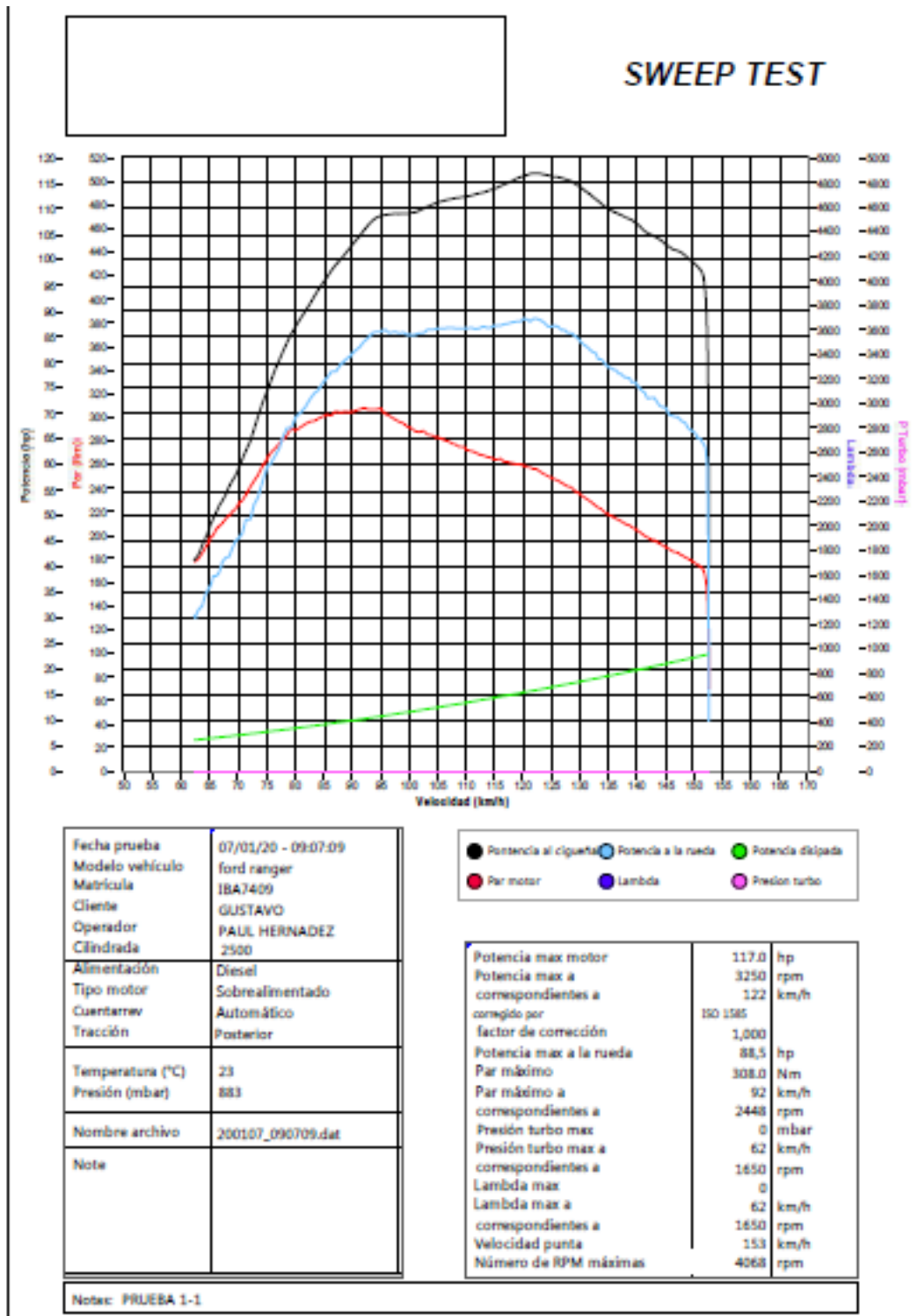


Figura AV.1 Prueba 1

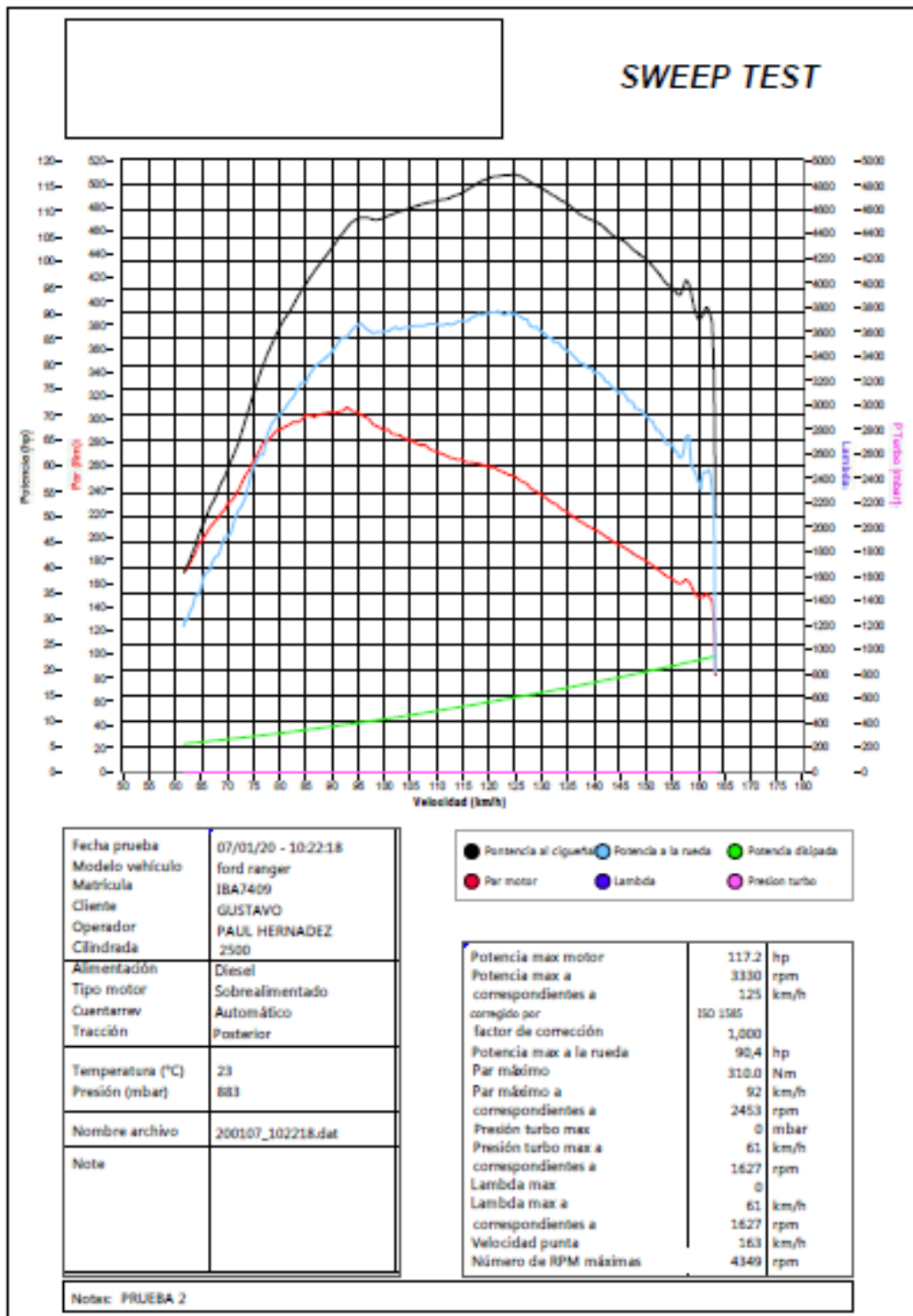


Figura AV.2 Prueba 2

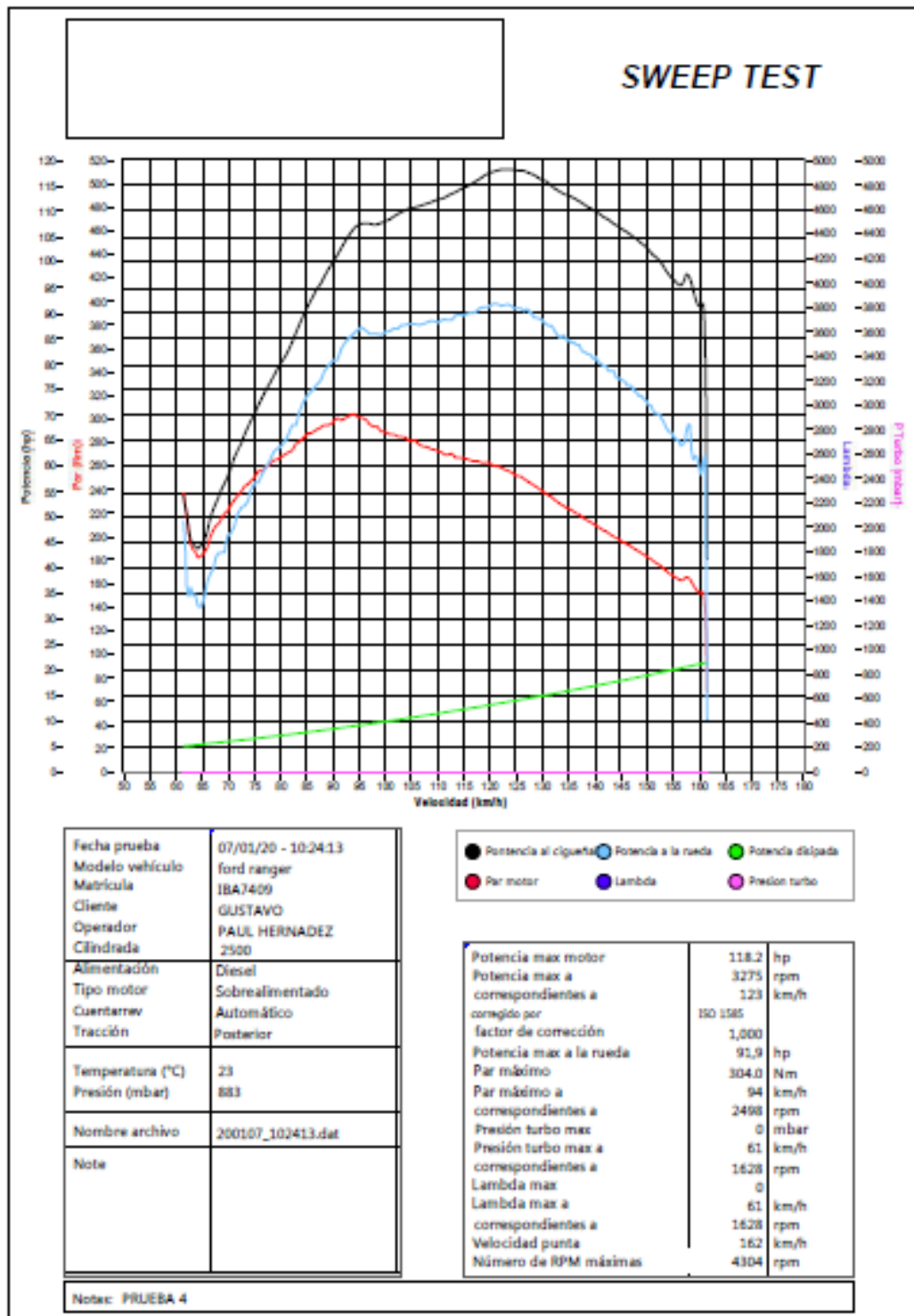


Figura AV.3 Prueba 3

ANEXO VI RESULTADOS DE PRUEBAS CON BIODIÉSEL B10

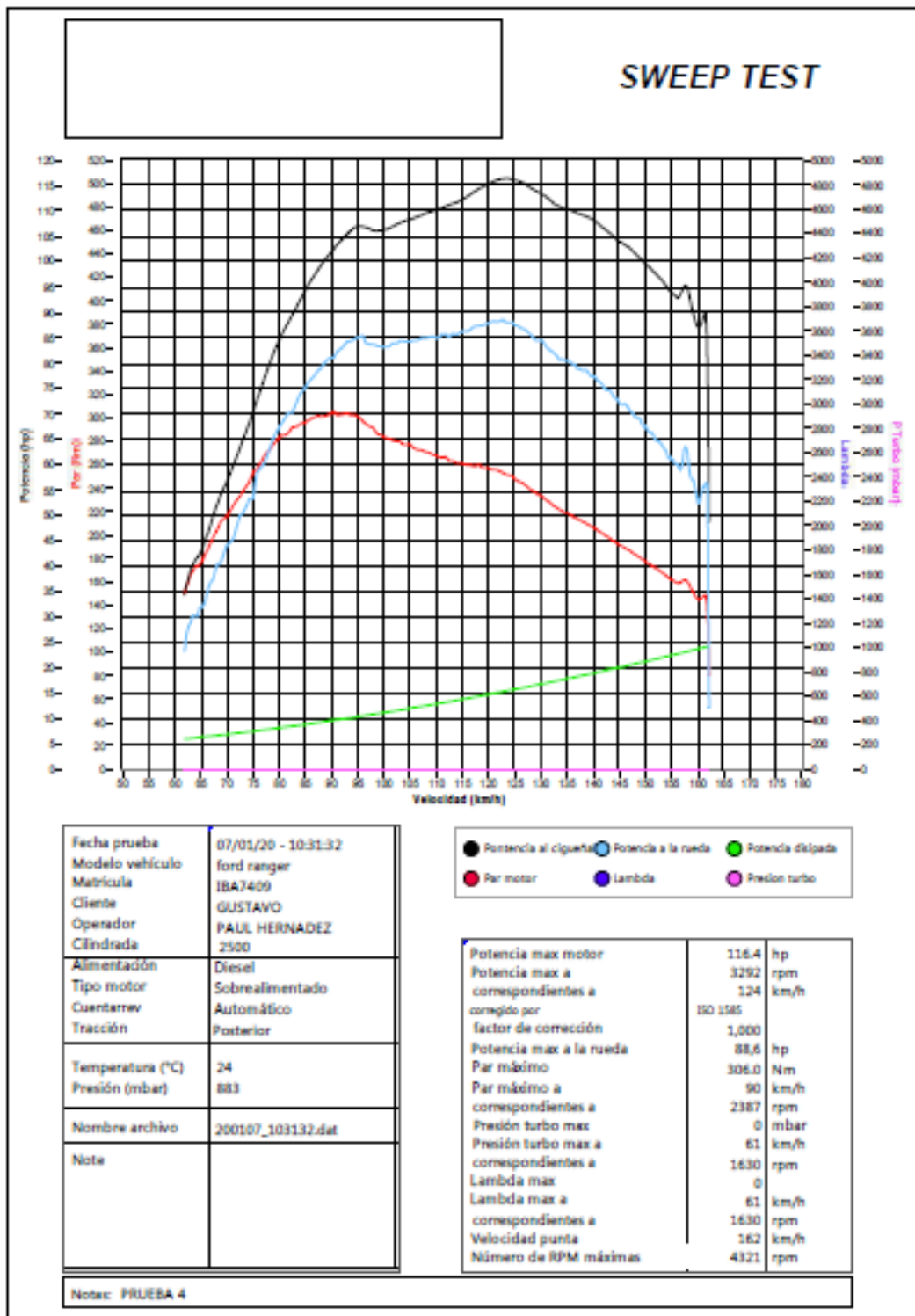


Figura AVI.1 Prueba 1

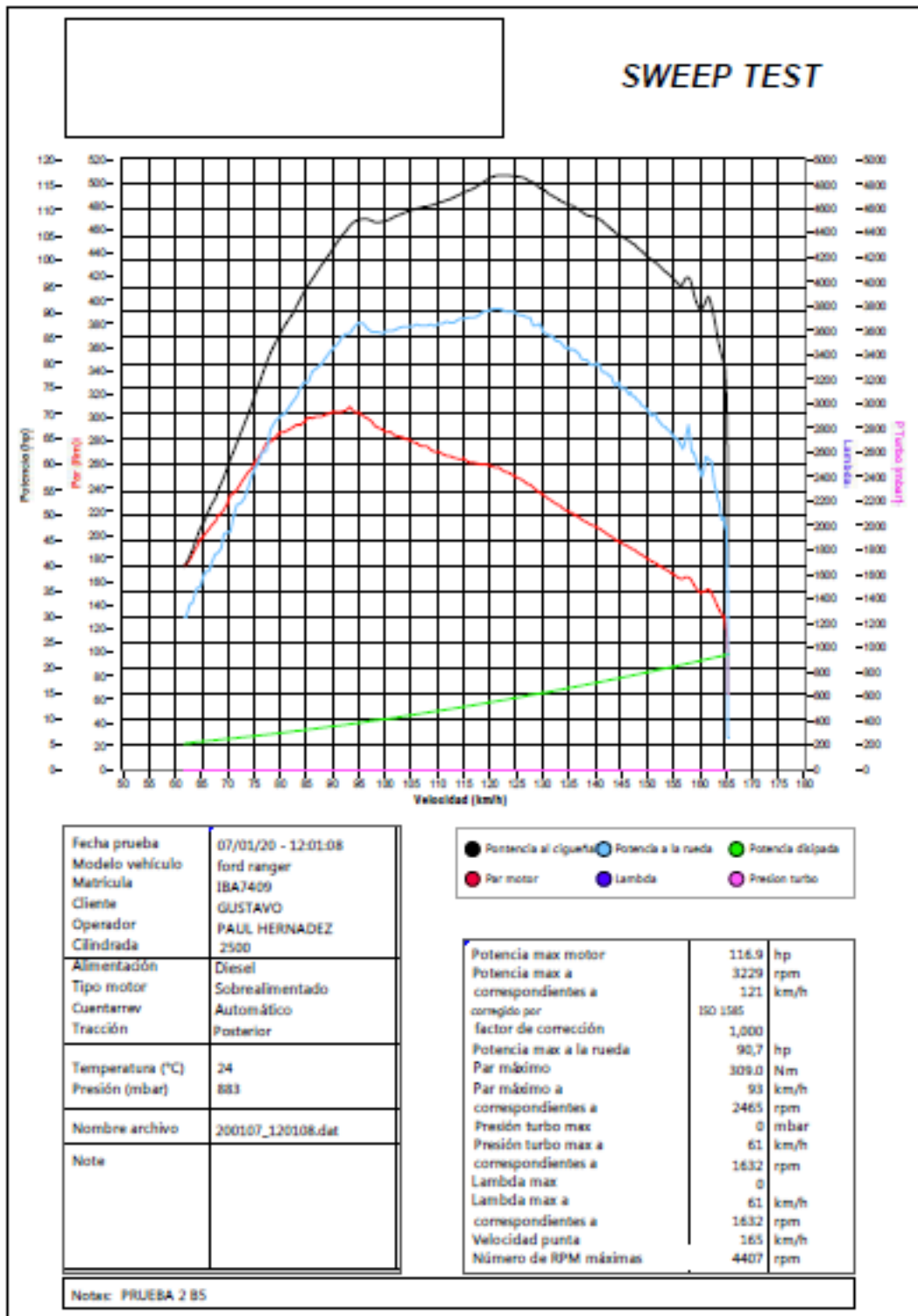


Figura AVI.2 Prueba 2

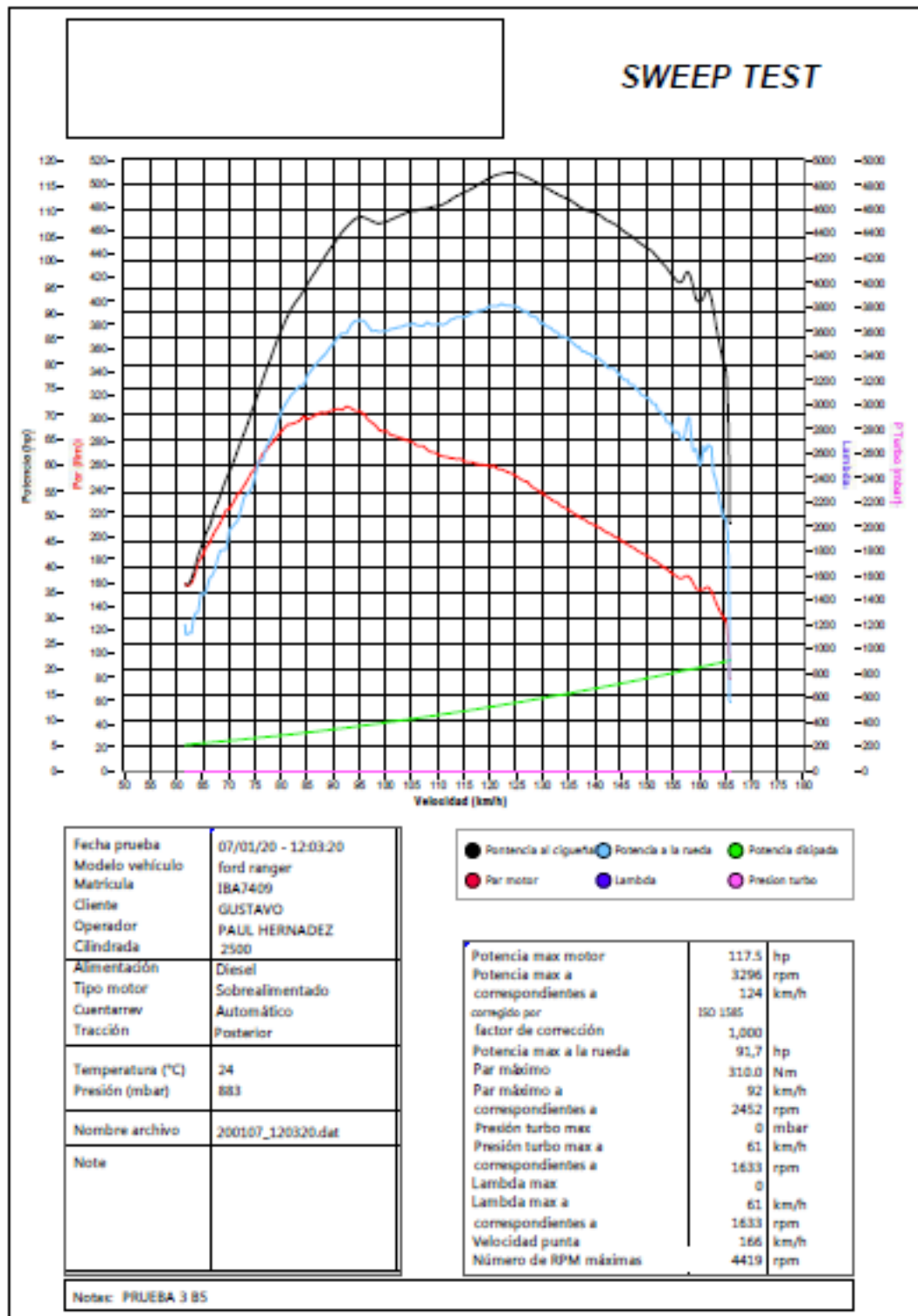


Figura AVI.3 Prueba 3

ANEXO VII

RESULTADOS DE PRUEBAS CON BIODIÉSEL B10 MÁS ADITIVO

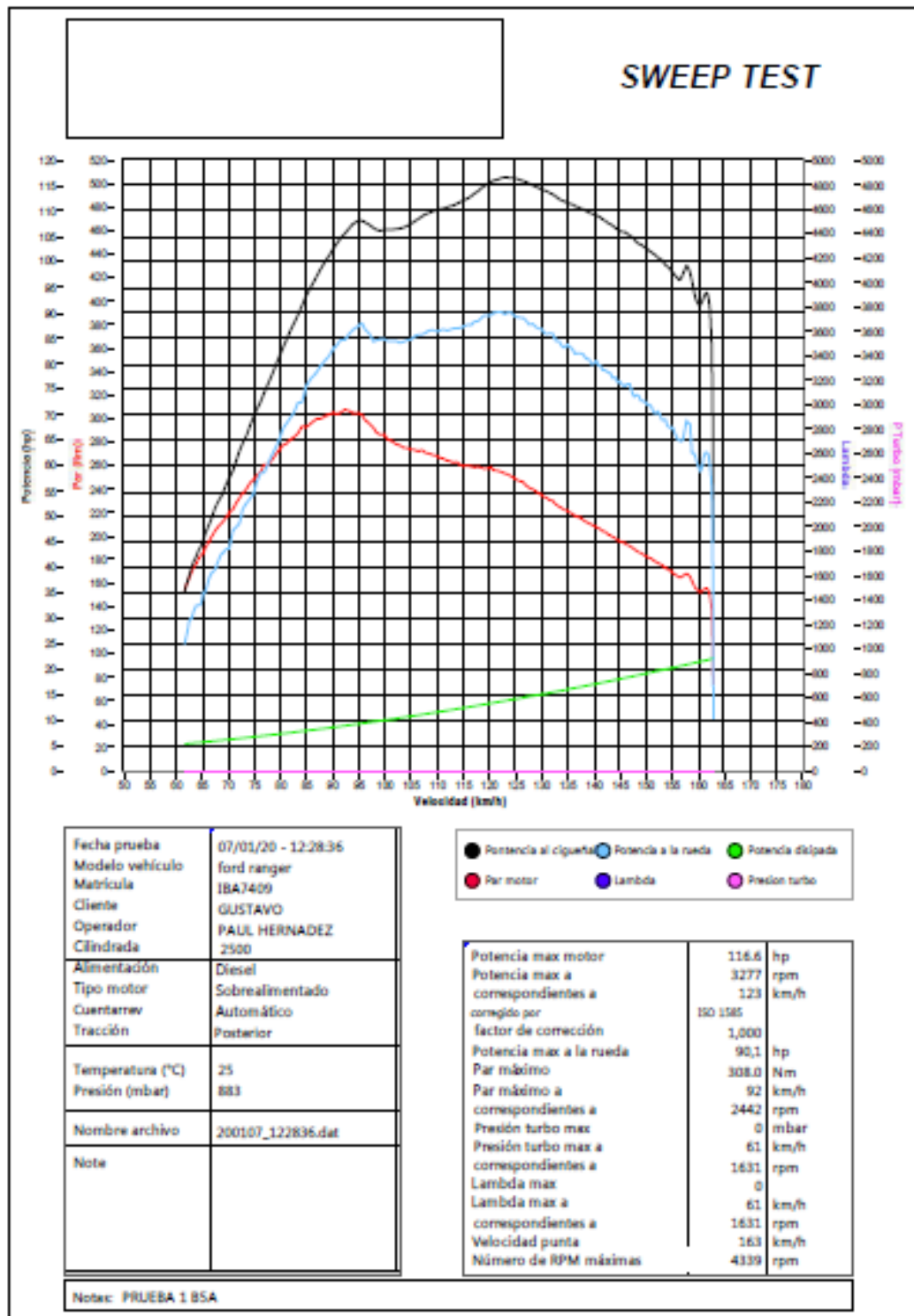


Figura AVII.1 Prueba 1

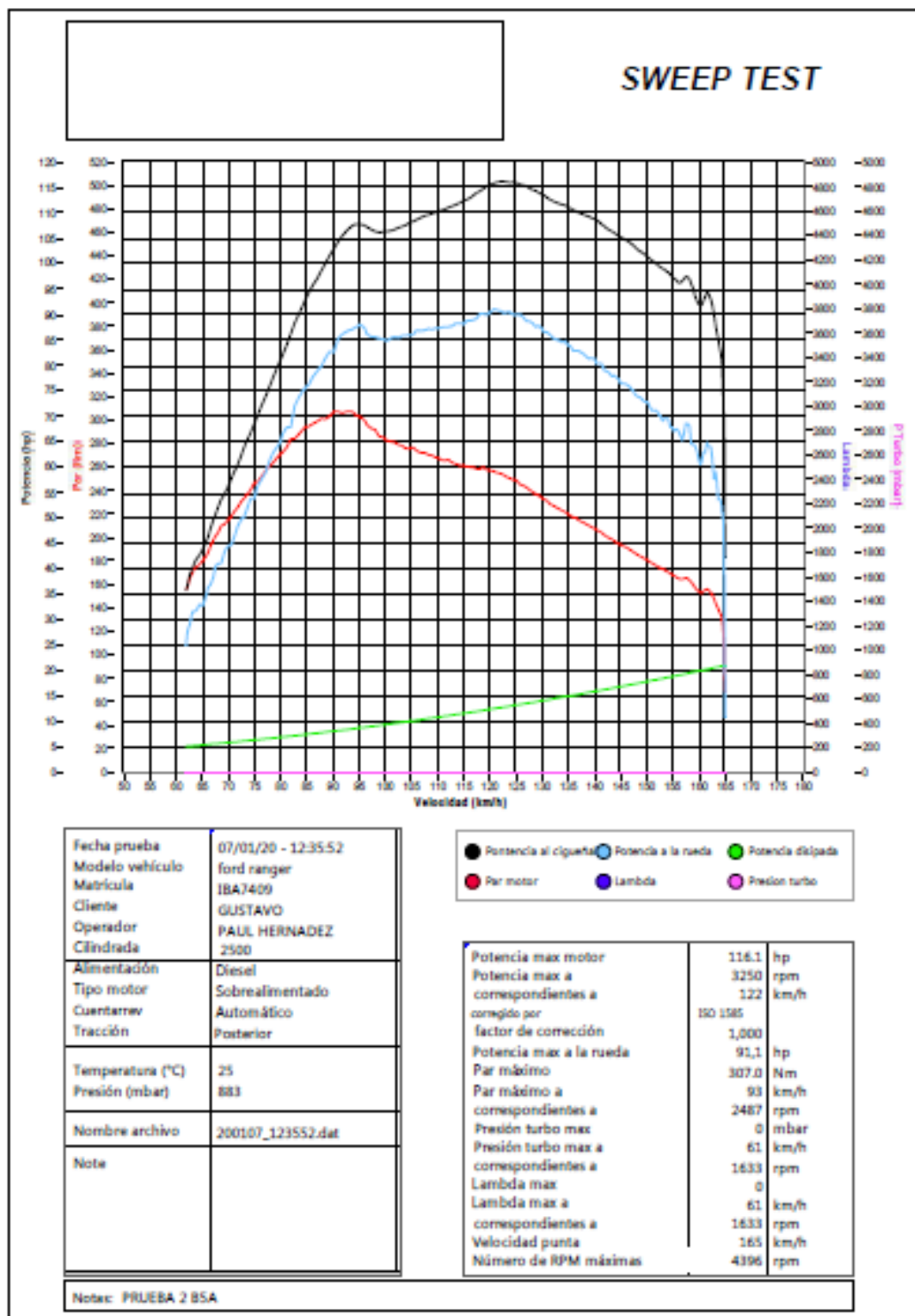


Figura AVII.2 Prueba 2

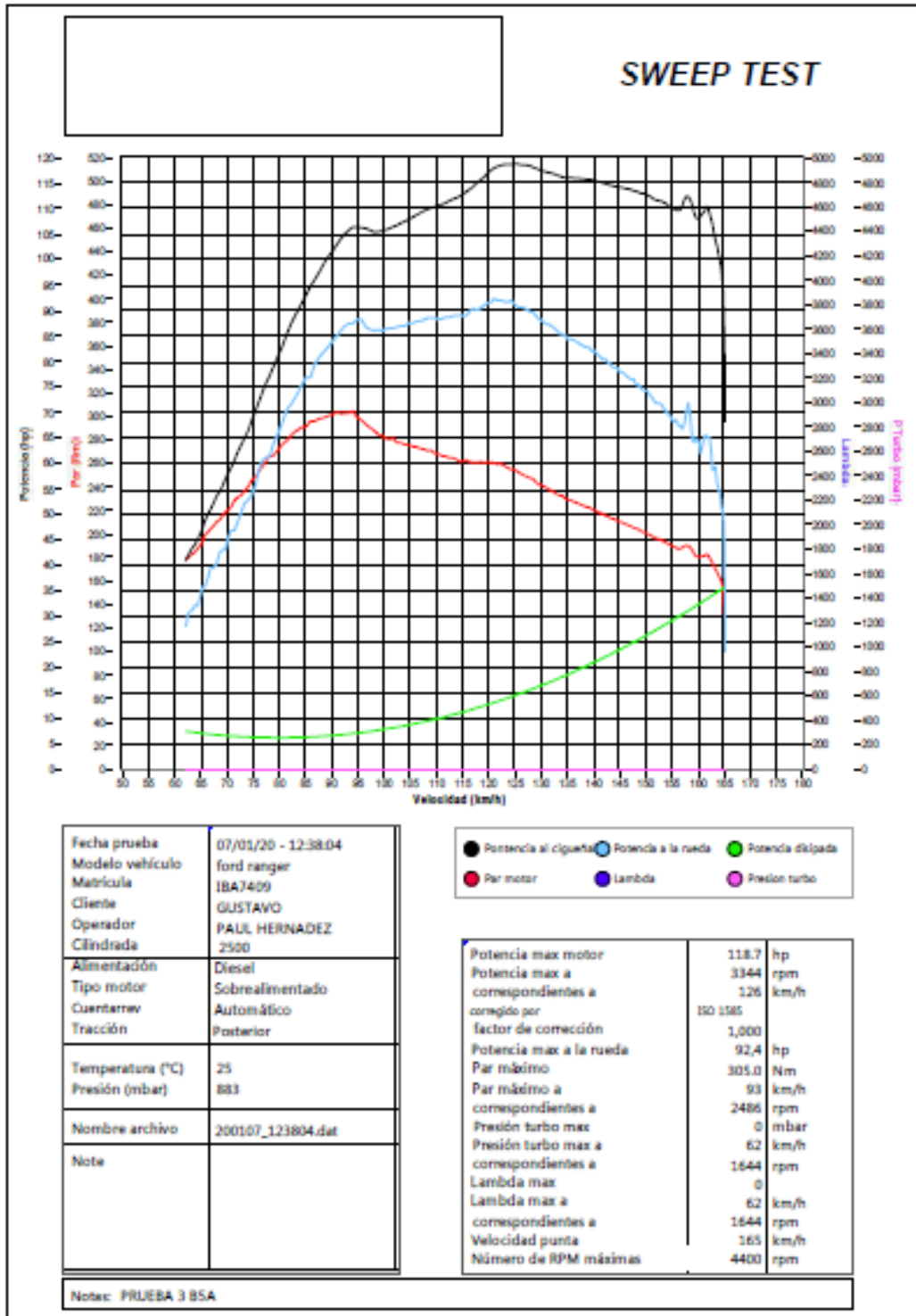


Figura AVII.3 Prueba 3

ANEXO VIII RESULTADOS DE PRUEBAS CON BIODIÉSEL B15

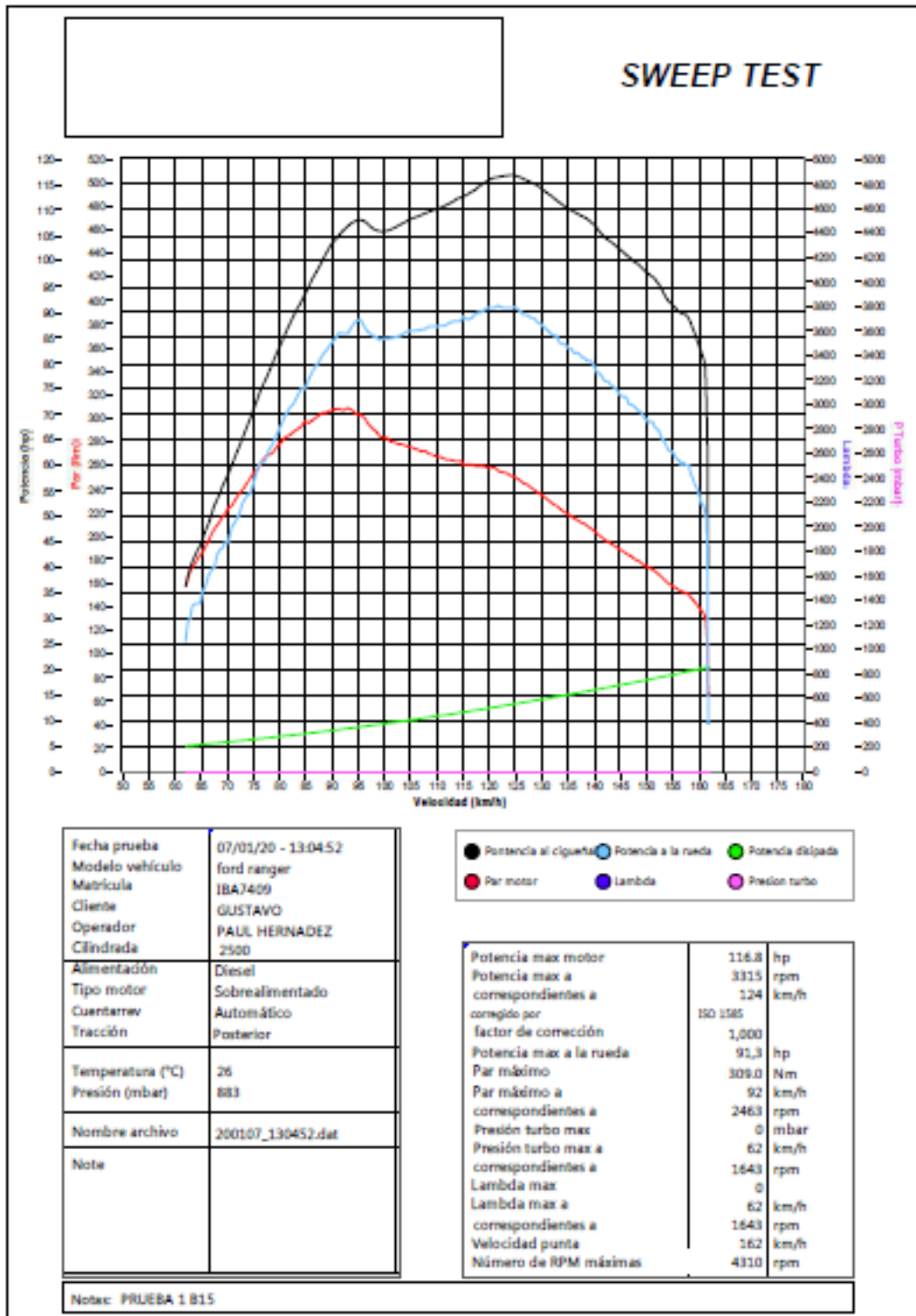


Figura AVIII.1 Prueba 1

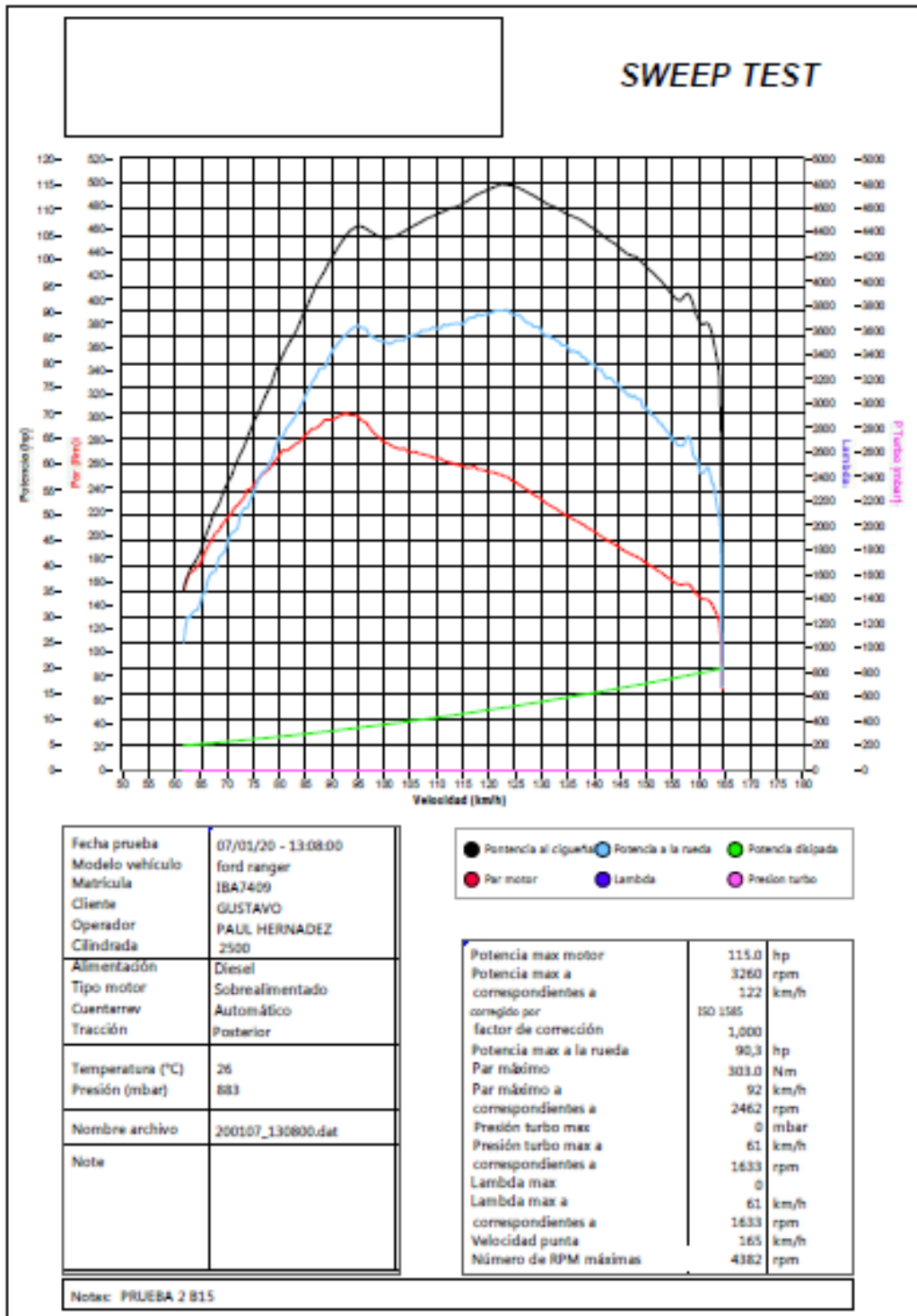


Figura AVIII.2 Prueba 2

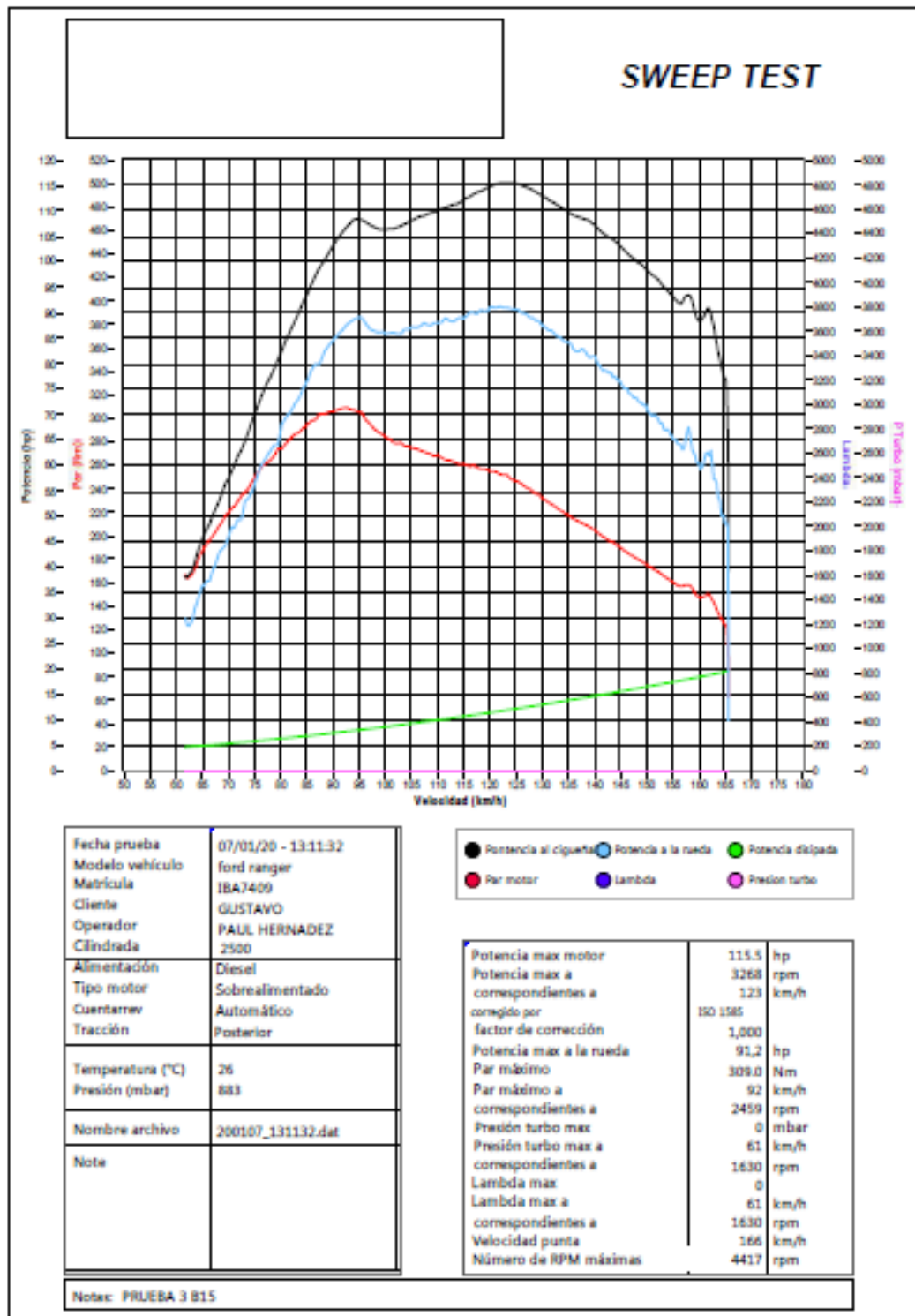


Figura AVIII.3 Prueba 3

ANEXO IX RESULTADOS DE PRUEBAS CON BIODIÉSEL B15 MÁS ADITIVO

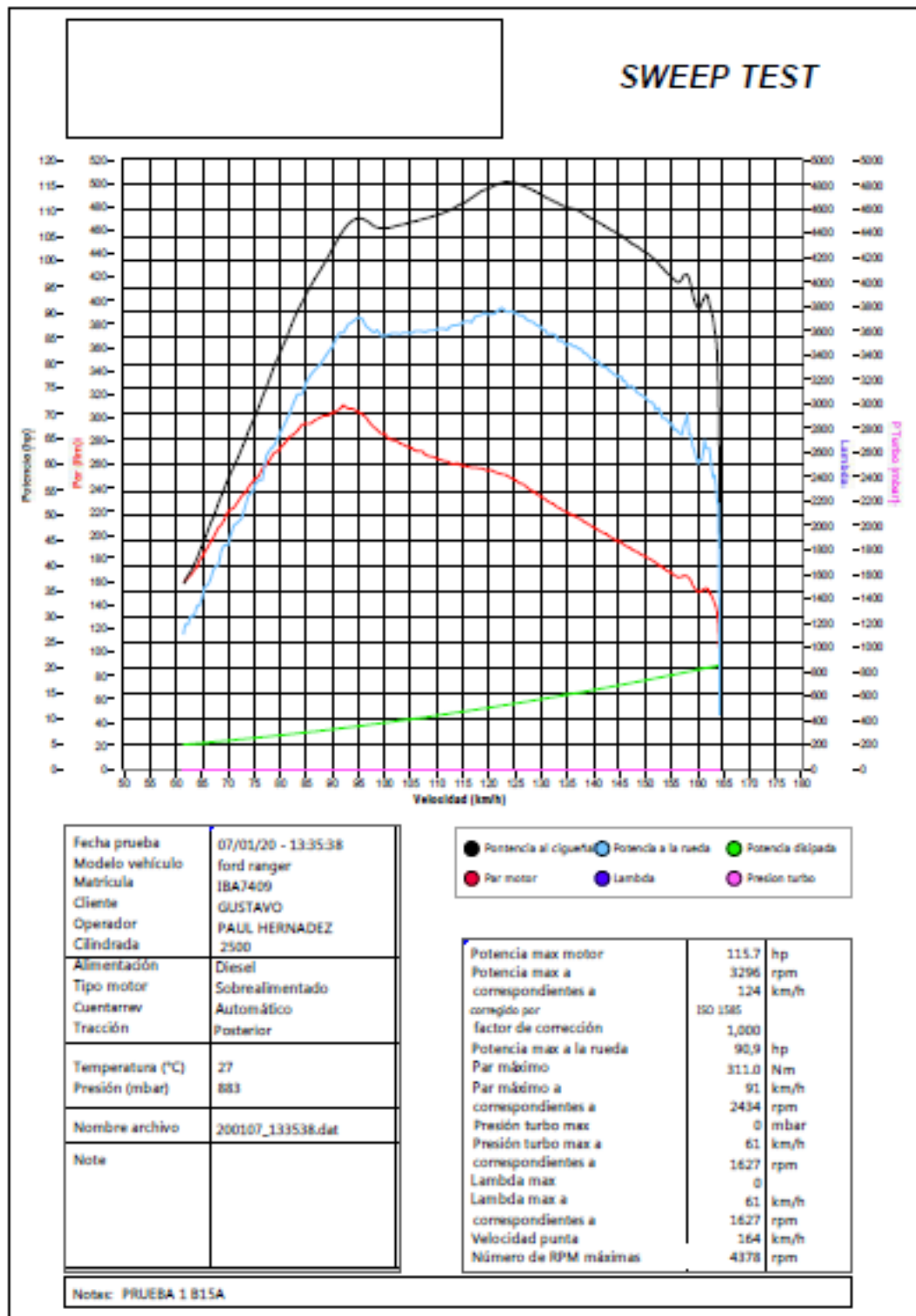


Figura AIX.1 Prueba 1

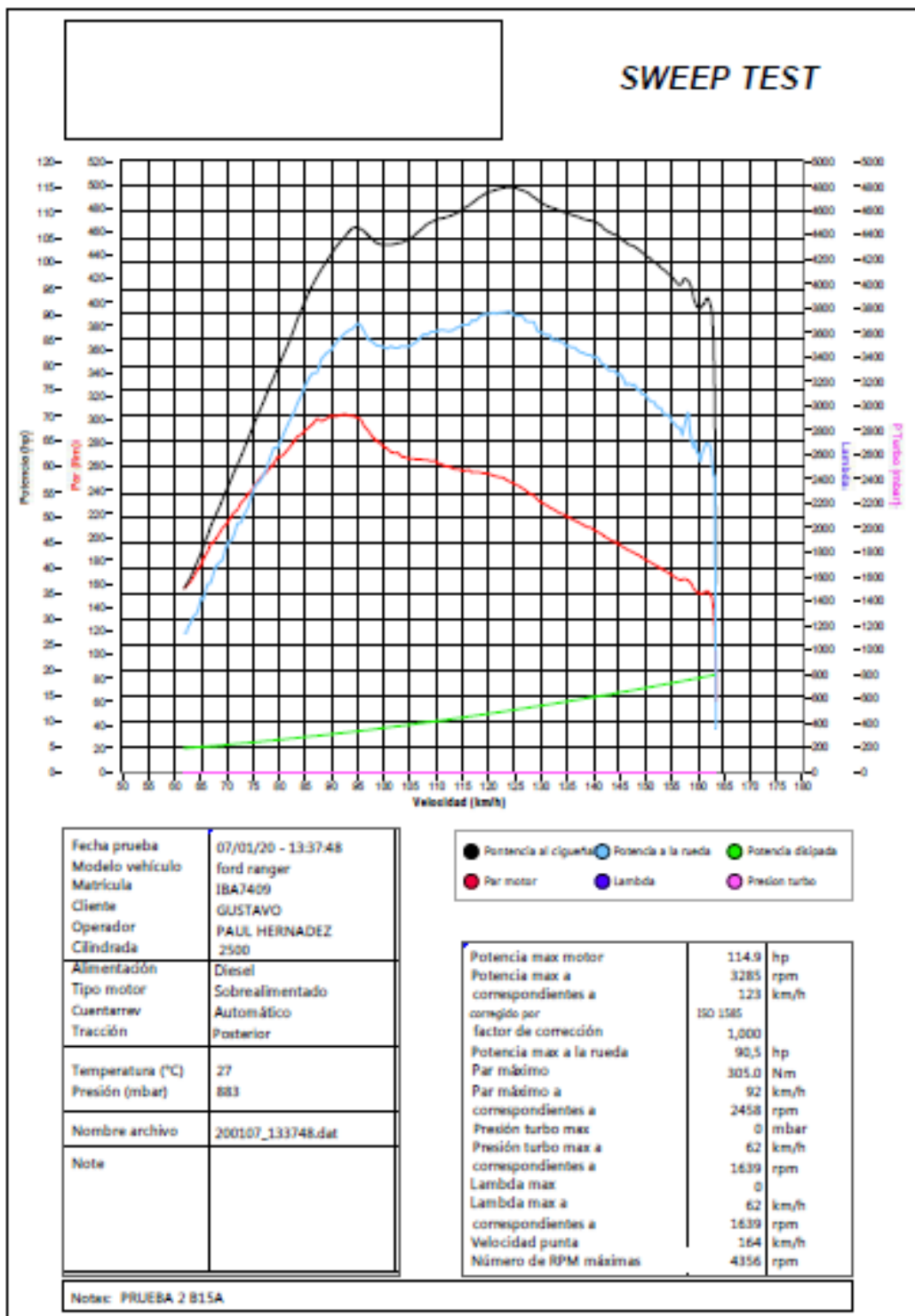


Figura AIX.2 Prueba 2

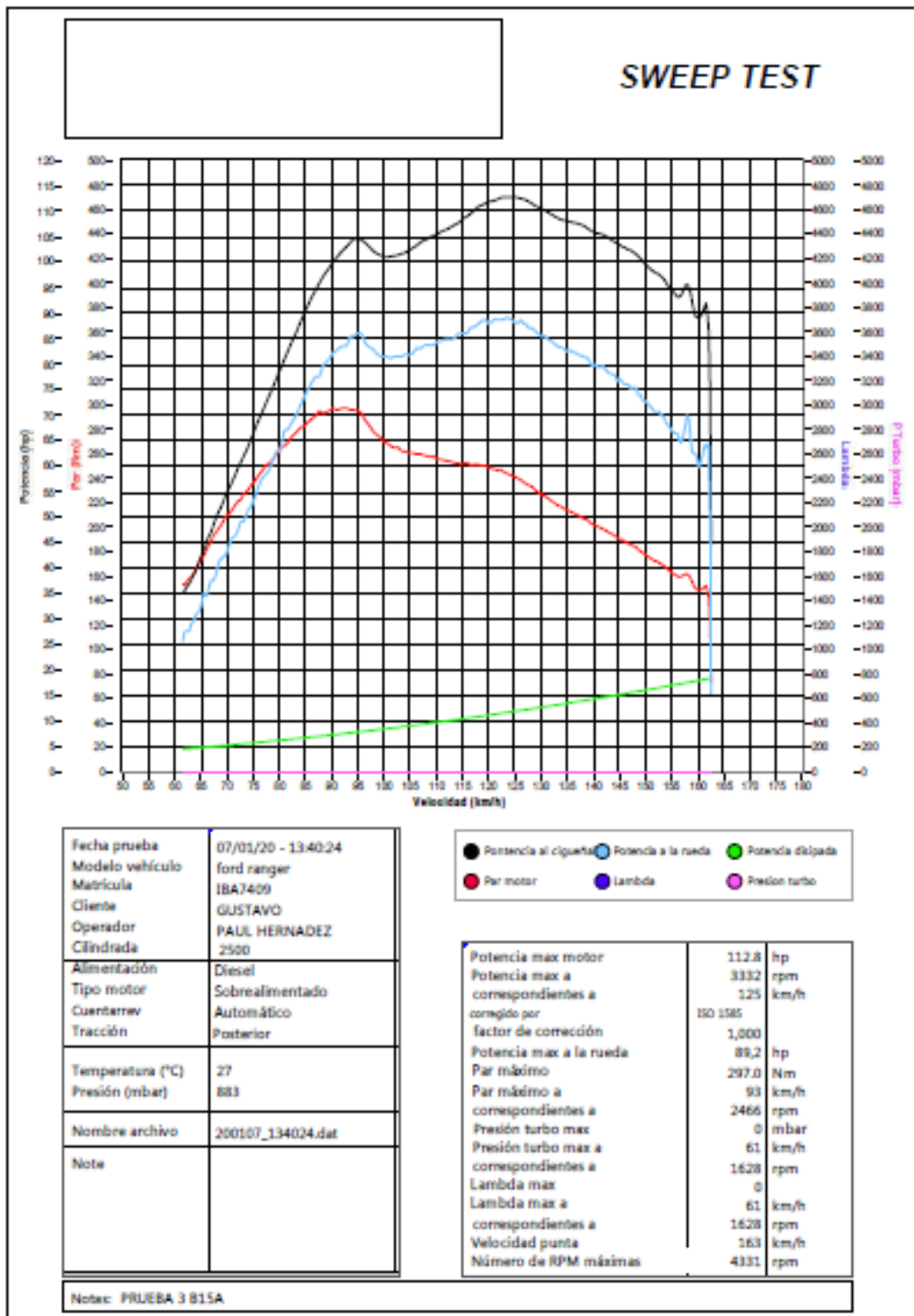


Figura AIX.3 Prueba 3

ANEXO X
RESULTADOS DE PRUEBAS DE OPACIDAD CON DIÉSEL
CONVENCIONAL


	<h2 style="margin: 0;">TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO</h2>	
OPACÍMETRO Número de Serie : 110909000111 Número de Homologación : OM00293bNET Fecha vencimiento calibración : 03/10/2020	OPA-100 Número de Serie : Número de Homologación : Fecha vencimiento calibración :	TACÓMETRO Número de Serie : Número de Homologación : Fecha vencimiento calibración :
DATOS TALLER		
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE		
IBARRA	GIALUT	
IMBABURA	FAX-EMAIL	
DATOS DEL VEHICULO		
Placa : IBA7409	Odómetro :	
Marca : FORD	Año de Construcción :	2011
Modelo : RANGER		
No. Chasis :		
LIMITES PRESCRITOS		
Temperatura Motor : 75 [°C]	Diferencia opacidad : 10 [%]	Opacidad : 50 [%]
VALORES MEDIDOS		
OPACIDAD		
Temperatura Motor :	#90 [°C]	
	Pico opacidad	RPM ralentí
	[%]	[1/min]
	RPM max	[1/min]
Aceleración 1 :	1.1 *	720
		1840
Aceleración 2 :	1.4 *	720
		2420
Aceleración 3 :	1.6 *	710
		2790
Aceleración 4 :	0.9 *	720
		2360
Aceleración 5 :	1.0 *	710
		2290
RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS		
Valor diferencia de la opacidad :	0.7	
Valor promedio de la opacidad :	1.2	
Fecha y hora de inicio prueba :	08/01/2020	10:41:23
Fecha y hora de termine prueba :	08/01/2020	10:43:07
Examinador :	BICER	

Figura AX.1 Prueba opacidad 1


		TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO	
OPACÍMETRO		OPA-100	
Número de Serie	: 110909000111	Número de Serie	:
Número de Homologación	: OMD0293bNET	Número de Homologación	:
Fecha vencimiento calibración	: 03/10/2020	Fecha vencimiento calibración	:
DATOS TALLER			
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
IBARRA		CIUT	
IMBABURA		FAX - EMAIL	
DATOS DEL VEHICULO			
Placa	: IBA7409	Odómetro	:
Marca	: FORD	Año de Construcción	: 2011
Modelo	: RANGER		
No. Chasis	:		
LIMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]
		Opacidad	: 50 [%]
VALORES MEDIDOS			
OPACIDAD			
Temperatura Motor	:	#90 [°C]	
		Pico opacidad	RPM ralentí
		[%]	[1/min]
			RPM max
			[1/min]
Aceleración 1	: 1.6 *	720	2380
Aceleración 2	: 1.2 *	720	2430
Aceleración 3	: 1.4 *	720	2440
Aceleración 4	: 2.1 *	720	2690
Aceleración 5	: 1.3 *	720	2280
RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS			
Valor diferencia de la opacidad	:	0.9	
Valor promedio de la opacidad	:	1.5	
Fecha y hora de inicio prueba	:	08/01/2020 10:44:29	
Fecha y hora de termine prueba	:	08/01/2020 10:48:23	
Examinador	:	BICER	

Figura AX.2 Prueba opacidad 2

ANEXO XI

RESULTADOS DE PRUEBAS DE OPACIDAD CON BIODIÉSEL B10


		TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO	
OPACÍMETRO OPA-100 Número de Serie : 110909000111 Número de Homologación : OM00293bNET Fecha vencimiento calibración : 03/10/2020		TACÓMETRO Número de Serie : Número de Homologación : Fecha vencimiento calibración :	
DATOS TALLER			
IBARRA		UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
IMBABURA		CALIT	
		FAX - EMAIL	
DATOS DEL VEHICULO			
Placa	: IBAT409	Odómetro	:
Marca	: FORD	Año de Construcción	: 2011
Modelo	: RANGER		
No. Chasis	:		
LIMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]
		Opacidad	: 50 [%]
VALORES MEDIDOS			
OPACIDAD			
Temperatura Motor	:	#90 [°C]	
		Pico opacidad	RPM ralentí
		[%]	[1/min]
			RPM max
			[1/min]
Aceleración 1	: 0.8 *	710	2190
Aceleración 2	: 1.0 *	720	2190
Aceleración 3	: 1.0 *	720	2350
Aceleración 4	: 1.0 *	720	2270
Aceleración 5	: 1.3 *	720	2630
RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS			
Valor diferencia de la opacidad	:	0.5	
Valor promedio de la opacidad	:	1.0	
Fecha y hora de inicio prueba	:	08/01/2020	12:02:07
Fecha y hora de termine prueba	:	08/01/2020	12:04:11
Examinador	:	BICER	

Figura AXI.1 Prueba Opacidad 1


		TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO	
OPACÍMETRO Número de Serie : 110909000111 Número de Homologación : OMD0293bNET Fecha vencimiento calibración : 03/10/2020		TACÓMETRO Número de Serie : Número de Homologación : Fecha vencimiento calibración :	
DATOS TALLER			
IBARRA		UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
IMBABURA		CUALT	
		FAX-EMAIL	
DATOS DEL VEHICULO			
Placa	: IBA7409	Códmetro	:
Marca	: FORD	Año de Construcción	: 2011
Modelo	: RANGER		
No. Chasis	:		
LIMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]
		Opacidad	: 50 [%]
VALORES MEDIDOS			
OPACIDAD			
Temperatura Motor	:	#90 [°C]	
		Pico opacidad	RPM ralentí
		[%]	[1/min]
			RPM max
			[1/min]
Aceleración 1	:	0.7 *	710
Aceleración 2	:	0.9 *	710
Aceleración 3	:	1.2 *	720
Aceleración 4	:	1.0 *	720
Aceleración 5	:	0.8 *	720
			2190
			2310
			2620
			2470
			2150
RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS			
Valor diferencia de la opacidad	:	0.5	
Valor promedio de la opacidad	:	0.9	
Fecha y hora de inicio prueba	:	06/01/2020	12:08:33
Fecha y hora de termine prueba	:	06/01/2020	12:10:22
Examinador	:	BICER	

Figura AXI.2 Prueba Opacidad 2

ANEXO XII
RESULTADOS DE PRUEBAS DE OPACIDAD CON BIODIÉSEL B10 MÁS
ADITIVO


		TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO	
OPACÍMETRO OPA-100 Número de Serie : 110909000111 Número de Homologación : OM00293bNET Fecha vencimiento calibración : 03/10/2020		TACÓMETRO Número de Serie : Número de Homologación : Fecha vencimiento calibración :	
DATOS TALLER			
IBARRA		UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
IMBABURA		CALIT	
		FAX - EMAIL	
DATOS DEL VEHICULO			
Placa	: IBA7409	Odómetro	:
Marca	: FORD	Año de Construcción	: 2011
Modelo	: RANGER		
No. Chasis	:		
LIMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]
		Opacidad	: 50 [%]
VALORES MEDIDOS			
OPACIDAD			
Temperatura Motor	:	#90 [°C]	
		Flujo opacidad	RPM ralentí
		[%]	[1/mín]
		RPM max	[1/mín]
Aceleración 1	: 1.5 *	720	2510
Aceleración 2	: 0.8 *	720	1590
Aceleración 3	: 1.4 *	720	2430
Aceleración 4	: 1.4 *	710	2350
Aceleración 5	: 1.7 *	720	2270
RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS			
Valor diferencia de la opacidad	:	0.9	
Valor promedio de la opacidad	:	1.4	
Fecha y hora de inicio prueba	:	06/01/2020	12:36:09
Fecha y hora de termine prueba	:	06/01/2020	12:37:59
Examinador	:	BICER	

Figura AXII.1 Prueba Opacidad 1


		TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO	
OPACÍMETRO Número de Serie : 110909000111 Número de Homologación : OM00293bNET Fecha vencimiento calibración : 03/10/2020		TACÓMETRO Número de Serie : Número de Homologación : Fecha vencimiento calibración :	
DATOS TALLER			
IBARRA IMBABURA		UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE CIAUT FAX - EMAIL	
DATOS DEL VEHICULO			
Placa	: IBA7409	Odómetro	:
Marca	: FORD	Año de Construcción	: 2011
Modelo	: RANGER		
No. Chasis	:		
LIMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]
		Opacidad	: 50 [%]
VALORES MEDIDOS			
OPACIDAD			
Temperatura Motor	:	#90 [°C]	
		Pico opacidad	RPM ralentí
		[%]	[1/min]
			RPM max
			[1/min]
Aceleración 1	: 1.0 *	720	2120
Aceleración 2	: 1.2 *	720	1750
Aceleración 3	: 1.3 *	720	2470
Aceleración 4	: 1.3 *	720	1670
Aceleración 5	: 1.8 *	720	2410
RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS			
Valor diferencia de la opacidad	:	0.8	
Valor promedio de la opacidad	:	1.3	
Fecha y hora de inicio prueba	:	06/01/2020	12:38:26
Fecha y hora de termine prueba	:	06/01/2020	12:40:14
Examinador	:	BICER	

Figura AXII.2 Prueba Opacidad 2

ANEXO XIII

RESULTADOS DE PRUEBAS DE OPACIDAD CON BIODIÉSEL B15


		TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO	
OPACÍMETRO Número de Serie : 110909000111 Número de Homologación : OM00293bNET Fecha vencimiento calibración : 03/10/2020		TACÓMETRO Número de Serie : Número de Homologación : Fecha vencimiento calibración :	
DATOS TALLER			
IBARRA IMBABURA		UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE CIAUT FAX - EMAIL	
DATOS DEL VEHICULO			
Placa	: IBA7409	Código	:
Marca	: FORD	Año de Construcción	: 2011
Modelo	: RANGER		
No. Chasis	:		
LIMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]
		Opacidad	: 50 [%]
VALORES MEDIDOS			
OPACIDAD			
Temperatura Motor	:	#90 [°C]	
		Pico opacidad	RPM lento
		[%]	[1/min]
Aceleración 1	:	1.2 *	720
Aceleración 2	:	0.9 *	720
Aceleración 3	:	1.2 *	710
Aceleración 4	:	0.9 *	700
Aceleración 5	:	0.6 *	720
		RPM max	
		[1/min]	
			2590
			2290
			2400
			2370
			1640
RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS			
Valor diferencia de la opacidad	:	0.6	
Valor promedio de la opacidad	:	1.0	
Fecha y hora de inicio prueba	:	06/01/2020	13:08:05
Fecha y hora de termine prueba	:	06/01/2020	13:10:29
Examinador	:	BICER	

Figura AXIII.1 Prueba Opacidad 1


		TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO	
OPACÍMETRO		TACÓMETRO	
Número de Serie	: 110909000111	Número de Serie	:
Número de Homologación	: OMD0293bNET	Número de Homologación	:
Fecha vencimiento calibración	: 03/10/2020	Fecha vencimiento calibración	:
DATOS TALLER			
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
IBARRA		CIALT	
IMBABURA		FAX - EMAIL	
DATOS DEL VEHICULO			
Placa	: IBA7409	Odómetro	:
Marca	: FORD	Año de Construcción	: 2011
Modelo	: RANGER		
No. Chasis	:		
LIMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]
		Opacidad	: 50 [%]
VALORES MEDIDOS			
OPACIDAD			
Temperatura Motor	:	#90 [°C]	
		Pico opacidad	RPM ralentí
		[%]	[1/min]
			RPM max
			[1/min]
Aceleración 1	: 0.7 *	720	2030
Aceleración 2	: 0.9 *	720	2050
Aceleración 3	: 1.3 *	720	2470
Aceleración 4	: 1.1 *	710	2340
Aceleración 5	: 1.0 *	730	2100
RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS			
Valor diferencia de la opacidad	:	0.6	
Valor promedio de la opacidad	:	1.0	
Fecha y hora de inicio prueba	:	08/01/2020	13:10:57
Fecha y hora de termine prueba	:	08/01/2020	13:12:47
Examinador	:	BICER	

Figura AXIII.2 Prueba Opacidad 2

ANEXO XIV
RESULTADOS DE PRUEBAS DE OPACIDAD CON BIODIÉSEL B15 MÁS
ADITIVO


		TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO	
OPACÍMETRO OPA-100 Número de Serie : 110909000111 Número de Homologación : OM00293bNET Fecha vencimiento calibración : 03/10/2020		TACÓMETRO Número de Serie : Número de Homologación : Fecha vencimiento calibración :	
DATOS TALLER			
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
IBARRA		CIALT	
IMBABURA		FAX - EMAIL	
DATOS DEL VEHICULO			
Placa	: IBA7409	Odómetro	:
Marca	: FORD	Año de Construcción	: 2011
Modelo	: RANGER		
No. Chasis	:		
LIMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]
		Opacidad	: 50 [%]
VALORES MEDIDOS			
OPACIDAD			
Temperatura Motor	:	#90 [°C]	
		Pico opacidad	RPM ralentí
		[%]	[1/mín]
Aceleración 1	:	1.1 *	710
Aceleración 2	:	1.0 *	720
Aceleración 3	:	1.2 *	720
Aceleración 4	:	1.6 *	730
Aceleración 5	:	1.5 *	710
			1980
			1770
			2000
			2290
			2310
RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS			
Valor diferencia de la opacidad	:	0.6	
Valor promedio de la opacidad	:	1.3	
Fecha y hora de inicio prueba	:	06/01/2020	13:35:37
Fecha y hora de termine prueba	:	06/01/2020	13:37:38
Examinador	:	BICER	

Figura AXIV.1 Prueba Opacidad 1


		TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO	
OPACÍMETRO Número de Serie : 110909000111 Número de Homologación : OM00293bNET Fecha vencimiento calibración : 03/10/2020		TACÓMETRO Número de Serie : Número de Homologación : Fecha vencimiento calibración :	
DATOS TALLER			
IBARRA IMBABURA		UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE CIALIT FAX - EMAIL	
DATOS DEL VEHICULO			
Placa	: IBA.7409	Odómetro	:
Marca	: FORD	Año de Construcción	: 2011
Modelo	: RANGER		
No. Chasis	:		
LIMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]
		Opacidad	: 50 [%]
VALORES MEDIDOS			
OPACIDAD			
Temperatura Motor	:	#90 [°C]	
	Pico opacidad	RPM ralentí	RPM max
	[%]	[1/mín]	[1/mín]
Aceleración 1	: 1.1 *	710	2290
Aceleración 2	: 1.6 *	720	2410
Aceleración 3	: 1.2 *	720	2160
Aceleración 4	: 1.1 *	720	1680
Aceleración 5	: 1.3 *	720	2010
RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS			
Valor diferencia de la opacidad	:	0.5	
Valor promedio de la opacidad	:	1.3	
Fecha y hora de inicio prueba	:	06/01/2020 13:38:06	
Fecha y hora de termine prueba	:	06/01/2020 13:39:46	
Examinador	:	BICER	

Figura AXIV.2 Prueba Opacidad 2