



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: "OBTENCIÓN DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIÉSEL
CON ACEITES LUBRICANTES RECICLADOS DEL
AUTOMÓVIL EN CONCENTRACIONES DE 5 %, 10 %, 15 %, 20
% Y 30 % Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS
CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR"**

AUTORES:

**ALEX DARÍO ALTAMIRANO BAÑO
HENRY GONZALO PABÓN QUITO**

DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO

LATACUNGA

2016



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “OBTENCIÓN DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIÉSEL CON ACEITES LUBRICANTES RECICLADOS DEL AUTOMÓVIL EN CONCENTRACIONES DE 5 %, 10 %, 15 %, 20 % Y 30 % Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR” realizado por los señores *ALEX DARÍO ALTAMIRANO BAÑO* y *HENRY GONZALO PABÓN QUITO*, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores *ALEX DARÍO ALTAMIRANO BAÑO* y *PABÓN QUITO HENRY GONZALO* para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 de noviembre del 2016

Ing. German Erazo
DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, ALEX DARÍO ALTAMIRANO BAÑO, con cédula de identidad N° 1804330544 y HENRY GONZALO PABÓN QUITO, con cédula de identidad N° 1003357439, declaramos que este trabajo de titulación “OBTENCIÓN DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIÉSEL CON ACEITES LUBRICANTES RECICLADOS DEL AUTOMÓVIL EN CONCENTRACIONES DE 5 %, 10 %, 15 %, 20 % Y 30 % Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 23 de noviembre del 2016

ALEX DARÍO ALTAMIRANO BAÑO
C.C.: 1804330544

HENRY GONZALO PABÓN QUITO
C.C.: 1003357439



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, *ALEX DARÍO ALTAMIRANO BAÑO* y *HENRY GONZALO PABÓN QUITO*, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “OBTENCIÓN DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIÉSEL CON ACEITES LUBRICANTES RECICLADOS DEL AUTOMÓVIL EN CONCENTRACIONES DE 5 %, 10 %, 15 %, 20 % Y 30 % Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 23 de noviembre del 2016

ALEX DARÍO ALTAMIRANO BAÑO

C.C.: 1804330544

HENRY GONZALO PABÓN QUITO

C.C.: 1003357439

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre. A mis hermanos Gaby y Ricardo, que han estado a mi lado en todo momento y a mis compañeros infaltables de aula, Henry y Jaime porque sin el equipo que formamos, no habríamos logrado esta meta.

Alex Darío Altamirano Baño

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mis padres, Blanca Esthela y Edgar Gonzalo, por su apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida tanto personal como académica. Ellos han sido el motivo principal que me ha impulsado a culminar este trabajo. A mi hermana Alisson Paulina, la inocencia de su sonrisa y su cariño han sido mi más grande fuente de felicidad desde el día que llegó al mundo. A mi hermana Andrea Carolina, sus consejos y enseñanzas me han convertido en la persona que soy y su ejemplo me hace querer ser mejor cada día.

Henry Gonzalo Pabón Quito

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios, a toda mi familia, y a todas aquellas personas que de una manera u otra me han apoyado para llegar a este punto de mi vida.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por educarme para ser un profesional de bien y servir a la sociedad.

Finalmente agradezco al Ing. German Erazo y Dr. Marcos Gutiérrez por compartir sus experiencias y conocimientos para culminar con el presente trabajo investigativo.

Alex Darío Altamirano Baño

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi hermana Andrea Carolina por la guía e instrucción que me brindó durante la realización de este trabajo.

A mi amigo y compañero de tesis Alex, sin él la culminación del trabajo no habría sido posible. Gracias por formar parte de este equipo.

Agradezco al Ing. Germán Erazo, director de la investigación, y al Dr. Marcos Gutiérrez por el tiempo y trabajo dedicados para la ejecución del proyecto.

Gracias a Jaime, Vinicio y Kevin, los momentos de alegría vividos dentro y fuera de las aulas hicieron estos últimos años una experiencia agradable.

Henry Gonzalo Pabón Quito

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xix
ÍNDICE DE CUADROS.....	xx
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT	xxii
PRESENTACIÓN	xxiii

CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del Problema.	3
1.3. Descripción resumida de la investigación.	6
1.4. Justificación e importancia.....	7
1.5. Objetivos	8
1.5.1. Objetivos General	8
1.5.2. Objetivos Específicos.....	8
1.6. Metas	9

	x
1.7. Hipótesis	9
1.8. Variables de Investigación	9
1.8.1. Variable Independiente	9
1.8.2. Variable Dependiente	10
1.8.3. Operacionalización de variables	10
1.9. Metodología	12
1.9.1. Método Inductivo.....	12
1.9.2. Método Deductivo	12
1.9.3. Método analítico.....	13
1.9.4. Método sintético.....	13
1.9.5. Método experimental.	13
1.9.6. Método matemático	13
1.9.7. Método de la medición	13
1.9.8. Método de observación directa.	14

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	17
2.1. Combustible para motores diésel.....	17
2.2. Mezclas combustibles	18
2.3. Obtención de las mezclas combustibles	23
2.4. Curvas características del motor.....	26
2.4.1. Torque.....	27
2.4.2. Potencia	28
2.4.3. Consumo de combustible.....	28
2.4.4. Opacidad.....	28
2.5. Parámetros característicos del motor	29

2.5.1. Ciclo diésel.....	29
2.5.2. Ecuaciones termodinámicas del ciclo diésel	30

CAPÍTULO III

3. OBTENCIÓN DE LA MEZCLA Y CARACTERIZACIÓN.....	35
3.1. Introducción	35
3.2. Métodos	35
3.2.1 Métodos y Técnicas usadas para la obtención	35
3.3. Recolección	38
3.4. Equipos.....	40
3.5. Obtención.....	42
3.6. Resultados	56

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS TORQUE Y POTENCIA Y ANÁLISIS DE GASES.....	66
4.1. Introducción	66
4.2. Equipos.....	66
4.3. Procedimientos	76

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	87
5.1 Caracterización de las mezclas	87
5.2 Ensayo de torque y potencia.....	90
5.3 Ecuaciones de los parámetros característicos del motor	103
5.4. Prueba de consumo de combustible	109
5.5 Estudio de emisiones producto de la combustión	111

5.6 Estudio de la opacidad.....	119
---------------------------------	-----

CAPÍTULO VI

6. MARCO ADMINISTRATIVO.....	123
6.1. Recursos Utilizados	123
6.1.1. Recurso Institucional.....	123
6.1.2. Recurso Humano	123
6.1.3. Recurso Material.....	124
6.1.4. Recurso Tecnológico	124
6.1.5. Recurso de Apoyo	124
6.2. Presupuesto.....	125
6.2.1. Presupuesto Recurso Material.....	125
6.2.2. Presupuesto Recurso Tecnológico	125
6.2.3. Presupuesto Recurso de Apoyo	126
6.2.4. Presupuesto General.....	126
6.3. Cronograma.....	127
6.4. Análisis financiero de la rentabilidad del proyecto.....	127
6.4.1. Inversión en Activos	128
6.4.2. Inversión en capital de trabajo	129
6.4.3. Fuentes de financiamiento	129
6.4.4. Cantidad de aceite disponible en Latacunga	130
6.4.5. Costos de producción y precio de venta	131
6.4.6. Flujo de caja proyectado	132
6.4.7. Análisis del Estudio Financiero	133

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones 135

Recomendaciones 138

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 139**ANEXOS..... 144**

Anexo No. 1. Ficha técnica del vehículo

Anexo No. 2. Resultados de la caracterización

Anexo No. 3. Resultados del ensayo de torque y potencia

Anexo No. 4. Resultados de la medición de componentes

Anexo No. 5. Resultados de la medición de opacidad

Anexo No. 6. Certificado de calibración del analizador de gases

Anexo No. 7. Cronograma de actividades

Anexo No. 8. Grupo de Investigadores del Proyecto

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de problemas.....	5
Figura 2. Curvas características del motor.	27
Figura 3. Diagrama presión volumen de operación del ciclo Diésel.....	30
Figura 4. Equipo de destilación simple	41
Figura 5. Aceite usado Kendall recolectado.....	43
Figura 6. Embudos para filtración de aceite con papel filtro	44
Figura 7. Filtración de aceite usado	44
Figura 8. Residuos de la filtración de aceite usado.....	45
Figura 9. Equipo de destilación armado.....	45
Figura 10. Preparación para la destilación del aceite usado.....	46
Figura 11. Mechero encendido	46
Figura 12. Matraz de 500 ml con aceite usado de motor	47
Figura 13. Producto de la primera destilación.....	48
Figura 14. Producto de la segunda destilación	48
Figura 15. Producto de la tercera destilación.....	49
Figura 16. Medición de la densidad.	50
Figura 17. Comparación destilaciones.....	52
Figura 18. Filtración del aceite destilado.....	53
Figura 19. Pipeta para medición de volumen de aceite destilado	53
Figura 20. Preparación de la mezcla al 5 %	54
Figura 21. Preparación de la mezcla al 30 %	54
Figura 22. Agitación de la mezcla.....	55
Figura 23. Mezclas combustibles al 5 % y 30 %.....	55
Figura 24. Mezclas al 5 % y 30 % después de dos horas de reposo.....	56
Figura 25. Mezclas al 5 % y 30 % después de 24 horas de reposo.....	56
Figura 26. Recipientes para el almacenamiento de muestras	62
Figura 27. Mezclas combustibles listas para caracterización	63
Figura 28. Central de comunicación del dinamómetro LPS 3000	67
Figura 29. Rodillos del dinamómetro LPS 3000.....	68
Figura 30. Analizador de gases AGS-688.....	70

Figura 31. Interfaz del usuario del analizador de gases.....	72
Figura 32. Componentes del Analizador de gases AGS-688.....	73
Figura 33. Opacómetro Brain Bee	74
Figura 34. Opacómetro CARTEK CAP3201	75
Figura 35. Vehículo colocado sobre los rodillos del dinamómetro	77
Figura 36. Sujeción del vehículo con correas de seguridad.....	77
Figura 37. Conexión para combustible alterno	78
Figura 38. Recipientes para la mezcla propuesta.	78
Figura 39. Interfaz para el ensayo de torque y potencia	79
Figura 40. Recipiente graduado.....	79
Figura 41. Recipiente con mezcla combustible.....	80
Figura 42. Resultados Ensayo 1	81
Figura 43. Resultados Ensayo 2.....	81
Figura 44. Resultados Ensayo 3.....	82
Figura 45. Conexión del analizador de gases AGS-688	82
Figura 46. Medición con el analizador de gases	83
Figura 47. Toma de datos de los componentes de gases de escape.....	83
Figura 48. Software Brian Bee para el opacómetro	85
Figura 49. Menú principal del software	85
Figura 50. Temperatura alcanzada.....	86
Figura 51. Resultados de la medición.....	86
Figura 52. Curvas de potencia del ensayo N1.	92
Figura 53. Curvas de torque del ensayo N1.	93
Figura 54. Curvas de potencia del ensayo N2.	95
Figura 55. Curvas de torque del ensayo N2.	96
Figura 56. Curvas de potencia del ensayo N3.	98
Figura 57. Curvas de torque del ensayo N3.....	99
Figura 58. Comparación del torque al usar diésel puro y la mezcla.....	100
Figura 59. Comparación de la potencia diésel puro y la mezcla.....	101
Figura 60. Variación de torque y potencia para la mezcla al 15 %.	102
Figura 61. Influencia del potencial energético de la mezcla.....	107
Figura 62. Calor suministrado y extraído en el motor WL.....	108

Figura 63. Consumo de combustible en el motor WL	109
Figura 64. Consumo de combustible del motor WL Mazda	110
Figura 65. Emisiones de monóxido de carbono	114
Figura 66. Emisiones de dióxido de carbono	115
Figura 67. Emisiones de hidrocarburos no combustionados	116
Figura 68. Emisiones de oxígeno.....	117
Figura 69. Emisiones de óxidos de nitrógeno	118
Figura 70. Porcentaje de opacidad producida	120
Figura 71. Opacidad producida.....	122
Figura 72. Cronograma.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variable Independiente	10
Tabla 2. Variable dependiente	11
Tabla 3. Análisis de la metodología.	14
Tabla 4. Requisitos del diésel No. 2 de bajo contenido de azufre.....	18
Tabla 5. Métodos de ensayo para productos del petróleo	37
Tabla 6. Propiedades típicas del Aceite Kendall GT1 con base sintética ..	42
Tabla 7. Análisis comparativo de las densidades.	51
Tabla 8. Primera obtención de primera destilación	57
Tabla 9. Segunda obtención de primera destilación	57
Tabla 10. Tercera obtención de primera destilación	58
Tabla 11. Cuarta obtención de primera destilación.....	58
Tabla 12. Quinta obtención de primera destilación	58
Tabla 13. Resumen primera destilación.....	58
Tabla 14. Primera obtención de segunda destilación	59
Tabla 15. Segunda obtención de segunda destilación.....	60
Tabla 16. Tercera obtención de segunda destilación.....	60
Tabla 17. Resumen segunda destilación	60
Tabla 18. Aceite usado para las mezclas volumétricas	63
Tabla 19. Resultados de la caracterización de las mezclas.....	64
Tabla 20. Campos de medición del analizador de gases AGS-688.....	72
Tabla 21. Componentes Brain Bee AGS-688	73
Tabla 22. Resultados de la caracterización de mezclas.	87
Tabla 23. Comparación de resultados con la norma INEN 1498.	88
Tabla 24. Evaluación de los parámetros de las mezclas pre aprobadas.	89
Tabla 25. Ensayo N.1 de torque y potencia utilizando la mezcla al 15 %	90
Tabla 26. Ensayo N.1 de torque y potencia utilizando diésel puro.....	91
Tabla 27. Ensayo N.2 de torque y potencia utilizando la mezcla al 15 %	94
Tabla 28. Ensayo N.2 de torque y potencia utilizando diésel puro.....	94
Tabla 29. Ensayo N.3 de torque y potencia utilizando la mezcla al 15 %	97
Tabla 30. Ensayo N.3 de torque y potencia utilizando diésel puro.....	97

Tabla 31. Tabla estadística del comportamiento del motor Mazda WL.....	100
Tabla 32. Resumen de los parámetros característicos	106
Tabla 33. Mediciones de consumo de combustible utilizando diésel puro .	110
Tabla 34. Mediciones de consumo de combustible	110
Tabla 35. Ensayo N1. De emisiones del motor WL usando diésel puro. ...	111
Tabla 36. Ensayo N2. De emisiones del motor WL usando diésel puro. ...	112
Tabla 37. Ensayo N1. De emisiones del motor WL usando la mezcla.....	112
Tabla 38. Ensayo N2. De emisiones del motor WL usando la mezcla.....	112
Tabla 39. Ensayo N3. De emisiones del motor WL usando la mezcla.....	113
Tabla 40. Promedio de mediciones de emisiones.....	113
Tabla 41. Resultados de la prueba de opacidad con el equipo Cartek.	119
Tabla 42. Resultados de la prueba de opacidad con el equipo Brain Bee.	121

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Densidad API	19
Ecuación 2. Viscosidad cinemática.....	20
Ecuación 3. Calor suministrado	30
Ecuación 4. Calor extraído.....	30
Ecuación 5. Relación de compresión.....	31
Ecuación 6. Grado de expansión previa	31
Ecuación 7. Eficiencia térmica	31
Ecuación 8. Presión media del ciclo I	32
Ecuación 9. Presión media del ciclo II	32
Ecuación 10. Rendimiento térmico I	32
Ecuación 11. Rendimiento térmico II	33
Ecuación 12. Consumo másico de combustible.....	33
Ecuación 13. Consumo específico de combustible.....	33
Ecuación 14. Rendimiento mecánico.....	34
Ecuación 15. Rendimiento indicado.....	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1. Recursos Institucionales.....	123
Cuadro No. 2. Recursos Humanos	123
Cuadro No. 3. Recursos Materiales	124
Cuadro No. 4. Recursos Tecnológico	124
Cuadro No. 5. Recursos de Apoyo	124
Cuadro No. 6. Presupuesto Materiales	125
Cuadro No. 7. Presupuesto Tecnológico	125
Cuadro No. 8. Presupuesto Recurso de Apoyo	126
Cuadro No. 9. Presupuesto General.....	126
Cuadro No. 10. Maquinaria y Equipo	128
Cuadro No. 11. Capital de trabajo.....	129
Cuadro No. 12. Parámetros del préstamo	130
Cuadro No. 13. Tabla de amortización	130
Cuadro No. 14. Oferta de aceite usado en Latacunga.....	131
Cuadro No. 15. Costo marginal y PVP.....	132
Cuadro No. 16. Flujo de Caja proyectado	133
Cuadro No. 17. Cálculo VAN y TIR.....	133

RESUMEN

La investigación trata sobre la obtención de una mezcla combustible diésel a partir de aceites lubricantes reciclados del automóvil con el propósito de aprovechar el potencial energético existente en el aceite usado. Se ensayaron concentraciones de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 30 % y se determinó su influencia en los parámetros característicos del motor. Se aplicaron técnicas de destilación simple y filtrado para generar un aceite base limpio. Tras obtener el producto se realizaron mezclas en concentraciones volumétricas de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 30 % con diésel No. 2 de bajo contenido de azufre. Las mezclas fueron analizadas en un laboratorio químico para verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1489. En los ensayos se obtuvo las características de torque, potencia, consumo de combustible en el motor WL del vehículo Mazda BT-50 CRDi así como el análisis de CO, CO₂, HC, O₂ y NO_x con el uso de varios equipos de prueba. A través del tratamiento de los resultados obtenidos, se estableció que la concentración ideal para el uso en el motor diésel es la mezcla al 15 %, debido al aumento del poder calorífico, el índice de cetano entre otras características que contribuyen a incrementar la potencia, torque del motor y con ello cumplir la normativa ecuatoriana.

PALABRAS CLAVE:

- **MEZCLA COMBUSTIBLE**
- **DIÉSEL**
- **ÍNDICE DE CETANO**
- **PODER CALORÍFICO**
- **TORQUE**
- **POTENCIA**
- **CONSUMO DE COMBUSTIBLE**
- **EMISIONES**
- **OPACIDAD**

ABSTRACT

This research is about the obtaining of a diesel fuel mixture from recycled automobile lubricating oil with the purpose of taking advantage from the energetic potential that used oil possess. Hence, concentrations of 5 %, 10 %, 15 %, 20 % and 30 % were tested in order to determine its influence in engine characteristic parameters. Simple distillation techniques and filtration of waste motor oil were applied to generate base oil. After having obtained the product volumetric mixtures were made at concentrations of 5 %, 10 %, 15 %, 20 % and 30 % with low sulphur content diesel N2. Mixtures were analysed in a chemistry laboratory to verify the compliance of requirements established in Ecuadorian Technique Law INEN 1489. Characteristics of power, torque and fuel consumption of a WL engine from a Mazda BT-50 CRDi vehicle were obtained from testing, also CO, CO₂, HC, O₂ y NO_x analysis were developed with the use of three devices. Through analysis of obtained data, it was established that ideal concentration for use in diesel engines is 15 % due to the increase in heat of combustion, cetane number among other characteristics that contribute to power and torque rise, and comply Ecuadorian law.

KEYWORDS:

- **FUEL MIXTURE**
- **DIESEL**
- **CETANE NUMBER**
- **HEAT OF COMBUSTION**
- **TORQUE**
- **POWER**
- **FUEL CONSUPTION**
- **EMISSIONS**
- **OPACITY**

PRESENTACIÓN

La investigación “OBTENCIÓN DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIÉSEL CON ACEITES LUBRICANTES RECICLADOS DEL AUTOMÓVIL EN CONCENTRACIONES DE 5 %, 10 %, 15 %, 20 % Y 30 % Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR” se basa en el análisis de las propiedades físicas y químicas de la mezcla combustible para determinar la factibilidad de su uso en el motor WL y verificar el desempeño alcanzado.

El capítulo 1, se define el marco metodológico de la investigación para la caracterización y aplicación de la mezcla combustible a partir de aceite usado para ser experimentado en el motor diésel.

El capítulo 2, se analizó el estado del arte para obtener el marco teórico de diferentes fuentes bibliográficas, considerando las normas y los autores, que fueron de utilidad para el desarrollo de la investigación.

El capítulo 3, se detalla el proceso de la obtención de la mezcla combustible y la caracterización determinando sus propiedades físicas y químicas para su uso en el motor de combustión diésel.

Capítulo 4, describe los equipos e instrumentos de medición para determinar los parámetros característicos y emisiones del motor WL cuando se trabaja con la mezcla combustible obtenida.

Capítulo 5, se desarrolló el análisis de resultados obtenidos durante la investigación generando información relevante del uso de la mezcla combustible basada en el uso del aceite usado en combinación con el diésel N2.

Capítulo 6, comprende el marco administrativo que explica los diferentes recursos adquiridos y utilizados para la elaboración del proyecto.

Finalmente se encuentran las conclusiones y recomendaciones para que sean consideradas por estudiantes, profesionales e investigadores en el área como fuente de consulta.

CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

Se han realizado varios estudios acerca del proceso de conversión del aceite usado de motor en una sustancia con propiedades casi similares a la original, la cual puede ser usada nuevamente para lubricación o puede mezclarse con otros aceites bases o con combustibles para la generación de energía en motores de combustión.

Nematullah, Sohail, Babu, & Lotia (2014) afirman. “El aceite usado de motor puede ser refinado y tratado para producir combustibles o aceites base para lubricantes. Por otra parte, el aceite usado de motor supone un riesgo ambiental debido a su contenido de metal y otros contaminantes” (p. 47).

El destino del aceite usado en la actualidad tiene diferentes resultados, algunos de ellos ambientalmente tolerables, sin embargo, existen otros, como su desecho en ríos y vertientes, que son inaceptables desde el punto de vista ecológico. Arpa, Yumrutas, & Demirbas (2010) afirman:

Las fuentes de aceite lubricante usado, particularmente aceites de motor han atraído la atención como una fuente de energía alternativa. Es renovable, está disponible en todas partes y se ha comprobado que es un combustible más limpio y más amigable ambientalmente que las fuentes fósiles. Los aceites lubricantes pueden ser reciclados como aceite lubricante, y re-usados como combustible o convertidos a combustibles similares al diésel.” (p. 122).

El manejo irresponsable de los desechos de aceite usado de motor tiene un fuerte impacto ambiental según la práctica de desecho empleada. Existen tres

posibles vías al manejo de desechos aceitosos de vehículos. De acuerdo a Almeida, Játiva & Aguirre (2010):

La primera, cuando se desecha en suelos abiertos, canales, ríos y alcantarillado público y redes de manejo de aguas; se contaminan recursos naturales como suelos, superficies y aguas subterráneas.

En segundo lugar, cuando se realiza la incineración incontrolada en fábricas de cemento, azúcar y vidrio; plantas eléctricas, panaderías e industrias metálicas; se producen emisiones atmosféricas potencialmente peligrosas para la salud pública, ya que el aceite contiene metales pesados como plomo, zinc, arsénico; cromo, cadmio y sulfuros.

Finalmente, en caso de que se recicle los aceites para la producción de gasolinas o aceites refinados; se crea una contaminación debido a la eliminación de los residuos que contienen los metales pesados. (p. 2).

Beg, Sarker & Pervez (2010) afirman. “Debido a la escasez de los productos del petróleo, los aceites usados del motor pueden usarse en el motor como aceites lubricantes después de purificarlos” (p. 1).

De acuerdo a Beg et al. (2010). El proceso de producción se divide en dos pasos:

- i) El pretratamiento del aceite usado de motor.
- ii) Mezclado y filtración. (p. 1).

En cuanto a los efectos que pueda tener la mezcla de aceite usado con diésel en el motor, Naima & Liazid (2013) afirman:

“Se observa que el combustible tipo diésel (obtenido del aceite usado de motor) puede ser usado en motores diésel sin ningún problema en términos de desempeño

del motor. El combustible tipo diésel incrementa el torque, la presión efectiva al freno, la eficiencia térmica de frenado y reduce el consumo específico al freno del motor en operación de plena potencia.” (p. 42).

En cuanto a las emisiones del motor, Naima et al. (2013) afirman.

“Cuando se usa el combustible tipo diésel, la temperatura del escape es mayor que la de la muestra de diésel convencional, e incrementa con la velocidad del motor, por lo tanto, las evaluaciones muestran un aumento de emisiones de CO. Las mayores emisiones de NOx se obtuvieron revoluciones del motor más altas.” (p. 40).

1.2. Planteamiento del Problema.

Uno de los problemas medioambientales más graves en la actualidad es el manejo inadecuado de aceites lubricantes usados.

Almeida et al. (2010) afirman. “Estos residuos altamente contaminantes son eliminados en ríos o quemados hacia la atmósfera sin ningún tipo de tratamiento, produciendo efectos nocivos en la salud y afectando profundamente los recursos naturales” (p. 1).

Como se resultado se producen efectos nocivos en la salud de las personas y se afectan negativamente los recursos naturales. De acuerdo a Mandri & Lin (2007). “El aceite de motor usado contiene más metales e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) que contribuirían a riesgos crónicos en la salud incluyendo mutaciones sobre el ADN y procesos de carcinogénesis” (p. 23).

La búsqueda de nuevas fuentes de energía es uno de los principales retos en la actualidad. La explotación continua y especializada de los recursos energéticos ha permitido el desarrollo de sociedades altamente tecnológicas alrededor del mundo. Sin embargo, surge el dilema de cómo dotar a la humanidad con las

ventajas derivadas de la energía sin afectar el medio ambiente. Es aquí donde nace la necesidad de incentivar el desarrollo de nuevas fuentes de energía alternativas.

Gran parte de la investigación mundial se enfoca en el desarrollo y optimización de nuevas fuentes energéticas. Por ejemplo, durante la Conferencia Europea de Berlín del 2004, la Unión Europea comprometió a sus naciones miembro a “hacer los esfuerzos necesarios para alcanzar el objetivo de que la contribución de las energías renovables al consumo total interno de la energía de la UE sea del 20 % para el año 2020.”

Las energías renovables, al ser virtualmente inagotables y capaces de regenerarse por medios naturales, son uno de los principales ejemplos de nuevas opciones que buscan resolver este problema. Un ejemplo claro es el de Brasil. De acuerdo a Almeida (2012) “El gobierno lanzó el Programa Nacional de Alcohol (Pro-Alcohol) en 1975 para aumentar la producción de etanol como un sustituto para la gasolina.” (p. 4)

Sin embargo, las energías renovables no son la única fuente energética disponible, y nuevas perspectivas deben ser exploradas a profundidad. Actualmente muchos procesos industriales generan grandes cantidades de desechos, que contienen potencial para el uso desde el punto de vista energético. Mediante procesos físicos o químicos estos desechos pueden ser utilizados para la producción de energía, ahorrando así no solo recursos primarios, sino también minimizando la problemática del manejo de estos residuos.

Demirbas, Baluabaid, Kabil, & Ahmad (2015) afirman. “El reciclaje y el refinamiento son los procesos aplicables para el mejoramiento de los residuos a base de petróleo, convirtiéndolos en productos reusables tales como gasolina, diésel y aceites pesados” (p. 129).

La investigación tiene como objetivo mostrar la efectividad de utilizar aceites lubricantes usados en la producción de combustibles líquidos para motores de encendido por compresión.

El estudio considera: la caracterización de mezclas de aceite lubricante usado y combustible diésel a diferentes concentraciones volumétricas, ensayo de torque y potencia del motor usando una mezcla previamente seleccionada de acuerdo a las propiedades obtenidas en la caracterización y análisis de los componentes de los gases de escape producto de la combustión en el motor.

1.2.1. Árbol del problema

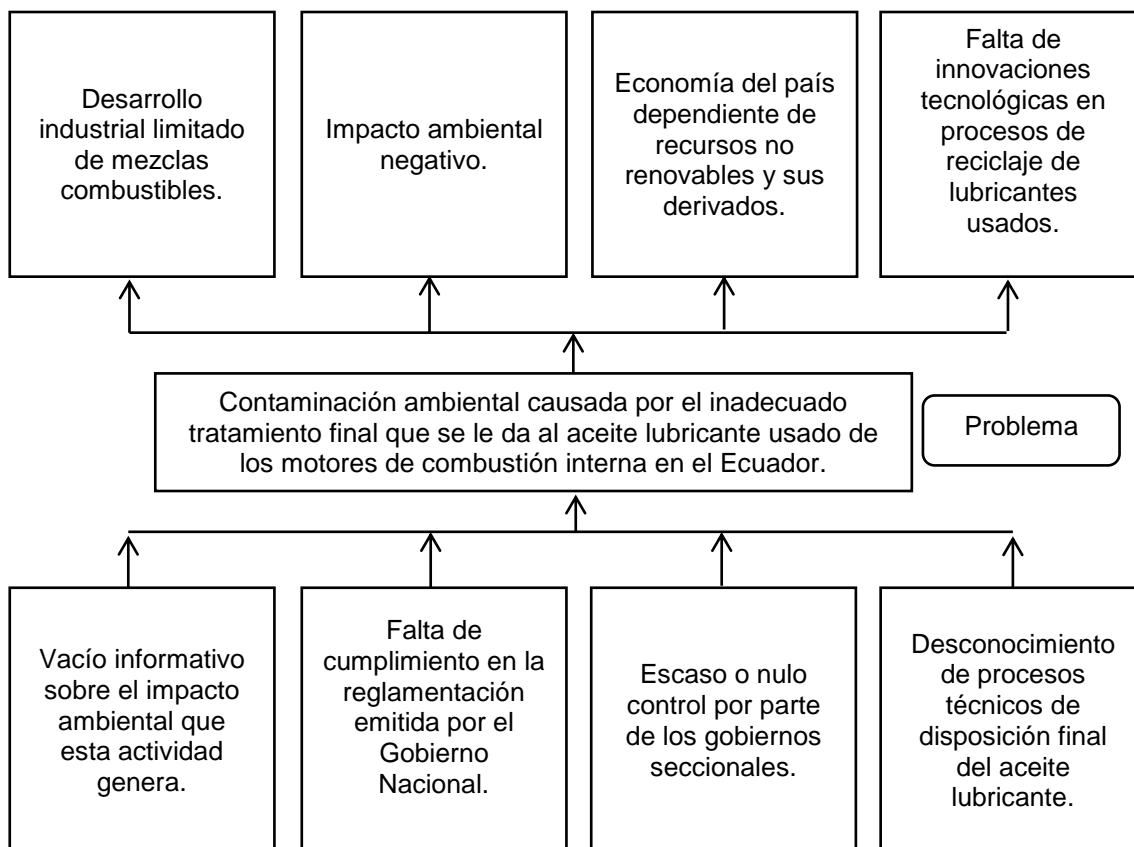


Figura 1. Árbol de problemas

La contaminación ambiental causada por el inadecuado tratamiento final que se le da al aceite lubricante usado, es generada por un vacío informativo sobre el impacto ambiental, además de una falta de cumplimiento de la norma, también por

un escaso control por parte de los gobiernos seccionales y un desconocimiento sobre técnicas adecuadas de disposición final del aceite usado. Todo esto a su vez genera un desarrollo industrial limitado de nuevas alternativas de combustible, una economía de país dependiente de recursos no renovables y una nula innovación tecnológica sobre procesos de reciclaje de aceite usado de motor.

1.3. Descripción resumida de la investigación.

La investigación se desarrolló en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L Extensión Latacunga, Quijano y Ordoñez s/n y Hnas. Páez.

La experimentación previa y obtención de segunda destilación de aceite de motor usado se realizó en la Laboratorio de Química de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

La caracterización de las mezclas se realizó en el laboratorio del Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación (DPEC) de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador en la ciudad de Quito.

Los ensayos de torque y potencia se realizaron en el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) de la Escuela Politécnica Nacional en la ciudad de Quito y se utilizó una camioneta Mazda BT-50 CRDi perteneciente a la Escuela de Conducción de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

La medición de los componentes de los gases de escape y opacidad se llevó a cabo en el laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga utilizando un analizador de gases AGS 688 Brain Bee además de un opacímetro Cartek.

Se obtiene la cantidad necesaria de segunda destilación de aceite usado de motor para realizar mezclas combustibles para su posterior caracterización. Una

vez obtenidos los resultados de la caracterización, se determina la mezcla con la concentración más adecuada para realizar los ensayos de torque y potencia en el vehículo.

Posteriormente, se efectúa el análisis de gases de escape producto de la combustión en el motor diésel y se realiza dos pruebas de opacidad con equipos diferentes con el fin de comparar las mediciones.

Al final de todas las pruebas de se obtienen datos referentes a la variación de torque y potencia y emisiones contaminantes al utilizar la mezcla propuesta.

1.4. Justificación e importancia.

Los puntos presentados a continuación son los pilares por los cuales se ha decidido desarrollar la presente investigación, a fin de innovar y fomentar el uso de combustibles alternativos en los motores de encendido por compresión.

La producción de combustibles alternativos en el país no ha tenido una acogida de gran importancia. Si bien existen estudios y proyectos en ejecución, la elaboración de biodiesel y otros combustibles se continúa realizando de modo artesanal sin ninguna producción industrial o a escala masiva.

El constante desarrollo de tecnologías aplicadas a los motores de combustión interna orientadas a cumplir con nuevos estándares y regulaciones ambientales fomentan la investigación de nuevos carburantes amigables con la naturaleza, por lo cual se ha identificado la necesidad de experimentar con una mezcla que pueda adaptarse a las necesidades del entorno nacional, donde los motores diésel son usados como generadores de energía e impulsores del transporte pesado.

Son evidentes los problemas de contaminación en el mundo entero, y el Ecuador al ser un país mega diverso, debe garantizar la existencia de su biodiversidad y el bienestar de sus habitantes. Por lo cual es necesario promover

soluciones tangibles y concretas a los problemas ambientales que se generen producto de la disposición de lubricantes y el uso de combustibles.

Es necesario dar una respuesta contundente a la producción, uso y beneficio de combustibles alternativos con el objetivo de aprovechar los recursos energéticos del país y reusar aquellos desechos cuyo potencial energético es desperdiciado en la actualidad.

El aceite lubricante de motor Kendall 5W-30 full sintético, al estar compuesto de varios elementos con alto potencial energético es una sustancia que se puede combustionar para la producción de energía. De esta manera se pretende dar una utilidad alternativa a un producto que en la actualidad se desperdicia.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivos General

- Obtener la mezcla combustible diésel con aceites lubricantes reciclados del automóvil en concentraciones de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 30 % para determinar los parámetros característicos del motor.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información científica sobre el procedimiento para la purificación de los aceites usados, disposición del aceite usado en el Ecuador y de los parámetros característicos del motor.
- Recolectar aceite usado de origen sintético de una sola fuente.
- Realizar los procedimientos de filtración y destilación del aceite usado.
- Preparar las mezclas a las concentraciones volumétricas planteadas con diésel adquirido en una estación de servicio.
- Caracterizar las mezclas obtenidas mediante pruebas físico-químicas.

- Determinar la mezcla más apropiada para su uso en el motor diésel en base a la caracterización realizada.
- Obtener las curvas características de torque y potencia del motor diésel en el banco de pruebas dinamométricas usando la mezcla más apta para el motor.
- Analizar la concentración de los componentes de los gases de escape producto de la combustión con el uso de un analizador de gases.
- Realizar la medición de opacidad usando el combustible propuesto.
- Tabular los datos obtenidos y validar el uso de la mezcla combustible.

1.6. Metas

- Incrementar el número de cetano en dos puntos de la mezcla combustible respecto al diésel N2.
- Aumentar en 5 % el poder calorífico de la mezcla combustible respecto al diésel N2.
- Incrementar la potencia máxima del motor en 2 % al usar la mezcla combustible.
- Evitar el aumento superior al 10 % en la concentración de emisiones contaminantes de CO₂.
- Reducir el consumo de combustible en 5 % con el uso de la mezcla propuesta.

1.7. Hipótesis

La mezcla combustible diésel con aceites lubricantes reciclados del automóvil permitirá mejorar los parámetros característicos en el motor ciclo diésel en un 5%.

1.8. Variables de Investigación

1.8.1. Variable Independiente

Mezcla Combustible diésel a partir de aceite lubricante usado.

1.8.2. Variable Dependiente

Parámetros térmicos y mecánicos del motor diésel

1.8.3. Operacionalización de variables

a. Variable independiente.

Mezcla Combustible diésel a partir de aceite lubricante usado.

Tabla 1.

Variable Independiente: Mezcla combustible diésel a partir del aceite lubricante

Concepto	Categorías	indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
Mezcla Combustible que se obtiene a través del Re-refinamiento del aceite lubricante usado para ser utilizado en motores de ciclo diésel.	Propiedades Físicas	Volumen	m^3	Medición	Probetas graduadas Balanzas de precisión
		Densidad API a 60F	kg/m^3 m^3	Medición	Laboratorio UCE
		Punto de inflamación	$^{\circ}C$	Medición	Laboratorio UCE
	Propiedades Químicas	Viscosidad cinemática a 38.5C	mm^2/S	Medición	Laboratorio UCE
		Número de Cetano	0	Medición	Laboratorio UCE
		Punto de Nube	$^{\circ}C$	Medición	Laboratorio UCE
		Agua por destilación	%V	Medición	Laboratorio UCE
		Contenido de Azufre	mg/kg	Medición	Laboratorio UCE
		Temperatura de dilatación	$^{\circ}C$	Medición	Laboratorio UCE
		Poder calorífico neto	MJ/Kg	Medición	Laboratorio UCE
Sedimento básico agua	%V	Medición	Laboratorio UCE		

b. Variable dependiente.

Parámetros térmicos y mecánicos del motor diésel

Tabla 2.

Variable dependiente: Parámetros térmicos y mecánicos del motor diésel

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Son las características térmicas y mecánicas que provee el aceite de frituras para producir trabajo y energía cuando se utiliza como biocombustible en motores diésel.	Potencial para producir trabajo y energía	Rendimiento térmico	%	Cálculo	Ecuaciones
		Rendimiento mecánico	%	Cálculo	Ecuaciones
		Rendimiento indicado	%	Cálculo	Ecuaciones
		Poder calorífico	Calorías / gr	Cálculo	Prueba de Laboratorio
	Parámetros característicos del motor de combustión	Potencia	HP	Cálculo Medición	Pruebas de Laboratorio Cálculo
		Torque	<i>lbf.ft</i>	Cálculo Medición	Pruebas de Laboratorio Cálculo
		Velocidad	<i>RPM</i>	Medición	Pruebas de Laboratorio
		Presión media efectiva	<i>Kgf/cm²</i>	Cálculo	Cálculo
		Consumo específico de combustible	<i>l/Km</i>	Medición Cálculos	Pruebas de Laboratorio Ecuaciones
		Emisiones producto de la combustión en el motor	Concentración de CO	% vol	Medición
Concentración de CO ₂	% vol		Medición	Pruebas de laboratorio	
Concentración de HC	Ppm vol		Medición	Pruebas de laboratorio	

CONTINÚA



Concentración de O ₂	% vol	Medición	Pruebas de laboratorio
Concentración de NO _x	Ppm vol	Medición	Pruebas de laboratorio
Opacidad	m^{-1}	Medición Cálculo	Pruebas de Laboratorio
Opacidad	%	Medición	Pruebas de Laboratorio

1.9. Metodología

En el proyecto se usaron los siguientes métodos de investigación: deductivo, inductivo, analítico, sintético, experimental, matemático y el método de la medición.

1.9.1. Método Inductivo.

El método deductivo es un método científico que considera que la conclusión se halla implícita dentro las premisas. Esto quiere decir que las conclusiones son una consecuencia necesaria de las mismas: en este caso las premisas son la mezcla combustible y los parámetros térmicos y característicos del motor diésel serie WL del vehículo Mazda BT-50, los cuales permitieron concluir si la mezcla es apta para el uso en motores ciclo Diésel.

1.9.2. Método Deductivo

Es aquel que parte de datos generales aceptados como válidos para llegar a una conclusión de tipo particular. En este caso, al utilizar un combustible mejorado los motores tienen un mejor desempeño. Por lo tanto, las curvas de torque y potencia, de un motor ciclo diésel WL del vehículo Mazda BT-50, aumentan si se usa una mezcla combustible diésel con mejores propiedades químicas.

1.9.3. Método analítico.

Es aquel que distingue las partes de un todo y procede a la revisión ordenada de cada uno de sus elementos por separado. Este método se utiliza para analizar qué mezcla combustible es la ideal. Para ello es necesario observar cada uno de los diferentes factores resultantes de la caracterización en el laboratorio, los cuales permitieron decidir qué mezcla es la más adecuada.

1.9.4. Método sintético.

Una vez decidida la mezcla combustible correcta se procedió a realizar las pruebas de torque, potencia, análisis de gases de escape y opacidad. Todos estos factores analizados uno por uno permitirán inferir sobre todo el cuerpo de la investigación.

1.9.5. Método experimental.

El método más adecuado, debido a que, al no existir un método definido para el re-refinamiento del aceite lubricante usado sin el uso de reactivos químicos, ha sido imperativo experimentar y definir un procedimiento que permita desarrollar la investigación.

1.9.6. Método matemático

Gracias a este método se usarán ecuaciones y fórmulas matemáticas inherentes a la investigación, mediante las cuales se definirán valores exactos de rendimiento y consumo de combustible.

1.9.7. Método de la medición

Este método resulta de la atribución de valores numéricos a las diferentes mediciones que se realicen, en la investigación se definió las mediciones a

realizarse y las herramientas mecánicas y tecnológicas que se usarán en cada caso.

1.9.8. Método de observación directa.

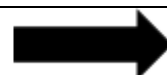
El método permite realizar una verificación visual de las variaciones que se produzcan en las diferentes mediciones, como ejemplo, observar el color de las mezclas combustibles a diferentes concentraciones y determinar la miscibilidad de las mismas; así también como las variaciones que se presentaran en las emisiones al incrementar las revoluciones del motor ciclo diésel.

Tabla 3.

Análisis de la metodología

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Inductivo	El método deductivo es un método científico que considera que la conclusión se halla implícita dentro las premisas. Esto quiere decir que las conclusiones son una consecuencia necesaria de las mismas: en este caso las premisas son la mezcla combustible y los parámetros térmicos y característicos del motor diésel serie WL del vehículo Mazda BT-50, los cuales permitirán concluir si la mezcla es apta para el uso en motores ciclo Diésel.	<ul style="list-style-type: none"> • Analizador de gases AGS866. • Vehículo a Diésel. • Opacímetro. • Dinamómetro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio Autotrónica. • Laboratorio CICCEV.
Deductivo	Es aquel que parte de datos generales aceptados como válidos para llegar a una conclusión de tipo particular. En este caso, al utilizar un combustible mejorado los motores tienen un mejor desempeño. Por lo tanto, las curvas de torque y potencia, de un motor ciclo diésel WL del vehículo Mazda BT-50, aumentarán si se usa una mezcla combustible diésel con mejores propiedades químicas.	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización mezclas combustibles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Química ESPE.

CONTINÚA



Analítico	Es aquel que distingue las partes de un todo y procede a la revisión ordenada de cada uno de sus elementos por separado. Este método se utiliza para analizar qué mezcla combustible es la ideal. Para ello es necesario observar cada uno de los diferentes factores resultantes de la caracterización en el laboratorio, los cuales permitirán decidir qué mezcla es la más adecuada.	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización mezclas combustibles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Química ESPE.
Sintético	Una vez decidida la mezcla combustible correcta se procedió a realizar las pruebas de torque, potencia, análisis de gases de escape y opacidad. Todos estos factores analizados uno por uno permitirán inferir sobre todo el cuerpo de la investigación.	<ul style="list-style-type: none"> • Analizador de gases AGS866. • Vehículo a Diésel. • Opacímetro. • Dinamómetro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio Autotrónica. • Laboratorio CICCEV.
Experimental	El método más adecuado, debido a que, al no existir un método definido para el refinamiento del aceite lubricante usado sin el uso de reactivos químicos, ha sido imperativo experimentar y definir un procedimiento que permita desarrollar la investigación.	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de destilación simple. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Química ESPE.
Matemático	Gracias a este método se usarán ecuaciones y fórmulas matemáticas inherentes a la investigación, mediante las cuales se definirán valores exactos de rendimiento, consumo y demás factores que no han podido ser determinados mediante la observación.	<ul style="list-style-type: none"> • Laptop. • Compilación de ejercicios resueltos del Ing. Luis Mena. 	
Medición	Gracias a este método se usarán ecuaciones y fórmulas matemáticas inherentes a la investigación, mediante las cuales se definirán valores exactos de rendimiento, consumo y demás factores que no han podido ser determinados mediante la observación.	<ul style="list-style-type: none"> • Analizador de gases AGS866. • Vehículo a Diésel. • Opacímetro. • Dinamómetro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio Autotrónica. • Laboratorio CICCEV.

CONTINÚA



Observación directa	<p>El método permite realizar una verificación visual de las variaciones que se produzcan en las diferentes mediciones, como ejemplo, observar el color de las mezclas combustibles a diferentes concentraciones y determinar la miscibilidad de las mismas; así también como las variaciones que se presentaran en las emisiones al incrementar las revoluciones del motor ciclo diésel.</p>	<ul style="list-style-type: none">• Analizador de gases AGS866.• Vehículo a Diésel.• Opacímetro.• Dinamómetro.	<ul style="list-style-type: none">• Laboratorio Autotrónica.• Laboratorio CICCEV.
---------------------	---	---	--

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Combustible para motores diésel

Vallejos (2015) afirma.

“El combustible utilizado en los motores diésel, es un producto derivado del petróleo. Se obtiene en un proceso menos complicado que el utilizado en la obtención de la gasolina, mediante la destilación de petróleo bruto entre los 150° y los 300° C. Este combustible es un aceite ligero y que se emplea en motores diésel que alcanzan un 5000 rpm”. (p. 132)

De acuerdo a Sanz (2011).

“El motor Diésel consume generalmente gasóleo: un carburante que se obtiene por destilación del petróleo, tiene una densidad de 0,81 a 0,85 kg/L a 15 C y un poder calorífico de unos 42.000 kJ/kg (10.000 kcal/kg). Su facilidad de inflamación se mide por el índice de cetano, cuanto mayor es este, menor será la temperatura necesaria para inflamarlo. La viscosidad de este combustible aumenta con las bajas temperaturas. Cuando se superan los 25 °C bajo cero, presenta dificultades a su paso por filtros y conductos del sistema de inyección, haciéndose muy difícil el arranque en frío” (p. 52).

En el Ecuador la norma NTE INEN 1489:99 establece los requisitos que debe cumplir el diésel que se comercializa en el país. El diésel No. 2 de bajo contenido de azufre, es el combustible utilizado para uso industrial y para motores de combustión interna de auto ignición.

Tabla 4.**Requisitos del diésel No. 2 de bajo contenido de azufre.**

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1 047
Agua y sedimento	% en volumen	-	0,05	NTE INEN 1 494
Residuo carbonoso sobre el 10 % del residuo de la destilación	% en peso	-	0,15	NTE INEN 1 491
Cenizas	% en peso	-	0,01	NTE INEN 1 492
Temperatura de destilación del 90 %	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37,8 °C	cSt	2,5	6,0	NTE INEN 810
Azufre	% en peso	-	0,05	NTE INEN 1 490
Corrosión a la lámina de cobre	-	-	No. 3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45		NTE INEN 1 495

Fuente: Norma NTE INEN 1489:99

2.2. Mezclas combustibles

2.2.1 Caracterización de sustancias

De acuerdo al diccionario de la Lengua Española vigesimotercera edición publicada en octubre de 2014, caracterizar es “*determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás.*”

2.2.2 Propiedades de las sustancias

a. Densidad API

Los grados API de una sustancia se calculan matemáticamente usando la siguiente expresión:

$$API = \frac{141,5}{\text{densidad específica}} - 131,5$$

Ecuación 1. Densidad API

Mott, Brito & Cárdenas (2006) afirman. “Los grados API de los aceites varían de 10 a 80. La mayoría de los aceites están entre el rango de 20 a 70 API, que corresponden a gravedades específicas de 0,93 a 0,70. Los aceites pesados tienen los valores más bajos de grados API” (p. 18).

b. Punto de inflamación

Tormos (2005) define al punto de inflamación.

“Temperatura mínima a la cual el aceite desprende la cantidad suficiente de vapores como para inflamarse momentáneamente al aplicarle una llama. El punto de inflamación de un aceite usado sube con el tiempo de utilización debido a la evaporación de las partes volátiles del mismo. La reducción del punto de inflamación se puede producir en los aceites de motores por la presencia de combustible, siendo más acusada esta disminución en aceites con poco contenido de compuestos volátiles” (p. 18).

c. Viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática se expresa en función de la viscosidad dinámica y la densidad de un fluido:

$$v = \frac{\textit{viscosidad dinámica}}{\textit{densidad}}$$

Ecuación 2. Viscosidad cinemática

De acuerdo a Díaz (2006):

“La viscosidad de un fluido indica el movimiento relativo entre sus moléculas, debido a la fricción o rozamiento entre las mismas y se puede definir como la propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. Esta propiedad es responsable por la resistencia a la deformación de los fluidos.” (p. 11).

d. Índice de cetano calculado

De acuerdo al Reglamento Técnico Centroamericano establecido en el año 2006.

“Representa una estimación del número de cetano (calidad de ignición) para combustibles destilados calculas a partir de la densidad o la gravedad API y de la temperatura de destilación al obtener el 50 de fracción de volumen (% volumen) de evaporado, por medio de la ecuación o nomograma.”

“Número de cetano: es la fracción de volumen (% volumen) de n-hexadecano (cetano) en mezcla con 1-metil-naftaleno, que produce un combustible con la misma calidad de ignición que una muestra. Físicamente el número de cetano representa el retardo de la ignición, es decir un mayor número de cetano implica un menor retardo de la auto ignición del combustible.”

e. Punto de nube

De acuerdo al Método estandarizado de medición del punto de nube para productos del petróleo ASTM.

“En los productos del petróleo y combustibles biodiesel, la temperatura de una muestra de líquido cuando el grupo más pequeño observable de cristales de hidrocarbón ocurre primero ante condiciones prescritas de enfriamiento.”

Rand (2003) afirma.

“Todos los combustibles diésel contienen ceras parafínicas disueltas. A medida que la temperatura del combustible decrece, también lo hace la solubilidad de la cera en el combustible. En algún punto los cristales de cera comenzarán a precipitarse. Si la suficiente cera se precipita los cristales pueden bloquear el flujo de combustible a través de filtros, pantallas, y otros pasajes restringidos en el sistema de combustible. La temperatura a la cual ocurre la precipitación de la cera depende del origen, tipo, refinamiento y rango de ebullición del combustible. A medida que el punto de nube sube, la adaptabilidad del combustible a operaciones en bajas temperaturas disminuye.” (p. 71).

f. Agua por destilación

De acuerdo al Método estandarizado para el agua por destilación en el petróleo crudo ASTM afirma. “La norma ASTM D4006 se ocupa de la determinación de agua en el crudo por destilación.”

g. Contenido de azufre

El método de medición estandarizado para el azufre en el petróleo y productos del petróleo por Espectrometría fluorescente de rayos X ASTM de energía dispersiva indica.

“ASTM D 4294: Este método cubre la determinación de azufre total en petróleo y productos de petróleo que están en una sola fase y cada líquido a condiciones normales, licuables con calor moderado o soluble en solventes de hidrocarburos. Estos materiales pueden incluir diésel, combustible de aviación, kerosene, otros

aceites destilados, nafta, aceite residual, aceite lubricante básico, aceite hidráulico, aceite crudo, gasolina (todas sin plomo), gasohol, biodiésel y productos del petróleo similares.”

h. Poder calorífico neto

Morraja & Miranda (2009) afirman.

“El poder calorífico es la energía desprendida por una unidad de combustible en su combustión. Esta energía pasa a los gases de la combustión, también llamados humos, que contienen los productos de la combustión, entre ellos vapor de agua.

Al utilizar los productos de la combustión, es decir, los humos, como agentes para el aprovechamiento del calor, en realidad lo que se está haciendo es hacer uso de su entalpía. Durante estos procesos, los humos se enfrían y, por tanto, su entalpía disminuye. En algunas aplicaciones, este enfriamiento puede llegar a provocar la condensación de calor adicional que se suma a la energía inicialmente cedida por el combustible. Así se distinguen dos clases de poder calorífico, el poder calorífico inferior que es el propio del combustible y se designa por las siglas PCI, y el poder calorífico superior que es el del combustible aumentado con el calor latente de condensación de agua de los humos y que se desgana por PCS.” (p. 273).

i. Sedimento básico y agua (% BSW)

El Método de prueba estándar para agua y sedimentos en petróleo crudo por el método de centrifugación ASTM indica.

“El contenido de agua y sedimentos de petróleo crudo es significativo porque puede provocar la corrosión de los equipos y los problemas de procesamiento. La determinación de contenido de agua y los sedimentos es requerida para medir con

precisión los volúmenes reales netos de petróleo en ventas, los impuestos, los intercambios y las transferencias de custodia.”

ASTM D4007: “Este método de ensayo describe la determinación en laboratorio de agua y sedimentos en petróleo crudo por medio del procedimiento de centrifugación. Este método de centrifugación para la determinación de agua y sedimentos en petróleo crudo no es del todo satisfactorio. La cantidad de agua detectada es casi siempre inferior al contenido real de agua.”

2.3. Obtención de las mezclas combustibles

2.3.1 Destilación simple

Guarnizo, Martínez & Villamizar (2008) afirman.

“La destilación es un proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. La separación llega a ser posible debido a que en la fase de vapor existe mayor proporción del líquido más volátil (menor punto de ebullición) que del menos volátil. Cuando este vapor es condensado, se obtendrá nuevamente una mezcla, pero será más rica en el componente de menor punto de ebullición” (p. 48).

Diwekar (2012) afirma.

“La destilación simple, también llamada destilación diferencial, es el ejemplo más elemental de destilación. En este proceso el vapor es removido del recipiente durante cada intervalo de tiempo y se condensa en el condensador. El vapor es más rico en el componente más volátil que en el líquido que permanece en el fondo del recipiente. Con el tiempo, el líquido sobrante en el recipiente se vuelve más débil en concentración del componente más volátil, mientras que la destilación

recolectada en el condensador se enriquece progresivamente con el componente más volátil” (p. 1,2).

2.3.2 Aceite lubricante

Haycock, Caines & Hillier (2004) afirman. “Un lubricante puede definirse como una sustancia introducida entre dos superficies en movimiento relativo para reducir la fricción entre ellas.” (p. 1).

De acuerdo a Calleja (2015). “Los lubricantes están compuestos por aceites de base y posteriormente se les añaden una serie de aditivos que mejoran sus propiedades y las mantienen en el tiempo” (p. 3).

2.3.4 Formulación química de los aceites lubricantes

Hange, Mane, Modi, & More (2013) afirman.

“Los aceites lubricantes son extensiones de las estructuras básicas de hidrocarburos, que contienen desde 20 a 70 átomos de carbono por molécula, a menudo en un arreglo extremadamente complejo de cadenas rectas, cadenas adyacentes y cinco y seis estructuras de anillos” (p. 1).

Las moléculas del aceite lubricante pueden dividirse en tres agrupaciones:

- i) **Parafínicas** : Predominan las cadenas rectas, tienden a ser cerosas, tienen un alto punto de fluencia y buena estabilidad de temperatura y viscosidad.
- ii) **Naftas** : Tienden a tener un punto de fluencia bajo. Por esta razón son usados como aceites de refrigeración. Son altamente carcinogénicos y son poco usados en el aceite de motor.
- iii) **Aromáticas** : Cadenas rectas con estructuras de anillos.

2.3.5 Componentes contaminantes del aceite lubricante usado

Hange et al. afirma. “Un aceite lubricante se vuelve inadecuado para su uso en el motor principalmente por dos razones: acumulación de contaminantes en el aceite y cambios químicos en el mismo” (p. 3).

De acuerdo a Yash (2015), los componentes que se encuentran el aceite usado se clasifican en los siguientes grupos.

Productos de la combustión

- Agua : El combustible se quema en CO_2 y H_2O . Esta agua normalmente pasa a sale a través del escape cuando el motor está caliente, pero cuando está frío puede fluir y colectarse en el aceite. Esto provoca la formación de lodos y óxidos.
- Hollín y carbón: Provocan que el aceite se vuelva negro. Se forman como resultado de una combustión incompleta, especialmente durante el calentamiento con una mezcla rica.
- Plomo: tetraetilo de plomo, proviene del desgaste de rodamientos y es posible que se encuentre en un rango entre 2 – 12 ppm.
- Combustible : gasolina o diésel sin quemar pueden pasar al lubricante, especialmente durante el encendido.

Abrasivos

- Polvo : pasa al motor a través del filtro de aire. Está compuesto de pequeñas partículas de silicato.
- Desgaste de metal : hierro, cobre y aluminio liberado debido al desgaste normal del motor.

Productos químicos

- Productos de la oxidación : algunas moléculas del aceite, a elevadas temperaturas, se oxidan para formar ácidos orgánicos complejos y corrosivos.

2.4. Curvas características del motor

Sánchez (2013) afirma. “Las curvas características de un motor definen sus prestaciones en los distintos estados de funcionamiento, por ejemplo, a distintas cargas, revoluciones, etc.” (p. 53)

Sanz (2013) establece.

“Las curvas características del motor se confeccionan a partir de datos obtenidos mediante pruebas en el freno dinamométrico. Representan los valores que toman la potencia, el par motor y el consumo específico a medida que varía el número de revoluciones. La prueba se realiza con motor a plena carga, el régimen decrece progresivamente al aumentar la resistencia del freno dinamométrico.” (p. 85)

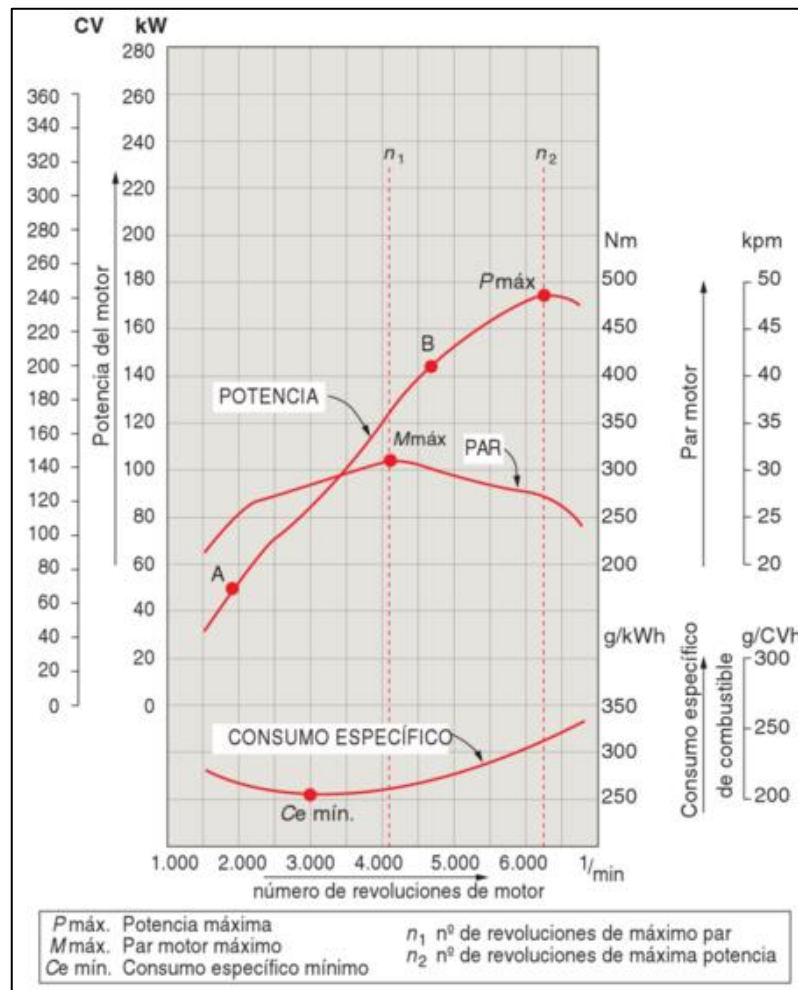


Figura 2. Curvas características del motor.

Fuente: (Sanz, 2011)

2.4.1. Torque

De acuerdo a González (2015):

“El par será el resultado de multiplicar la fuerza media que sufre la superficie del pistón debida a la presión de los gases en combustión dentro del cilindro y a las fuerzas alternativas de inercia, por el radio de la manivela o distancia r desde el centro de la muñequilla al centro del giro.” (p. 42)

Sanzs (2011) afirma que la curva del par motor “representa la evolución del par en función del régimen del motor. Normalmente viene expresado en Nm y a veces en mkg ” (p. 74).

2.4.2. Potencia

De acuerdo a Sánchez (2013). “La potencia es el trabajo o la energía desarrollada en la unidad de tiempo. En el caso de un motor, la potencia se desarrolla durante el desplazamiento del vehículo y a diferentes estados de carga a una cierta velocidad.”

Sanz (2011) afirma que la curva de potencia “muestra los valores que va tomando la potencia en función del número de revoluciones. Se expresa en kW o en CV .” (p. 85).

2.4.3. Consumo de combustible

De acuerdo a Sánchez (2013).

“La curva de consumo específico es una de las características identificativas del motor, la cual, referida a los valores de potencia y régimen de funcionamiento obtenido en los ensayos sobre el banco de pruebas, determina el régimen económico dentro del cual se obtiene el funcionamiento óptimo del motor”. (p. 53)

2.4.4. Opacidad

De acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2 202:2000: Determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diésel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre; se establecen los siguientes conceptos relacionados a la medición de la opacidad de las emisiones en motores diésel.

Opacidad como el grado de reducción de la intensidad de la luz visible que ocasiona una sustancia al pasar aquella a través de ésta.

El opacímetro es el instrumento que opera sobre el principio de reducción de la intensidad de la luz que se utiliza para determinar el porcentaje de opacidad.

El porcentaje de opacidad es una unidad de medición que determina el grado de opacidad de las emisiones de escape de una fuente móvil a diésel.

2.5. Parámetros característicos del motor

2.5.1. Ciclo diésel

De acuerdo a Cengel & Boles (2012). 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 se inyecta dentro de este aire caliente. Por lo tanto, en los motores diésel la bujía y el carburador son sustituidos por un inyector de combustible.” (p. 504)

Bennet (2010) afirma. “Un ciclo diésel completo requiere girar el motor 360 grados, por lo tanto, un ciclo diésel completo se traduce en 720 grados de giro del cigüeñal.” (p. 41).

Los cuatro procesos que componen el ciclo de cuatro tiempos son:

- Admisión
- Compresión
- Expansión (trabajo)
- Escape

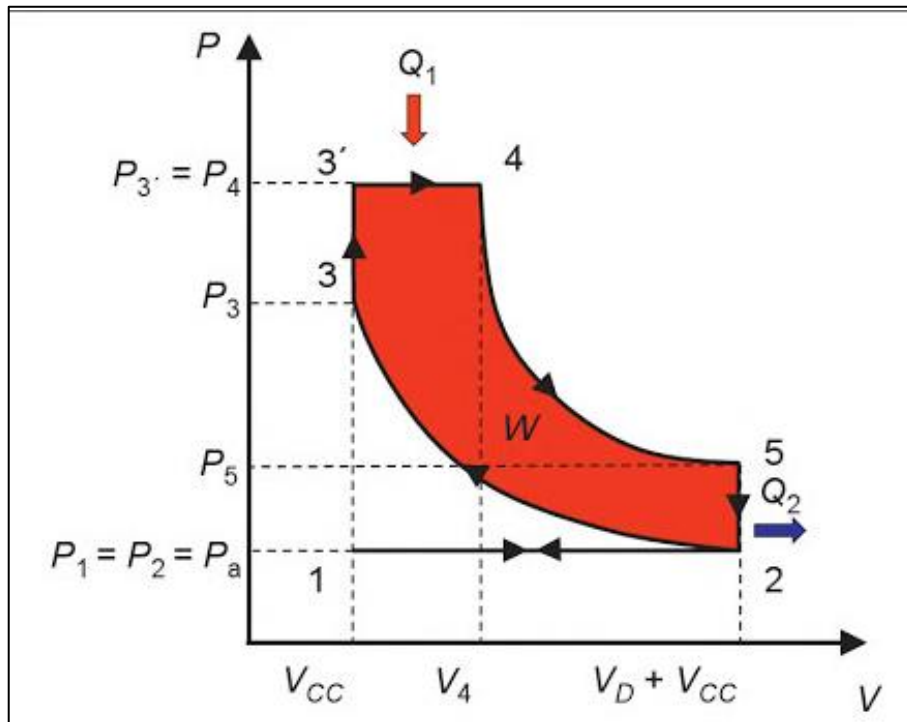


Figura 3. Diagrama presión volumen de operación del ciclo Diésel

Fuente: González (2015)

2.5.2. Ecuaciones termodinámicas del ciclo diésel

a. Calor suministrado

$$Q_1 = C_p(T_b - T_c)$$

Ecuación 3. Calor suministrado

Q_1 = Calor suministrado

C_p = Calor específico a presión constante

T_b = Temperatura de combustión

T_c = Temperatura de compresión

b. Calor extraído

$$Q_2 = C_v(T_d - T_a)$$

Ecuación 4. Calor extraído

Q_2 = Calor extraído

C_v = Calor específico a volumen constante

T_d = Temperatura de escape

T_a = Temperatura de admisión

c. Relación de compresión

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c}$$

Ecuación 5. Relación de compresión

ε = Relación de compresión

V_a = Volumen del cilindro

V_c = Volumen de la cámara de combustión

d. Grado de expansión previa

$$\rho = \frac{P_z}{P_c} = \frac{T_z}{T_c}$$

Ecuación 6. Grado de expansión previa

ρ = Grado de expansión previa

P_z = Presión de combustión

P_c = Presión de compresión

e. Eficiencia térmica

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{C_v(T_b - T_b)}{C_p(T_z - T_c)}$$

Ecuación 7. Eficiencia térmica

C_p = Calor específico a presión constante ($1,005 \frac{KJ}{Kg \cdot K}$)

C_v = Calor específico a volumen constante ($0,719 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ K}$)

T_b = Temperatura de combustión

T_c = Temperatura de compresión

f. Presión media del ciclo

$$P_{mc} = \frac{P_a \varepsilon^k (\rho - 1)}{(\varepsilon - 1)(k - 1)} \eta_t$$

Ecuación 8. Presión media del ciclo I

P_{mc} = Presión media del ciclo

T = Torque

i = Número de cilindros

k = Coeficiente adiabático (1,41)

$$P_{mc} = \frac{T}{V_h} * i$$

Ecuación 9. Presión media del ciclo II

P_{mc} = Presión media del ciclo

T = Torque

V_h = cilindrada unitara

i = Número de cilindros

$$\eta_t = P_{mc} \frac{(\varepsilon - 1)(k - 1)}{P_a \varepsilon^k (\rho - 1)}$$

Ecuación 10. Rendimiento térmico I

η_t = rendimiento térmico

P_{mc} = Presión media del ciclo

ε = Relación de compresión

k = Coeficiente adiabático (1,41)

ρ = Grado de expansión previa

$$\eta_t = \frac{\text{Potencia al freno}}{Q * mc} * 100 \%$$

Ecuación 11. Rendimiento térmico II

η_t = rendimiento térmico

mc = consumo másico de combustible

Q = calor suministrado

g. Consumo másico de combustible

$$mc = \frac{\text{Potencia al freno}}{Q * nt}$$

Ecuación 12. Consumo másico de combustible

mc = consumo másico de combustible

Q = calor suministrado

nt = rendimiento térmico

h. Consumo específico de combustible

$$CEC = \frac{mc}{Ne}$$

Ecuación 13. Consumo específico de combustible

CEC = consumo específico de combustible

mc = consumo másico de combustible

Ne = potencia específica

i. Rendimiento mecánico

$$\eta_m = \frac{Ne}{Ni} = \frac{Ni - Nm}{Ni} = 1 - \frac{Nm}{Ni}$$

Ecuación 14. Rendimiento mecánico

η_m = rendimiento mecánico

Ne = potencia específica

Ni = potencia indicada

j. Rendimiento indicado

$$\eta_i = \frac{\eta_t}{\eta_m}$$

Ecuación 15. Rendimiento indicado

η_i = rendimiento indicado

η_t = rendimiento térmico

η_m = rendimiento mecánico

CAPÍTULO III

3. OBTENCIÓN DE LA MEZCLA Y CARACTERIZACIÓN

3.1. Introducción

El capítulo 3 presenta la forma de recolección del aceite sintético usado en la investigación, el procedimiento de filtración del aceite de motor para la eliminación de las partículas más grandes producto del desgaste del motor, la realización de las mezclas y la caracterización de las mismas.

Se recolectó aceite de motor usado de un vehículo Toyota Yaris de uso particular. La filtración se hizo por medio de un dispositivo constituido por embudos y papel filtro. Para la obtención de la mezcla se realizaron dos procesos consecutivos de destilación simple para la purificación del aceite y su posterior mezclado con diésel N2 de bajo contenido de azufre a las concentraciones propuestas. La caracterización de las propiedades físicas y químicas más importantes para la investigación se llevaron a cabo en un laboratorio certificado.

3.2. Métodos

3.2.1 Métodos y Técnicas usadas para la obtención

a. Filtración

De acuerdo a Tormos (2012), “el principal objetivo que se persigue con la filtración es la eliminación de las partículas abrasivas presentes en los fluidos”. (p.18).

Los aceites usados para lubricación en el motor se contaminan debido a diferentes fuentes como son:

- Polvo de la atmósfera

- Agua producto de la condensación dentro del motor
- Abrasivos de los componentes del motor.

Así como también debido al propio desgaste de la sustancia lubricante provocada por:

- Productos de la combustión
- Combustible
- Metales del motor, hierro, cobre, plomo, etc.

Debido a que la mezcla en cuestión se propone como combustible, es necesario limpiar la sustancia de cualquier elemento abrasivo para evitar daños en el motor.

b. Destilación simple

Para la producción del aceite base es necesario eliminar los componentes añadidos a los lubricantes para mejorar sus propiedades, tales como parafinas, naftas y aromáticos. También se debe evaporar el agua contenida en el aceite usado de motor.

La destilación es un proceso que permite separar sustancias con diferentes puntos de ebullición que se encuentran en mezcla.

Se realiza la deshidratación del aceite a presión atmosférica, ya que el agua es la sustancia con punto de ebullición más bajo. A continuación, se eleva progresivamente la temperatura hasta obtener el producto al final del tubo de condensación.

c. Métodos y Técnicas usadas para la caracterización

Los métodos y técnicas usadas por el laboratorio para la caracterización de las muestras se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 5.

Métodos de ensayo para productos del petróleo

PRODUCTO O MATERIAL A ENSAYAR	ENSAYO, TÉCNICA Y RANGOS	MÉTODO DE ENSAYO
Diesel2	Destilación ASTM a presión atmosférica, 160 – 360°C 0 – 100ml	PNE/DPEC/P/ASTMD86 Método de referencia: ASTMD86-12. Ed. 2012
	Índice de Cetano, Cálculo, 40 – 60	PNE/DPEC/P/ASTM D287 Método de Referencia: ASTM D287-12b Ed. 2012 ASTM D976-06, Ed. 2011
Hidrocarburos Derivados de petróleo	Punto de inflamación, Copa abierta Cleveland, 86,6 – 224,1°C	PNE/DPEC/P/ASTM D92 Método de referencia: ASTM D92. Ed. 2012
	Punto de inflamación, Copa cerrada Pensky Martens, 42,6 – 214,2 °C	PNE/DPEC/P/ASTM D93 Método de referencia: ASTM D93-13 Ed. 2013
Hidrocarburos Derivados de petróleo	Viscosidad cinemática, líquidos claros, Capilar de vidrio, a 37,8 °C (100 °F), 1,15 – 4,66 cSt (mm ² /s)	PNE/DPEC/P/ASTM D445 Método de Referencia: ASTM D445-12b, Ed. 2012
	Viscosidad cinemática, líquidos oscuros, Capilar de vidrio, a 50 °C (122 °F), 22,15 – 940,30cSt (mm ² /s)	PNE/DPEC/P/ASTM D445 Método de Referencia: ASTM D445-12b. Ed. 2006
	Índice de Viscosidad, Calculado, 2,00 – 940,30 cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D2270 Método de Referencia: ASTM D-2270-10, Ed. 2010
	Corrosión a la Lámina de Cobre, Cualitativo, 1 a – 4 c	PNE/DPEC/P/ASTM D130 Método de Referencia: ASTM D130-12 Ed. 2012

Fuente: Certificado de Acreditación N°: OAE LE 2C 06-010

3.3. Recolección

El aceite usado de motor representa un potencial riesgo ambiental y para la salud humana debido a los componentes químicos que posee: una variedad de aditivos e impurezas y residuos generados por el proceso de combustión. De acuerdo a Vest (2010). “La primera y mejor opción para el depósito de aceite usado, es devolver el aceite al productor.” (p. 1).

Vest (2010) afirma. “Algunos de estos componentes son venenosos o cancerígenos como el Pb o PAH (hidrocarburos poli-aromáticos). A veces, los aceites de transformadores contienen PCBs (bifenilos policlorados) que también son altamente cancerígenos.” (p. 1).

Se recolectó 11 litros de aceite usado de motor provenientes de un vehículo de uso particular marca Toyota Yaris modelo 2004, al que se le realizaron cambios después de 5.000 km de recorrido. El aceite usado corresponde a la marca Kendall de origen sintético.

El aceite se almacenó en los mismos recipientes originales del fabricante y fueron sellados para evitar el contacto con contaminantes del ambiente.

3.3.1. Fuentes de aceite usado

La fuente más grande del aceite usado en los países en vías de desarrollo, son con mucho, los aceites de lubricación de vehículos motorizados, motores de combustión y cajas de velocidades. Una cantidad menor proviene de sistemas hidráulicos, transformadores y otras aplicaciones industriales.

Debido al aumento del parque automotor en la provincia de Cotopaxi, la cantidad de aceite usado se genera en talleres pequeños e instalaciones privadas es considerable, por lo que, es la primera opción para obtener la materia prima para la investigación.

3.3.2. Disposición para el aceite usado en la provincia de Cotopaxi

El aceite usado se utiliza para una variedad de aplicaciones en la provincia de Cotopaxi. La mayoría de ellas no se encuentran contempladas en el Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA) de la Constitución de la República del Ecuador (2008); otras son inaceptables desde el punto de vista ambiental. Estas serán analizadas a continuación:

- a. La mejor opción para la disposición del aceite usado, es devolver el aceite al productor. Particularmente esto solo ocurre los países industrializados, existen planes de recolección para el aceite usado, pero estos no se cumplen debido al nulo control por parte de los gobiernos seccionales. El fabricante del aceite es el que sabe mejor qué debe hacerse con el aceite de desecho y que puede asegurar un método apropiado desde el punto de vista ambiental para el depósito o reciclaje.
- b. El más común en la provincia, es aquel como combustible en hornos de cemento y cal, en enladrillados u hornos metalúrgicos, es ambientalmente aceptable. Debido a la alta temperatura de combustión y las propiedades de absorción del cemento, cal y arcilla, los hidrocarburos peligrosos se destruyen mientras que los metales pesados, azufre y cloruros son absorbidos. La empresa más grande en la provincia que realiza este proceso es Novacero S.A. La empresa que realiza este proceso de recolección de las provincias céntricas del país es Cemento Chimborazo.
- c. Así también, el aceite usado de motores se utiliza con frecuencia como combustible o lubricación para diferentes aplicaciones en pequeña escala. Como son lubricante para moldes de ladrillos y bloques, hornos de ladrillo y cal, y vehículos que producen asfalto, el aceite se utiliza también en panaderías tradicionales en los cuales se mezcla a menudo con aceite negro o aceite de alquitrán para usarse como combustible.

- d. Existen también algunos reportes de que el aceite de desecho en la provincia es usado para la producción de grasa. Se estima que aún existen unidades locales de fabricación de jabón tradicional a pequeña escala. Sin embargo, esto es una forma informal de trabajo, por lo que, no existen datos oficiales.
- e. En las zonas rurales de la provincia, donde los linderos de las propiedades son marcados con postes de madera estas se encuentran en peligro de ser afectadas por termitas y otros insectos que comen madera, el aceite usado de motores se utiliza como un agente protector de madera.

El aceite usado que se encuentra en los talleres y mecánicas se encuentra contaminado con otras sustancias como: Aceite de transmisiones, líquido de frenos, refrigerante, ácido de baterías de plomo, entre otras.

Todo esto representa una condición agravante para salud en el caso de ser usado para la investigación, por lo tanto, se decidió usar aceite lubricante usado de una sola fuente. En este caso la fuente es el vehículo de uso personal de uno de los autores, de esta manera se asegura que la materia prima no esté contaminada por otros agentes químicos que pueden poner en riesgo la salud humana.

3.4. Equipos

Al trabajar en lugares los cuales están expuestos a los aceites combustibles existe un gran riesgo de que exista contaminación a través de la piel si se está en contacto con estos materiales sin usar equipo de protección adecuada tales como guantes, botas, o ropa de trabajo de cuerpo entero u otra ropa protectora.

El vapor (la fase gaseosa que es altamente tóxica) del aceite combustible puede atravesar el suelo y entrar a los sótanos de casas o edificios por lo que es necesario también, usar protección contra los vapores orgánicos producto de la destilación.

Para evitar riesgo de contaminación y exposición a vapores combustibles se han tomado las precauciones adecuadas a fin de precautelar la salud humana.

3.4.1. Equipo de protección

- a. Mascarilla para vapores orgánicos
- b. Gafas de protección
- c. Guantes de Protección
- d. Mandil
- e. Calzado de seguridad

3.4.2. Equipo de destilación simple

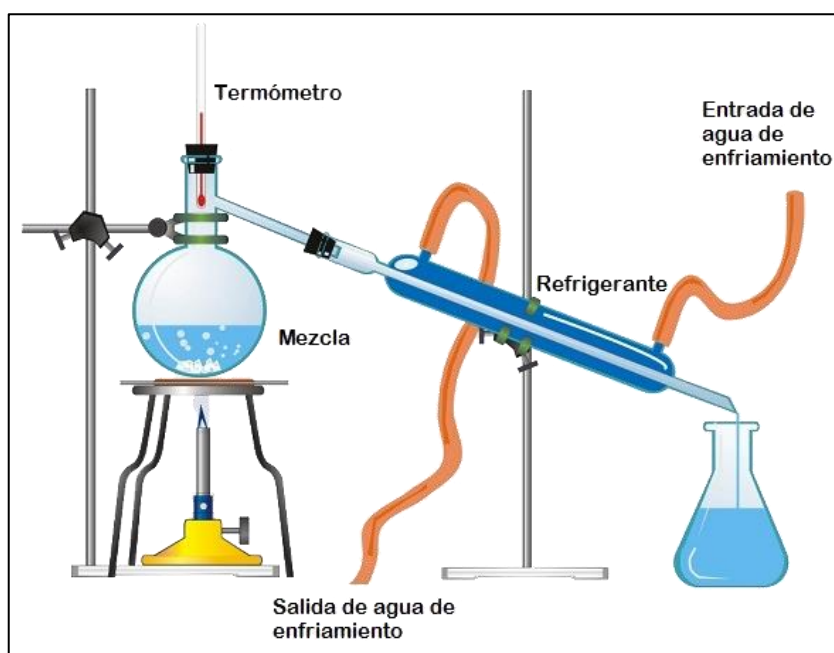


Figura 4. Equipo de destilación simple

Fuente: materiayenergiamak.com

La figura 4 muestra el equipo de destilación simple utilizado y sus componentes.

- a. Columna de destilación
- b. Globo de 500ml

- c. Cabeza de destilación
- d. Probeta de 200ml
- e. Pinzas para calor
- f. Nuez de laboratorio
- g. Base o soporte
- h. Mechero
- i. Guantes para Calor
- j. Termómetro 350 °C
- k. Tubos de refrigeración

3.5. Obtención

En la Tabla 6 se muestra las propiedades del aceite usado para la investigación.

Tabla 6.

Propiedades típicas del Aceite Kendall GT1 con base sintética

SAE Grade	5W-20	5W-30	10W-30	10W-40
Specific Gravity @ 60°F	0.860	0.861	0.870	0.870
Density, lbs-gal @ 60°F	7.16	7.17	7.24	7.25
Color, ASTM D1500	3.5	3.0	3.5	3.0
Flash Point (COC), °C (°F)	218 (424)	216 (421)	229 (444)	227 (441)
Pour Point, °C (°F)	<-45 (<-49)	<-40 (<-40)	<-37 (<-35)	<-34 (<-29)
Viscosity, Kinematic				
cSt @ 40°C	47.0	67.0	68.0	106
cSt @ 100°C	8.7	11.3	10.9	15.4
Viscosity Index	151	162	152	150
Cold Cranking Viscosity, cP	5,400	5,900	4,300	6,400
@ (°C)	(-30)	(-30)	(-25)	(-25)
High-Temp-High-Shear Viscosity, cP	2.6	3.2	3.2	3.9
@ 150°C				
Sulfated Ash, ASTM D874, wt %	1.0	1.0	1.0	1.0
Total Base Number (TBN), ASTM D2896	8.6	8.6	8.6	8.6
Phosphorus, wt %	0.077	0.077	0.077	0.077
Titanium, wt %	0.010	0.010	0.010	0.010
Zinc, wt %	0.085	0.085	0.085	0.085

Fuente: Kendall Motor Oil. <http://w3.conocophillips.com/netmsds/default.htm>

Nota: El aceite usado es de viscosidad SAE 5W30 y se encuentra resaltado.

3.5.1. Procedimiento de filtración de aceite

El aceite recuperado de una sola fuente asegura una pureza superior, sin embargo, es necesario una filtración para eliminar residuos sólidos. El procedimiento para la filtración es el siguiente:

a. Recolectar aceite usado de motor

Aceite usado de motor de una sola fuente. Este aceite está tipificado por la SAE como 5W30 con una base sintética. El cambio de este aceite se realizó a los 5.000 km. y fue almacenado en los envases originales (Figura 5).



Figura 5. Aceite usado Kendall recolectado

b. Filtración del aceite mediante papel filtro

Para filtrar el aceite fue necesario usar embudos (Figura 6) ya que su forma cónica permite colocar el elemento filtrante y aprovechar al máximo el volumen de aceite.



Figura 6. Embudos para filtración de aceite con papel filtro

c. Proceso de filtración

En cada embudo caben 500 ml de aceite, por lo que se puede contabilizar dos litros de aceite en cada filtración. La Figura 7 muestra el dispositivo construido para la filtración del aceite usado.



Figura 7. Filtración de aceite usado

d. Observar los residuos

Una vez vertido el aceite se espera el tiempo necesario hasta que termine la filtración. El proceso tarda alrededor de 45 minutos por cada 2 litros. Para la obtención de 8 litros se emplearon tres horas.



Figura 8. Residuos de la filtración de aceite usado.

En la Figura 8 se muestran los residuos que quedan después de la filtración del aceite usado.

3.5.2 Procedimiento de destilación simple

a. Armado del equipo de destilación

Es necesario colocar el equipo de destilación en la orientación correcta para evitar quemaduras debido a las altas temperaturas. Se debe utilizar refrigeración para el proceso. Para las juntas se usó cinta teflón para evitar fugas. El conjunto armado del equipo de destilación simple se observa en la Figura 9.



Figura 9. Equipo de destilación armado

b. Verter el aceite en el matraz

Por medio de un embudo se vertió el aceite dentro del matraz de 500 ml. Con la ayuda de un vaso de precipitación graduado se vertió la cantidad correcta de aceite (Figura 10).



Figura 10. Preparación para la destilación del aceite usado.

c. Encender el mechero

Una vez asegurado todo el sistema, revisado el nivel del tanque de gas y verificado la altura del globo con el aceite se procede a encender el mechero para empezar a calentar el sistema como indica la Figura 11.



Figura 11. Mechero encendido

d. Evaporar el agua

El siguiente paso es elevar la temperatura del aceite hasta los 100°C durante cinco minutos a presión atmosférica para evaporar por completo el contenido de agua dentro del aceite (Figura 12).



Figura 12. Matraz de 500 ml con aceite usado de motor

e. Destilar aceite

Una vez realizada la eliminación del agua se procede con la destilación del aceite, aumentando la temperatura hasta los 250°C. A este nivel la temperatura se estabiliza y empieza a condensarse el aceite destilado en el tubo de refrigeración.

f. Recolección del aceite (Primera destilación)

Una vez estabilizada la temperatura, el aceite destilado empieza a transcurrir a través del tubo y es depositado en la probeta al final del tubo (Figura 13).



Figura 13. Producto de la primera destilación

g. Segunda destilación

Para realizar la segunda destilación es necesario calentar el producto de la primera destilación en un balón hasta una temperatura de 340°C durante aproximadamente 20 minutos. Se obtiene el producto de la segunda destilación en una probeta graduada (Figura 14).

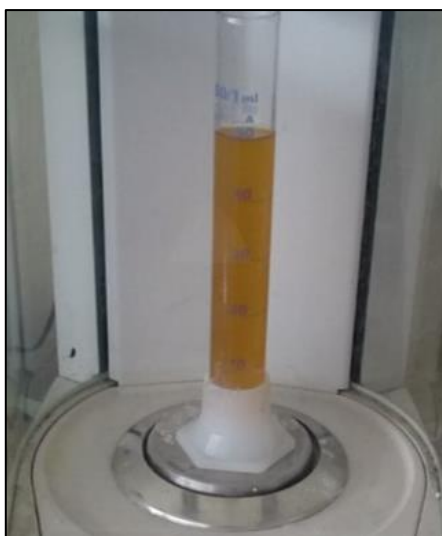


Figura 14. Producto de la segunda destilación

h. Tercera destilación

Por motivos de experimentación de densidades se repitió el proceso de destilación una tercera vez, en este caso la sustancia que se elevó hasta los 340°C fue el producto de la segunda destilación (Figura 15).



Figura 15. Producto de la tercera destilación

3.5.3 Análisis comparativo de densidades

a. Primera destilación

Se evidencia que el aceite destilado tiene un color rojizo (ver Figura 13). Por lo que se decidió realizar una segunda destilación siguiendo el mismo procedimiento usando como materia prima la primera destilación.

b. Segunda destilación

Como se observa en la Figura 14 la segunda destilación tiene un color más claro, lo que sugiere que el aceite mejora su pureza con respecto al número de destilaciones que se le realiza. Tomando esto en cuenta se realizó una tercera destilación para comparar densidades.

c. Tercera destilación

La Figura 15 muestra que una tercera destilación mejora la tonalidad de la sustancia. El proceso es demorado con un rendimiento bajo por lo que se procedió a realizar una comparación de densidades entre muestras de tercera y segunda destilación.

d. Comparación de densidades



a)

b)

Figura 16. Medición de la densidad.

a) segunda destilación y b) tercera destilación de aceite usado.

Como se observa en la Figura 16 las densidades de tercera y segunda destilación tienen una variación mínima por lo que se concluye que no es necesario realizar una tercera destilación.

e. Resumen de las densidades obtenidas

Tabla 7.

Análisis comparativo de las densidades de segunda y tercera destilación.

	Segunda destilación	Tercera destilación	Diferencia	Variación [%]
Densidad [g/cm ³]	0,797184	0,794288	0,0029	0,36

3.5.4. Observaciones al final del proceso de destilación y comparación de densidades

- La primera destilación, tuvo un rendimiento del 68,95%.
- La segunda destilación, tuvo un rendimiento del 72,49%.
- El aceite contiene una cantidad considerable de agua por lo que se recomienda evaporar el agua al inicio del proceso.
- Se recomienda armar un solo tubo de destilación debido a que la pérdida de materia prima en el trayecto es considerable.
- Se determinó realizar dos destilaciones consecutivas debido a que el cambio en la densidad entre las muestras de segunda y tercera destilación es imperceptible (0,36 %).
- El cambio de color del aceite obtenido al cabo de 12 horas de ser destilado es notable, así como se muestra en la siguiente figura.

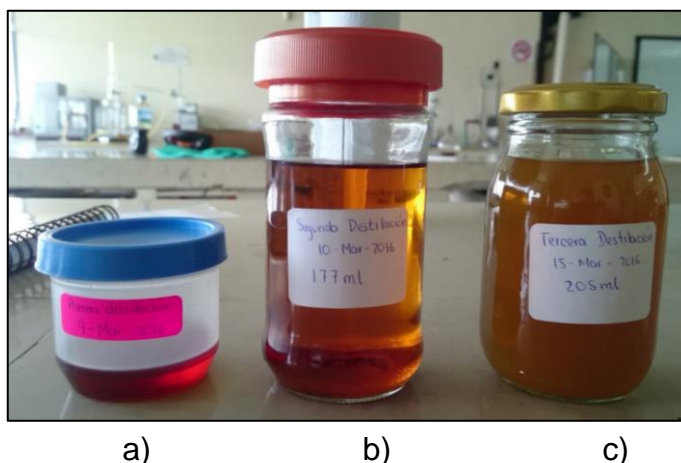


Figura 17. Comparación destilaciones.

a) primera destilación, b) segunda destilación y c) tercera destilación.

3.5.5. Comprobación de la miscibilidad

Antes de preparar las mezclas se debe garantizar que las dos sustancias, el diésel y el aceite destilado, son miscibles. Razón por la cual se desarrolló una prueba que permitirá determinar si es posible realizar este proceso.

Se utilizaron las dos concentraciones de los extremos (5 % y 30 %). Si en estos dos puntos críticos de mezcla no existe problema de miscibilidad, se sobreentiende que las concentraciones contenidas entre estos dos puntos también resultaran exitosas.

a. Filtración del aceite destilado

Para garantizar la fiabilidad de los resultados de esta prueba se ha procedido a filtrarlo usando papel filtro (Figura 18).



Figura 18. Filtración del aceite destilado

b. Medición de la cantidad de aceite a ser usado

Para medir la cantidad exacta del aceite a ser usado se usó una pipeta como indica la Figura 19.



Figura 19. Pipeta para medición de volumen de aceite destilado

c. Mezcla al 5%

La cantidad a prepararse fue de 100ml por lo que se usó 5ml de aceite y 95ml de diésel puro (Figura 20).



Figura 20. Preparación de la mezcla al 5 %

d. Mezcla al 30%

La cantidad a prepararse fue de 100ml por lo que se usó 30ml de aceite y 70ml de diésel puro (Figura 21).



Figura 21. Preparación de la mezcla al 30 %

e. Método de mezclado

Se realizó agitación para mezclar las dos sustancias (Figura 22).



Figura 22. Agitación de la mezcla

f. Resultado Final

Se obtuvo una sustancia homogénea, por lo que se comprueba la miscibilidad de los componentes de la mezcla (Figura 23).



Figura 23. Mezclas combustibles al 5 % y 30 %.

g. Resultado al cabo de dos horas

Para descartar posibles divisiones de las dos sustancias se dejó reposar la mezcla por dos horas. Como se observa en la Figura 24 la mezcla se mantiene homogénea.



Figura 24. Mezclas al 5 % y 30 % después de dos horas de reposo

h. Mezclas al cabo de 24 horas.

Como condición final para dar un juicio se dejó reposar a la mezcla por 24 horas. Como se observa en la Figura 25 la mezcla se mantiene homogénea.



Figura 25. Mezclas al 5 % y 30 % después de 24 horas de reposo

3.6. Resultados

3.6.1. Resultados del proceso de primera destilación

Para la obtención fue necesario repetir simultáneamente el proceso de destilación, por lo que se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 8.

Primera obtención de primera destilación

N	Volumen de aceite usado	Volumen de aceite obtenido	Rendimiento	Hora inicio	Hora fin	Tiempo
	ml	ml	[%]			[horas]
1	250	190	0,760	9:31	10:36	1:05
2	250	152	0,608	9:46	10:42	0:56
3	300	208	0,693	10:54	11:45	0:51
4	300	204	0,680	10:52	11:46	0:54
5	300	196	0,653	11:34	12:50	1:16
6	300	202	0,673	12:05	12:52	0:47
7	300	199	0,663	12:40	13:02	0:22
8	300	212	0,707	14:50	15:33	0:43
9	300	202	0,673	15:30	16:05	0:35

Tabla 9.

Segunda obtención de primera destilación

N	Volumen de aceite usado	Volumen de aceite obtenido	Rendimiento	Hora inicio	Hora fin	Tiempo
	ml	ml	[%]			[horas]
1	300	206	0,687	9:41	10:37	0:56
2	300	216	0,720	9:41	10:44	1:03
3	300	204	0,680	10:55	11:39	0:44
4	300	204	0,680	10:59	11:40	0:41
5	300	200	0,667	11:59	12:53	0:54
6	300	202	0,673	12:01	12:53	0:52
7	300	208	0,693	14:13	15:00	0:47
8	300	210	0,700	14:14	15:00	0:46
9	300	202	0,673	15:16	16:16	1:00
10	300	202	0,673	15:17	16:16	0:59

Tabla 10.

Tercera obtención de primera destilación

N	Volumen de aceite usado	Volumen de aceite obtenido	Rendimiento	Hora inicio	Hora fin	Tiempo
	ml	ml	[%]			[horas]
1	250	174	0,696	11:17	12:19	1:02
2	300	202	0,673	12:32	13:43	1:11
3	300	200	0,611	14:40	16:20	1:40

Tabla 11.

Cuarta obtención de primera destilación

N	Volumen de aceite usado	Volumen de aceite obtenido	Rendimiento	Hora inicio	Hora fin	Tiempo
	ml	ml	[%]			[horas]
1	300	214	0,713	9:58	10:53	0:55
2	300	215	0,717	11:33	12:05	0:32
3	300	212	0,707	12:31	13:01	0:30

Tabla 12.

Quinta obtención de primera destilación

N	Volumen de aceite usado	Volumen de aceite obtenido	Rendimiento	Hora inicio	Hora fin	Tiempo
	ml	ml	[%]			[horas]
1	300	212	0,707	10:10	11:02	0:52
2	300	213	0,710	11:23	12:15	0:52
3	300	204	0,680	12:26	13:12	0:46

Tabla 13.

Resumen primera destilación

Fecha	Volumen de aceite usado [ml]	Volumen de aceite obtenido [ml]	Tiempo [min]	Rendimiento [%]
3/21/2016	2600	1765	0:49	67,88
3/23/2016	3000	2054	0:52	68,47
3/28/2016	2400	1678	0:43	69,92
3/29/2016	850	576	1:17	67,76
3/30/2016	900	641	0:39	71,22
3/31/2016	900	629	0:50	69,89
Total	10650	7343	Promedio	68,95

a. Observaciones de la primera destilación

- El proceso de la primera destilación posee un rendimiento promedio del 68,95% lo cual es beneficioso debido a que se extrae una cantidad razonable de aceite.
- El color del aceite varia con forme pasan las horas después de la destilación.
- Fue necesario adquirir frascos de plástico para el almacenamiento de lo primera destilación.
- El olor que emana el aceite destilado es desagradable, se recomienda usar la máscara de seguridad en todo momento.

3.6.2. Resultados del proceso de segunda destilación

Para realizar la segunda destilación se repite el mismo procedimiento con la variación de que la materia prima en este caso no es el aceite usado de lubricación si no la primera destilación obtenida en el proceso anterior.

Tabla 14.

Primera obtención de segunda destilación

N	Volumen de aceite usado	Volumen de aceite obtenido	Rendimiento	Hora inicio	Hora fin	Tiempo empleado
	ml	ml	[%]			[horas]
1	300	214	0,713	9:25	10:21	0:56
2	300	219	0,730	9:25	10:23	0:58
3	300	212	0,707	10:39	11:13	0:34
4	300	214	0,713	10:39	11:16	0:37
5	300	212	0,707	11:25	11:53	0:28
6	250	199	0,796	11:25	12:00	0:35

Tabla 15.

Segunda obtención de segunda destilación

N	Volumen de aceite usado	Volumen de aceite obtenido	Rendimiento	Hora inicio	Hora fin	Tiempo empleado
	ml	ml	[%]			[horas]
1	300	222	0,740	10:15	11:05	0:50
2	300	220	0,733	11:23	12:07	0:44
3	300	210	0,700	12:15	13:04	0:49
4	300	215	0,717	13:11	13:53	0:42

Tabla 16.

Tercera obtención de segunda destilación

N	Volumen de aceite usado	Volumen de aceite obtenido	Rendimiento	Hora inicio	Hora fin	Tiempo empleado
	ml	ml	[%]			[horas]
1	300	216	0,720	9:23	10:09	0:46
2	300	213	0,710	9:25	10:07	0:42
3	300	206	0,687	10:17	10:56	0:39
4	300	219	0,730	10:20	10:59	0:39
5	300	222	0,740	11:09	11:51	0:42
6	300	218	0,727	11:10	11:42	0:32
7	300	219	0,730	11:58	12:26	0:28
8	300	223	0,743	11:58	12:32	0:34
9	300	213	0,710	12:41	13:14	0:33
10	300	220	0,733	12:41	13:16	0:35
11	300	222	0,740	14:02	14:58	0:56
12	300	214	0,713	14:02	15:03	1:01
13	300	222	0,740	15:04	15:44	0:40
14	300	216	0,720	15:09	15:36	0:27
15	330	242	0,733	15:53	16:25	0:32

Tabla 17.

Resumen segunda destilación

Fecha	Volumen de aceite usado [ml]	Volumen de aceite obtenido [ml]	Tiempo [horas]	Rendimiento [%]
3/22/2016	1750	1270	1:33	72,57
3/31/2016	1200	867	0:35	72,25
4/4/2016	4530	3285	2:44	72,52
Total	7480	5422	Promedio	72,49

a. Observaciones de la segunda destilación

- El proceso de segunda destilación posee un rendimiento promedio del 72,49%.
- El color del aceite varia con forme pasan las horas después de la destilación.

3.6.3. Caracterización de las mezclas

a. Selección de las concentraciones a caracterizar

Se consideran las concentraciones al 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y se remplaza la mezcla de 30 % por una mezcla de 25 % de concentración de aceite usado.

Se escogió una mezcla al 25 % para poder pronosticar en forma lineal el comportamiento general de las siguientes concentraciones y evitar perder la secuencia en la concentración de las mezclas.

b. Selección del laboratorio para caracterización

Para realizar la caracterización fue necesario acudir a laboratorios acreditados que ofrezcan confiabilidad en las mediciones.

El laboratorio a ser usado para estas pruebas fue el Laboratorio del Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación, DPEC, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Central del Ecuador ubicado en el edificio de la Facultad de Ingeniería Química, Calle Ritter s/n y Bolivia, tras el Colegio Juan Montalvo en la ciudad de Quito.

Este laboratorio está acreditado por la SAE (Servicio De Acreditación Ecuatoriano) con certificado N°: OAE LE 2C 06-010 con Resolución N°: SAE DE 15-300 y posee una vigencia a partir de: 2015-06-12.

Los requisitos que deben poseer las mezclas son los siguientes:

- Usar un contenedor apropiado.
- La cantidad necesaria es un litro de cada muestra.

Tomando en cuenta lo anterior se procede a realizar las mezclas.

c. Preparación de las mezclas

Una vez comprobada la miscibilidad de las dos sustancias se procedió a filtrar la cantidad de aceite destilado necesario para realizar las mezclas finales que se caracterizarán. Se utilizaron envases plásticos para el almacenamiento de las sustancias (Figura 26).



Figura 26. Recipientes para el almacenamiento de muestras para el laboratorio

Una vez realizado esto se procedió a realizar las mezclas considerando las concentraciones propuestas y a colocarlas en los envases correspondientes con su respectiva etiqueta de identificación (Figura 27).



Figura 27. Mezclas combustibles listas para caracterización

En la Tabla 18 se muestra la cantidad de aceite usado requerido para la preparación de las mezclas para su caracterización.

Tabla 18.

Aceite usado para las mezclas volumétricas

Concentración	Mezcla requerida	Segunda destilación requerida	Diésel requerido
%	ml	ml	ml
5	1000	50	950
10	1000	100	900
15	1000	150	850
20	1000	200	800
25	1000	250	750
Total		750	4250

d. Resultados de la caracterización

En la Tabla 19 se muestra la tabulación de los resultados de la caracterización de las muestras combustibles y el diésel puro.

Tabla 19.

Resultados de la caracterización de las mezclas

Determinación	Unidades	Método	Resultados					
			A	B	C	D	E	F
			5%	10%	15%	20%	25%	0%
Densidad API a 60 ° F	° API	PNE/DPEC/ASTM D-287	35,8	36	36,2	36,4	36,5	35,4
Punto de inflamación	° C	PNE/DPEC/ASTM D-93	63,3	53,2	52,2	48,2	47,7	62,2
Viscosidad cinemática a 37,8 ° C	cSt	PNE/DPEC/ASTM D-445	4,05	4,08	4,18	4,28	4,79	4,04
Índice de cetano calculado	-	PNE/DPEC/ASTM D-287	53	54	54	55	55	52
Punto de nube	° C	ASTM D-2500	-6	-6	-6	-6	-6	-3
Agua por destilación	% V	PNE/DPEC/ASTM D-4006	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Azufre	% P	PNE/DPEC/P/MI04 Ref. ASTM D-4294	0,034	0,0363	0,0399	0,0458	0,0482	0,0308
Poder calorífico neto	MJ/kg	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	42,7984	42,7984	42,7984	42,8449	42,8449	42,7819
Sedimento básico y agua (%BSW)	% V	ASTM D-4007	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025

Fuente: Informe de resultados emitido por el Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación de la Universidad Central del Ecuador.

e. Criterio de selección de mezcla ideal

La Tabla 19 indica dos mezclas adecuadas, la de 10% y de 15% debido a que las dos mezclas poseen un índice de cetano apropiado. Además, su viscosidad no varía drásticamente.

Otro de los parámetros a tomarse en cuenta es la cantidad de azufre, la cual está dentro del rango en las dos mezclas nombradas, así mismo el poder calorífico en ambas muestras es el ideal para ser usado en el motor.

Considerando lo expuesto, cualquiera de estas dos mezclas es apropiada para el uso en el motor diésel y se espera que no presente problemas en el ciclo de funcionamiento.

Analizando el factor de optimización de recursos reciclados, el aceite destilado de lubricación de motor, se opta por usar la mezcla correspondiente al 15% para los ensayos de torque y potencia, prueba de consumo de combustible y medición de gases de escape y opacidad.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA Y ANÁLISIS DE GASES DE ESCAPE

4.1. Introducción

En el capítulo 4 están descritos los equipos y procedimientos utilizados para los ensayos de torque y potencia, medición del consumo de combustible y análisis de los componentes de los gases de escape y opacidad del motor WL del vehículo Mazda BT-50 cuando se utiliza la mezcla propuesta al 15 % y el diésel N2.

Los ensayos de torque y potencia se realizaron en el banco de pruebas LPS 3000 marca MAHA. El consumo de combustible se midió utilizando un recipiente graduado. Para el análisis de gases de escape se empleó un analizador de gases marca Brain Bee ASG-688. La opacidad se midió utilizando dos opacímetros marca Brain Bee y Cartek.

4.2. Equipos

Para realizar los ensayos de torque y potencia se recurrió al dinamómetro marca MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co KG disponible en la Escuela Politécnica del Ecuador, específicamente en el laboratorio CCICEV. Así mismo para realizar la prueba de opacidad se utilizó un opacímetro marca Cartek perteneciente al laboratorio de Mecánica de Patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga y para realizar los análisis de mediciones de gases se usó un equipo marca Brain Bee AGS-688.

4.2.1. Dinamómetro de chasis (LPS 3000).



Figura 28. Central de comunicación del dinamómetro LPS 3000

Fuente: maha.es/consola-de-comunicaciones-lps-3000

El equipo pertenece al Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV), de la Escuela Politécnica Nacional, en la ciudad de Quito. Consta de los siguientes elementos:

- Juego de rodillos
- Freno de corrientes parásitas (Eddy Current Brake).
- Chasis del dinamómetro.
- Cardán.
- Bomba hidráulica.
- Cilindros hidráulicos.
- Ventiladores.
- Sistema de adquisición de datos (tarjetas electrónicas).

Dispone de elementos complementarios como:

- Pupitre de comunicaciones.
- Pantalla LCD, CPU y teclado.

- Control remoto.
- Caja de interfaces con sensores.
- Ventilador refrigerante.
- Opacímetro (MDO2 LON).
- Analizador de gases (MGT5).
- Extractor de gases.

El LPS 3000 se usa para la ejecución de ensayos dinámicos en vehículos livianos y camiones con motores de ciclo Otto o ciclo Diésel. Y junto con la electrónica reguladora correspondiente, también es posible el ensayo de vehículos de doble tracción.

El LPS 3000 dispone además de una caja de interfaces que sirve para registrar el número de revoluciones del motor, datos del medio ambiente, datos OBD, temperaturas, presiones y señales analógicas. Este proceso de registro se realiza mediante módulos, para lo cual se emplea diferentes sensores.



Figura 29. Rodillos del dinamómetro LPS 3000

Pruebas a obtenerse

El Dinamómetro de chasis LPS 3000 (Figura 29) permite simular condiciones de marcha definidas, y su representación gráfica mediante curvas, además se puede efectuar mediciones del consumo de combustible, análisis dinámico para

determinar la opacidad, etc. El equipo permite realizar pruebas las cuales se describen a continuación:

- **Simulación de Carga**

La prueba de simulación de carga permite obtener diferentes condiciones de carga las cuales facilitan un diagnóstico concreto del motor o permiten determinar potencia ascensional de un vehículo. Puede simularse diferentes condiciones de carga como por ejemplo fuerza de tracción constante, una velocidad constante, un número de rpm constante o una simulación de marcha. Cada una de estas pruebas se las puede realizar mediante ciclos de manejo en donde se aplican cargas y velocidades variables en todo momento, ciclos tales como IM240, además se puede asignar perfiles para realizar mediciones de consumo de combustible, análisis de opacidad, análisis de gases, etc.

- **Potencia del Motor**

Mediante esta prueba se puede obtener el par motor y la potencia de un vehículo (medición continua y discreta) de acuerdo a características del mismo.

- **Medición de Elasticidad**

En esta prueba se puede comprobar la elasticidad del motor, un motor elástico es aquel que sea capaz de entregar la potencia en forma gradual y progresiva, sin picos ni caídas de par motor a lo largo del régimen útil de rpm del mismo.

- **Control del Tacómetro**

La prueba permite comprobar el tacómetro del vehículo a su vez se puede determinar la velocidad.

- **Adaptación de Carga**

En esta prueba se puede determinar los coeficientes de resistencia al avance de los rodillos del LPS 3000, el coeficiente puede realizarse según las normas ECE

o SAE J2264, se debe definir las características el vehículo en la base de datos de vehículos antes de llevar a cabo la prueba.

4.2.2. Analizador de gases ASG-688

Para realizar los análisis de gases se usó el vehículo Mazda BT-50 diesel facilitado por la Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga. Los parámetros medidos son: emisiones de CO₂, O₂, CO, HC, NO_x y material particulado emitido, en forma estática.

Se realizaron las mediciones usando un analizador de gases ASG-688 (Figura 30) perteneciente a la Secretaria del Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.



Figura 30. Analizador de gases AGS-688

Fuente: Manual del usuario. Brain Bee AGS-688. (2010).

a. Características del equipo

De acuerdo al manual de usuario del equipo, el analizador posee las siguientes características:

- Aspiración gas de medición 4 l/min.
- Prueba de estanqueidad semiautomática con cierre manual de la sonda extracción gas
- Control del flujo automático
- Control sensor O₂ acabado automático
- Compensación automática de la presión Ambiente de 85,0 a 106,0 kPa
- Calibración automática (con bombona gas muestra)
- Autocero automático
- Tiempo de calentamiento de 20 °C 10 minutos máx.
- Tiempo de respuesta CO, CO₂ y HC < 15 segundos
- Entrada temperatura aceite por PT100, o vía radio wireless.
- Conexiones seriales: PC USB B (slave mode); PC RS 232 (9600, 8, N, 1); PC en red RS485 (9600, 8, N, 1)
- Visualización mediante 6 displays LCD con 4 dígitos alfanuméricos con retro-iluminación
- Impresora térmica con 24 columnas integrada
- Alimentación 12 Voltios DC típica (11 ÷ 15 VDC)
- Consumo 1.5A DC (3 A en impresión)
- Temperatura de funcionamiento de 5 a 40 °C
- Humedad relativa 10 ÷ 95 %
- Temperatura de almacenamiento de -20 a 60 °C
- Dimensiones 434X190X291 mm.

Tabla 20.

Campos de medición del analizador de gases AGS-688

Parámetro	Escala	Unidad	Resolución
CO	0 - 9.99	% vol.	0.01
CO ₂	0 - 19.9	% vol.	0.1
HC	0 - 9999	PPM	1
O ₂	0 - 25	%	0.01
NO _x	0 - 5000	PPM	10
Lambda	0.5 - 5.0	-	0.001
Revoluciones motor	300 - 9990	min-1	10
Temperatura Aceite	20 - 150	° C	1

Fuente: Manual del usuario. Brain Bee AGS-688. (2010)

b. Componentes del equipo

En la Figura 31 se muestra la interfaz con la que el usuario del equipo analizador de gases debe interactuar para realizar las mediciones.

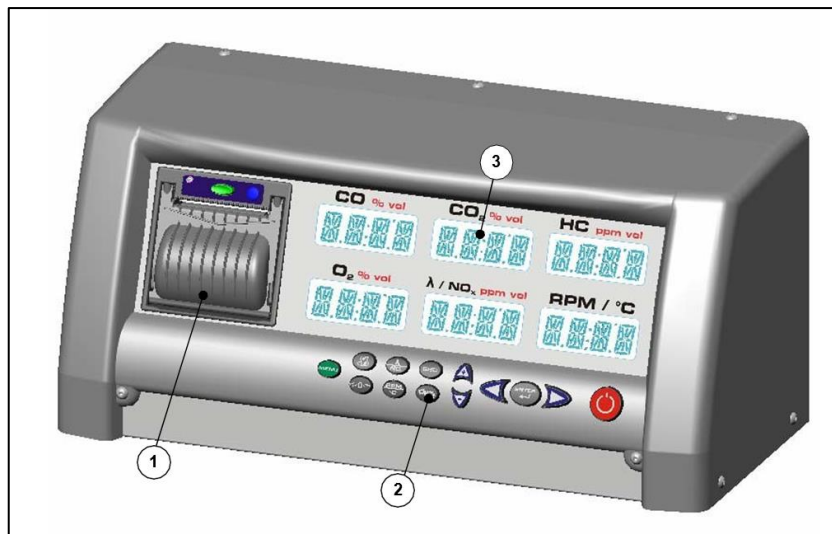


Figura 31. Interfaz del usuario del analizador de gases

Fuente: Manual del usuario. Brain Bee AGS-688. 2010.

Tabla 21.

Componentes Brain Bee AGS-688

Núm.	Componente
1	IMPRESORA TÉRMICA 24 COLUMNAS
2	PANEL DE CONTROL 13 BOTONES
3	DISPLAYS LCD RETRO-ILUMINADOS

Fuente: Manual del usuario. Brain Bee AGS-688. 2010.

El AGS-688 necesita de algunos componentes para la medición de los componentes de las emisiones del motor (Figura 32).

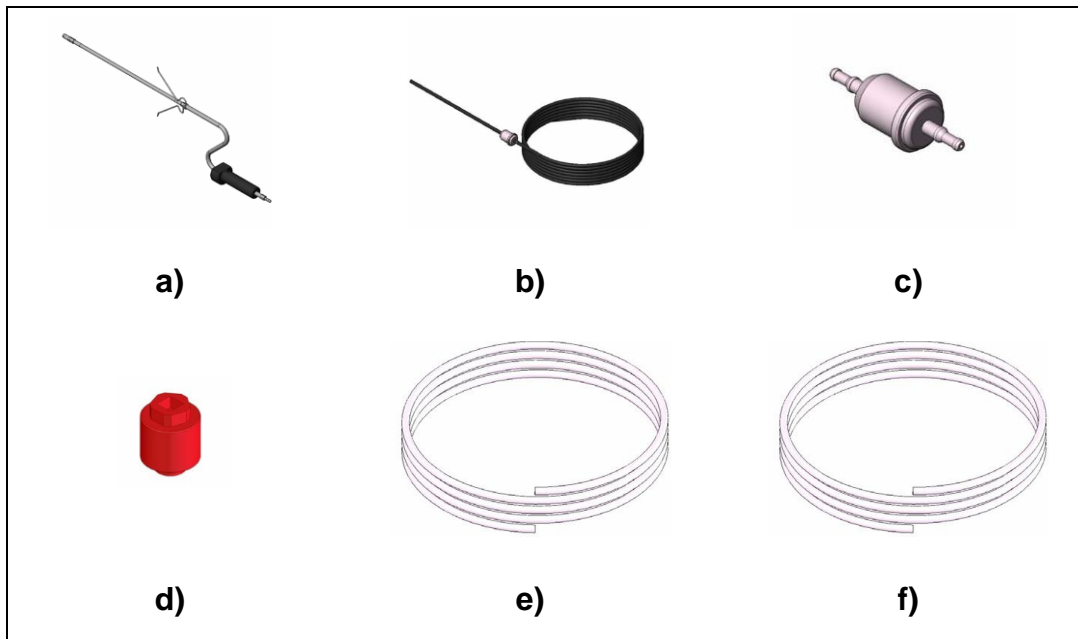


Figura 32. Componentes del Analizador de gases AGS-688.

a). Sonda extracción gas, b). Tubo sonda de extracción, c). Filtro, d). Sensor o₂, e).

Sonda de extracción y f). Descarga salida gas

Fuente: Manual del usuario. Brain Bee AGS-688. 2010.

4.2.3. Opacímetro para motores Diésel Brain Bee

El Opacímetro BRAIN BEE (Figura 33) es un instrumento destinado a medir la opacidad y determinar el coeficiente de absorción luminosa de los gases de escape

de los motores diésel. Coeficiente de absorción (k), Opacidad (%), temperatura de aceite, RPM.



Figura 33. Opacímetro Brain Bee

Las características son:

- Función automática de calibración a CERO
- Tiempo de calentamiento menor a 10 minutos
- Sistema de filtrado reforzado y con trampa de agua
- Pruebas automáticas para medición de opacidad
- Auto prueba y auto diagnóstico
- Compensador de altura
- Medición por RS232 de RPM y temperatura de aceite con el accesorio
- MGT-300/R (opcional)
- Software para PC de múltiples aplicaciones
- Conexión 110Vac – 60 Hz

El opacímetro, está equipado con una bomba de vacío, que arrastra los gases de escape a través de una manguera de muestra insertada en el tubo de escape

del vehículo y de ahí al opacímetro, donde una muestra de gas de escape pasa al interior del analizador; una emisión de luz infrarroja es proyectada a través de la muestra de gas de escape.

4.2.4. Opacímetro para motores diésel CARTEK CAP3201

El opacímetro, de la serie CAP3201 (Figura 34) incorpora un procedimiento de control de la opacidad para los centros de inspección técnica y el procedimiento de determinación de la opacidad aplicable en los talleres de reparación.



Figura 34. Opacímetro CARTEK CAP3201
Fuente: capelec.fr/catalogue/Detail/CAP3201

Posee las siguientes características:

- Ajuste del cero y calibrado automático
- Dual modo: ITV, talleres
- Ordenador PC OS Windows

- Pantalla color de 19"
- Impresora térmica A4
- Software WIN3200
- Pantalla LCD monocromática
- Teclado QWERTY
- Sensor cuentarrevoluciones por inducción
- Sensor cuentarrevoluciones piezoeléctrico 6mm
- Sensor de temperatura de aceite
- Micro banca CAPELEC
- Transmisión: GIEG NET / GIEG LAN
- Mesa auxiliar rodante
- Robusto y fiable
- Diseño y producción francesa

4.3. Procedimientos

4.3.1. Ensayo de torque y potencia

Para obtener la potencia y el par motor, la relación de transmisión con la que se debe realizar el ensayo es con la marcha que da la relación 1:1, la cual se la puede obtener en la ficha técnica proporcionada por los fabricantes, esto se debe a que la potencia y par motor que se obtiene pasa directamente por la caja de velocidades y a su vez a las ruedas motrices sin tener que pasar por relaciones de multiplicación o desmultiplicación.

a. Ubicación del automotor seleccionado.

En este caso el vehículo usado es una Mazda BT-50 año 2012 con tracción posterior (Figura 35).



Figura 35. Vehículo colocado sobre los rodillos del dinamómetro

b. Sujeción del vehículo mediante correas

Se usas correas para sujetar el vehículo al dinamo de forma correcta y así evitar accidentes, como se observa en la Figura 36.



Figura 36. Sujeción del vehículo con correas de seguridad

c. Cambio del tipo de combustible de alimentación

Para cambiar el combustible se requieren dos mangueras, un reservorio conectado antes del filtro con bomba de succión de baja presión de diésel (Figura 37).



Figura 37. Conexión para combustible alterno

d. Alimentar el sistema completamente

Para alimentar el sistema completo es necesario que la manguera de retorno esté en otro reservorio así se observa el cambio de color del combustible. Cuando esto sucede, se garantiza que el sistema esté alimentado con el nuevo combustible (Figura 38).



Figura 38. Recipientes para la mezcla propuesta.

e. Proceso de medición

Por último, se pone en marcha el motor se siguen los pasos que el software solicita para realizar la medición. En la Figura 39 se observa la interfaz del software del LPS 3000.



Figura 39. Interfaz para el ensayo de torque y potencia

4.3.2. Medición del consumo de combustible

a) Graduar el recipiente

Es necesario tener una medida exacta del combustible que es absorbido por el motor diésel, por lo que se optó por graduar el recipiente.



Figura 40. Recipiente graduado

b) Llenar el recipiente

Una vez graduado el recipiente se procedió a llenarlo con el combustible obtenido como muestra la Figura 41.

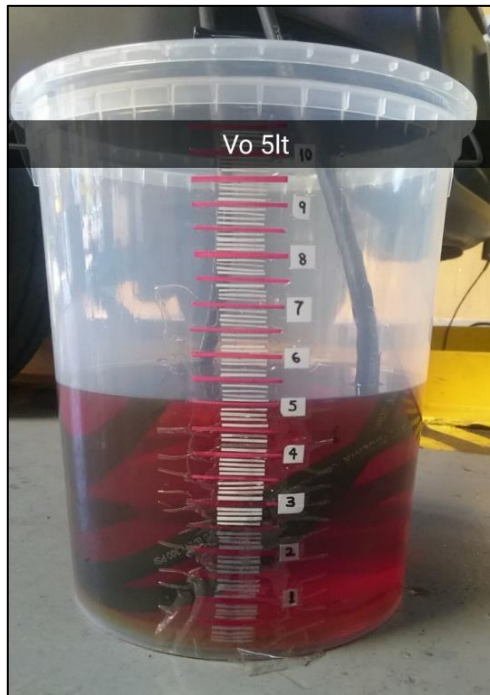


Figura 41. Recipiente con mezcla combustible

c) Realización de los ensayos

Se realizaron tres ensayos mediante el seguimiento del odómetro del vehículo, el cual permite tener una medida exacta de la distancia recorrida.

- **Ensayo 1**

Para el ensayo 1 se resetearon el odómetro A del vehículo y se procedió a realizar la medición del combustible consumido (Figura 42).

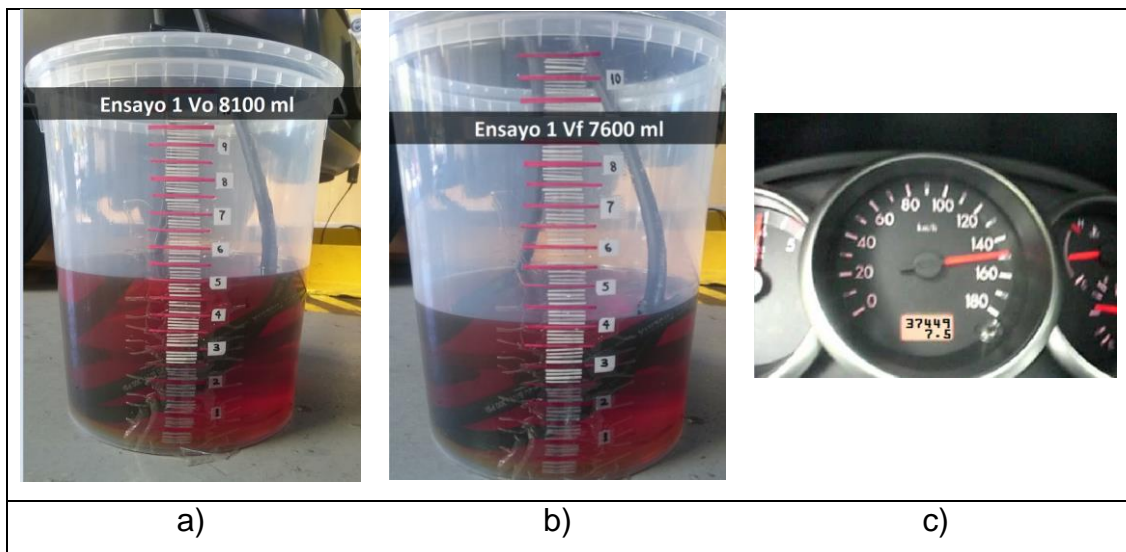


Figura 42. Resultados Ensayo 1

a) Volumen inicial 8100 ml, b) Volumen final 7600 ml y c) Contador odómetro 7.5 km

- **Ensayo 2**

Para el ensayo 2 el odómetro A se mantuvo intacto por motivo de realizar una medición total y también una parcial. A continuación, se procedió a realizar la medición del combustible consumido (Figura 43).

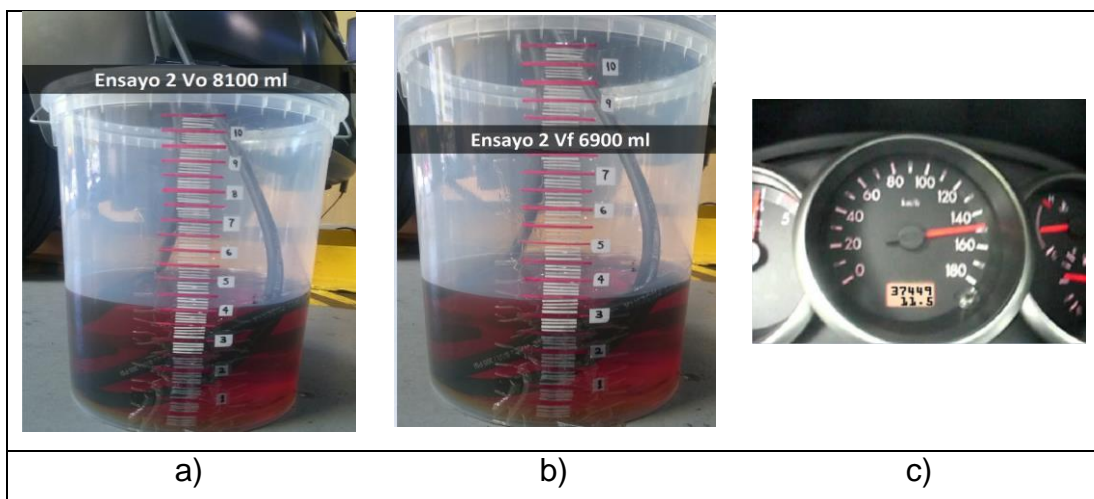


Figura 43. Resultados Ensayo 2

a) Volumen inicial 8100 ml, b) Volumen final 6900 ml y c) Contador odómetro 11.5 km

- **Ensayo 3**

Para el Ensayo 3 el odómetro A se mantuvo intacto por motivo de realizar una medición total y también una parcial. A continuación, se procedió a realizar la medición del combustible consumido (Figura 44).

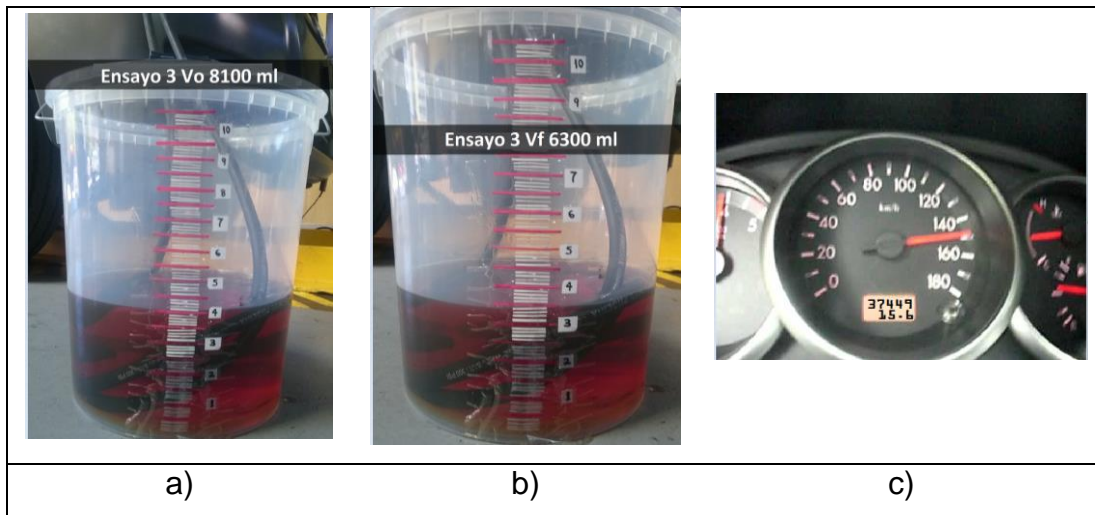


Figura 44. Resultados Ensayo 3

a) Volumen inicial 8100 ml, b) Volumen final 6300 ml y c) Contador odómetro 15.5 km

4.3.3. Medición de componentes de gases de escape

Es necesario conectar los elementos del equipo analizador de gases para la medición. La conexión se muestra en la Figura 45.

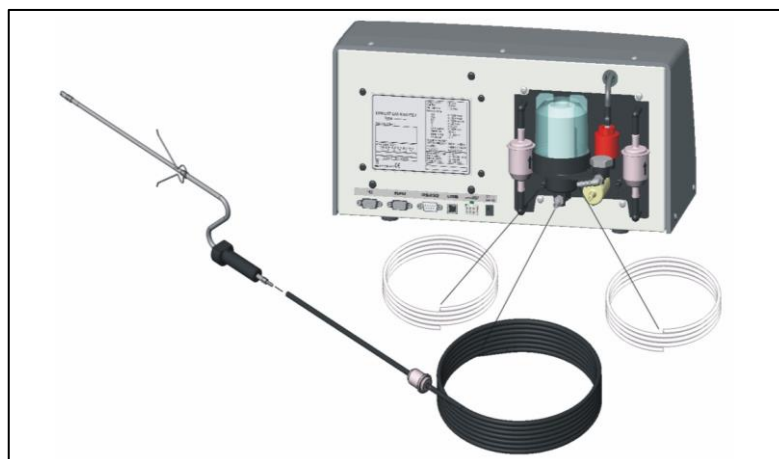


Figura 45. Conexión del analizador de gases AGS-688

Para el proceso de medición se conecta el equipo como especifica el manual del usuario.



Figura 46. Medición con el analizador de gases

Como paso siguiente se posicionó el vehículo proporcionado y se aseguró con freno de parqueo (Figura 47). La prueba se realiza en un espacio abierto debido la alta concentración de gases que se generan.



Figura 47. Toma de datos de los componentes de gases de escape.

Los puntos de medición se establecieron en cada 500 rpm, empezando en ralentí (750 rpm) e incrementando, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 y 4000 rpm.

Se mantiene la aceleración en cada uno de los puntos de medición hasta que el analizador estabilice los valores y pueda emitir un resultado.

Las pruebas se las realizaron en tres ensayos por cada punto de medición, y así mismo por cada combustible. De la misma manera que se realizó en las pruebas de torque y potencia se usó mangueras y otro reservorio para cambiar el tipo de combustible.

4.3.4. Medición de la opacidad con opacímetro Brian Bee

a. Pre-acondicionamiento del vehículo:

1. La temperatura del aceite del motor medida mediante sonda introducida en el tubo de la varilla de nivel de aceite debe ser como mínimo de 80 C.
2. El tubo de escape deberá ser limpiado en la parte final para evitar que esa impureza se introduzca en la sonda y dificulte la confiabilidad de la medición.

b. Procedimiento de ensayo:

- Realizar la conexión a las tomas de energía de 110V.
- Encender el computador e interface de medición del opacímetro.
- Iniciar al Software Brian Bee para realizar las pruebas de opacidad (Figura 48).



Figura 48. Software Brian Bee para el opacímetro

- Desde el menú principal seleccionar “ANÁLISIS OPACIDAD” (Figura 49).



Figura 49. Menú principal del software

- Una vez que se ha ingresado a la prueba, ingresar los datos del vehículo en prueba.
- Los parámetros a tomar en cuenta antes de realizar las pruebas son:
 - Temperatura del aceite del motor (75°C-80°C) (Figura 50).



Figura 50. Temperatura alcanzada.

- Una vez que se ha ingresado estos parámetros, esperar que el equipo indique que acelere para realizar las diferentes pruebas, esto es intervalos desde 800, 1000, 1500, 2000 y 3000 RPM.
- En cada intervalo de medición se irá generando el valor de opacidad una vez que se completa cada intervalo se debe estar atento para realizar cada una de las mediciones.
- Una vez realizadas los ensayos y registradas las mediciones, se procede a analizar los valores medidos de opacidad, los cuales se muestran en una tabla generada por el software del equipo donde se calcula un valor promedio.

VALORES RELEVADOS			
TEMPERATURA MOTOR	:	0#	[°C]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	1	: K = 0.71	[m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	2	: K = 0.73	[m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	3	: K = 0.77	[m ⁻¹]
VALOR MEDIO OPACIDAD	:	K = 0.7	[m ⁻¹]
RESULTADO DE LA PRUEBA :		POSITIVO	
TÉCNICO RESP. :		ALTAMIRANO-PABON	

Figura 51. Resultados de la medición

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Caracterización de las mezclas

Se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos de la caracterización de las cinco mezclas combustibles (5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 25 %) y el combustible testigo (diésel puro).

Tabla 22.

Resultados de la caracterización de mezclas.

Parámetro	Unidad	Sustancia					
		A	B	C	D	E	F
		5%	10%	15%	20%	25%	Diésel puro 0%
Densidad API a 60 ° F	° API	35,8	36	36,2	36,4	36,5	35,4
Punto de inflamación	° C	63,3	53,2	52,2	48,2	47,7	62,2
Viscosidad cinemática a 37,8 ° C	cSt	4,05	4,08	4,18	4,28	4,79	4,04
Índice de cetano calculado	-	53	54	54	55	55	52
Punto de nube	° C	-6	-6	-6	-6	-6	-3
Agua por destilación	% V	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Azufre	% P	0,034	0,0363	0,0399	0,0458	0,0482	0,0308
Poder calorífico neto	MJ/kg	42,798	42,798	42,798	42,844	42,844	42,7819
Sedimento básico y agua (%BSW)	% V	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025

Para las pruebas se utilizaron los siguientes métodos, densidad API: ASTM D-287; punto de inflamación: ASTM D-93; viscosidad cinemática: ASTM D-445; índice de cetano calculado: ASTM D-287; punto de nube: ASTM D-2500; agua por destilación: ASTM D-4006; cantidad de azufre: ASTM D-4294; poder calorífico neto: ASTM D-287; sedimento básico y agua (% BSW): ASTM D-4007.

A partir de la Tabla 22, se hace una comparación con la Norma Técnica Ecuatoriana 1489:99 para determinar la factibilidad del uso de las mezclas como combustible para motores diésel en el país.

Tabla 23.**Comparación de resultados con la norma INEN 1498.**

Parámetro	Unidad	INEN 1489	Sustancia					
			A	B	C	D	E	F Diésel puro
			5%	10%	15%	20%	25%	0%
Punto de inflamación	° C	mín 51	63,3	53,2	52,2	48,2	47,7	62,2
Viscosidad cinemática a 37,8 ° C	cSt	2,5<x<6, 0	4,05	4,08	4,18	4,28	4,79	4,04
Índice de cetano calculado	-	mín 45	53	54	54	55	55	52
Azufre	% P	<0,05	0,034 0	0,036 3	0,039 9	0,045 8	0,048 2	0,0308

Se han extraído cuatro parámetros de la norma NTE INEN 1489 para el estudio. El color rojo indica que no se cumple con el mínimo establecido, mientras que la tonalidad verde indica valores permitidos para las propiedades analizadas.

Se observa en la Tabla 23 que para las mezclas D y E, 20 % y 25 % respectivamente, el punto de inflamación no cumple con el mínimo establecido en la norma INEN 1489, por lo cual se descarta inmediatamente su uso como combustible para motores diésel. Además, los valores del porcentaje en peso de azufre contenido se encuentran peligrosamente cerca del límite establecido por la norma.

Se evalúan los demás parámetros con las tres mezclas restantes A, B y C para determinar cuál de ellas es la más óptima para su uso en el motor diésel.

Tabla 24.***Evaluación de los parámetros de las mezclas pre aprobadas.***

Parámetro	Unidad	Resultados			
		F	A	B	C
		0%	5%	10%	15%
Densidad API a 60 ° F	° API	35,4	35,8	36	36,2
Punto de inflamación	° C	62,2	63,3	53,2	52,2
Viscosidad cinemática a 37,8 ° C	cSt	4,04	4,05	4,08	4,18
Índice de cetano calculado	-	52	53	54	54
Punto de nube	° C	-3	-6	-6	-6
Agua por destilación	% V	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Azufre	% P	0,0308	0,034	0,0363	0,0399
Poder calorífico neto	MJ/kg	42,7819	42,7984	42,7984	42,7984
Sedimento básico y agua (%BSW)	% V	0,025	0,025	0,025	0,025

A medida que la celda toma un color rojizo el parámetro evaluado se sale del límite establecido. Las tonalidades amarillas indican un valor permisible. El color verde muestra un valor óptimo.

En la Tabla 24 se observa que la mezcla combustible A (5 %) es la más similar al diésel N2 que se distribuye en el país. Sin embargo, los valores del índice de cetano calculado y del poder calorífico neto son directamente proporcionales a la concentración de aceite usado en el combustible, por lo cual se esperaría un mejoramiento de la potencia en el motor al usar mezclas con mayor concentración de aceite usado.

Asimismo, el punto de nube disminuye de -3 a -6 grados centígrados a medida que aumenta la concentración de aceite usado en la mezcla combustible, lo cual mejora la adaptabilidad de la sustancia a operaciones en bajas temperaturas.

Debido a que la intención de la presente investigación es aprovechar la energía del aceite usado de motor, se establece que la mezcla C (al 15 %) es la más apropiada ya que es la que mayor cantidad de aceite reutiliza sin salirse de los parámetros establecidos por la normativa ecuatoriana.

5.2 Ensayo de torque y potencia

A partir de los ensayos realizados en el banco dinamómetro se obtuvieron las siguientes mediciones de potencia y torque.

En las Tablas 25 y 26 se presentan los resultados producto del ensayo N1. de potencia del vehículo Mazda BT-50 utilizando la mezcla al 15 % y el diésel puro, respectivamente.

Tabla 25.

Ensayo N.1 de torque y potencia utilizando la mezcla al 15 %

n [rpm]	Potencia [HP]	Potencia [Kw]	Torque [lbf.ft]	Torque [Nm]
1008	15,2	11,3	79,3	107,8
1151	18,9	14,1	86,3	117,4
1301	23,4	17,4	94,4	128,4
1448	26,2	19,5	95,1	129,3
1602	32,4	24,2	106,1	144,3
1759	45,7	34,1	136,6	185,8
1900	51,1	38,1	141,2	192,0
2048	57,1	42,6	146,4	199,1
2199	65,0	48,5	155,3	211,2
2348	71,8	53,5	160,7	218,6
2496	76,1	56,7	160,1	217,7
2643	77,4	57,7	153,9	209,3
2794	80,5	60,0	151,3	205,8
2942	79,5	59,3	141,9	193,0
3092	79,0	58,9	134,1	182,4
3245	84,0	62,6	136,0	185,0
3393	84,5	63,0	130,9	178,0
3492	82,4	61,4	123,9	168,5
máximo	84,5	63,0	160,7	218,6

Tabla 26.

Ensayo N.1 de torque y potencia utilizando diésel puro

n [rpm]	Potencia [HP]	Potencia [Kw]	Torque [lbf.ft]	Torque [Nm]
1010	15,4	11,5	80,2	109,1
1265	22,2	16,6	92,1	125,3
1522	28,3	21,1	97,6	132,7
1791	43,0	32,1	126,0	171,4
2043	53,6	40,0	137,9	187,5
2300	68,0	50,7	155,1	210,9
2559	77,2	57,6	158,4	215,4
2816	80,0	59,7	149,1	202,8
3072	78,2	58,3	133,6	181,7
3337	83,5	62,3	131,4	178,7
3592	79,0	58,9	115,5	157,1
máximo	83,5	62,3	158,4	215,4

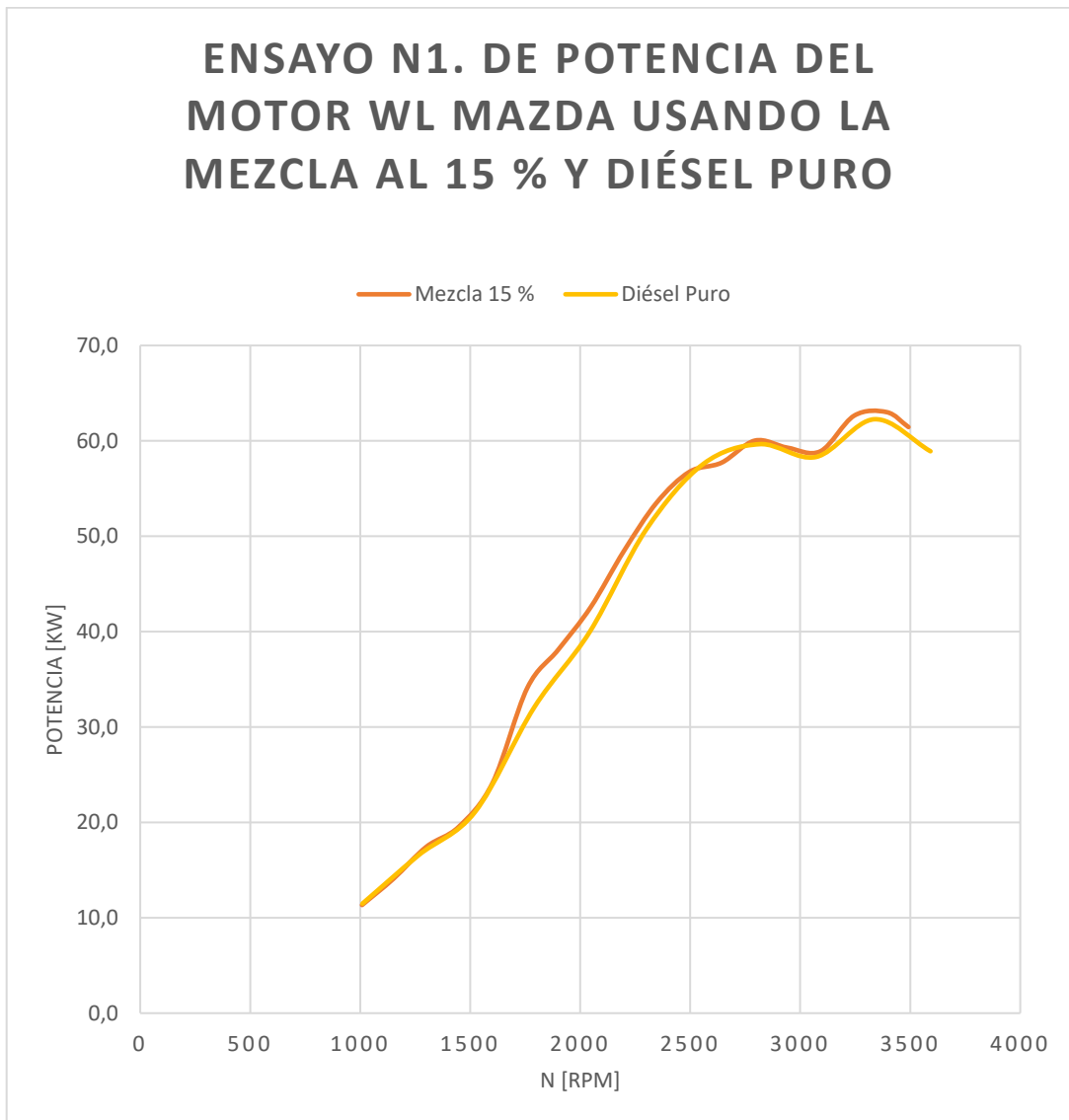


Figura 52. Curvas de potencia del ensayo N1. utilizando la mezcla al 15 % y diésel puro

La curva de potencia en función del régimen de giro del motor, resultado del ensayo N1, está graficada en la Figura 52. En amarillo se aprecia la curva para el diésel puro mientras que en rojo se representa la curva para la mezcla al 15 %.

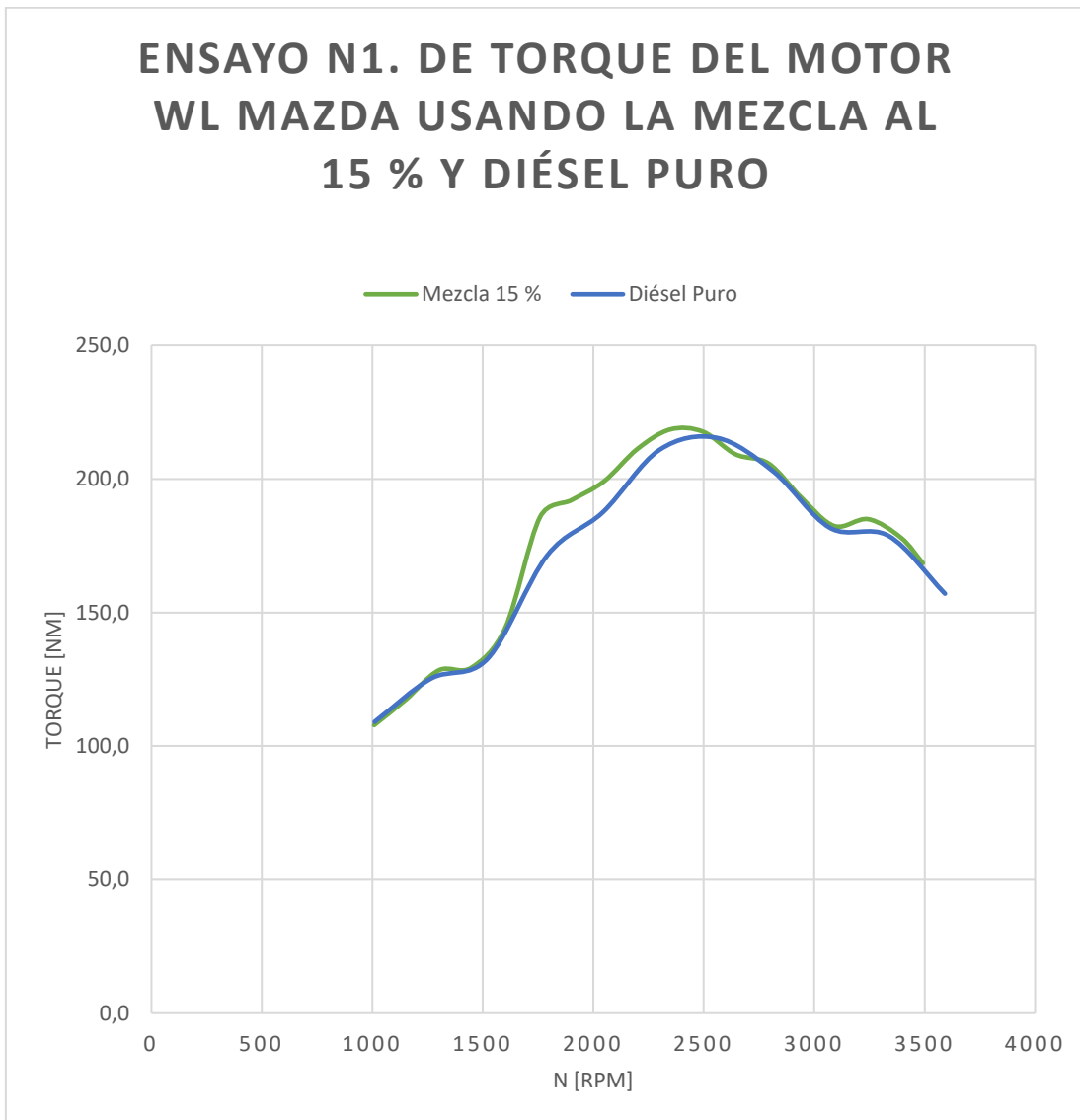


Figura 53. Curvas de torque del ensayo N1. utilizando la mezcla al 15 % y diésel puro

En la Figura 53 está representada la curva de torque en función del régimen de giro del motor producto del ensayo N1. En azul se observa la curva para el diésel puro mientras que el trazo de color verde representa la mezcla al 15 %.

En las tablas siguientes se presentan los resultados del Ensayo N2 de torque y potencia para los dos combustibles estudiados.

Tabla 27.**Ensayo N.2 de torque y potencia utilizando la mezcla al 15 %**

n [rpm]	Potencia [hp]	Potencia [Kw]	Torque [lbf.ft]	Torque [Nm]
1008	15,9	11,9	82,7	112,5
1151	19,8	14,8	90,2	122,7
1300	24,2	18,0	97,8	133,0
1448	27,2	20,3	98,6	134,1
1601	33,1	24,7	108,6	147,7
1758	45,7	34,1	136,6	185,8
1900	51,7	38,6	143	194,5
2049	57,8	43,1	148,1	201,4
2199	65,5	48,8	156,5	212,8
2348	71,6	53,4	160,1	217,7
2496	76	56,7	160	217,6
2644	78,4	58,5	155,7	211,8
2793	80	59,7	150,4	204,5
2942	79,3	59,1	141,6	192,6
3093	79,3	59,1	134,6	183,1
3245	82,9	61,8	134,1	182,4
3392	82,6	61,6	127,9	173,9
3491	79,7	59,4	119,8	162,9
máximo	82,9	61,8	160,1	217,7

Tabla 28.**Ensayo N.2 de torque y potencia utilizando diésel puro**

n [rpm]	Potencia [hp]	Potencia [Kw]	Torque [lbf.ft]	Torque [Nm]
1010	15,8	11,8	82,0	111,5
1264	22,8	17,0	94,7	128,8
1522	28,8	21,5	99,4	135,2
1792	45,2	33,7	132,6	180,3
2042	55,1	41,1	141,8	192,8
2303	69,1	51,5	157,5	214,2
2561	80	59,7	164,1	223,2
2816	81,5	60,8	152	206,7
3072	80,8	60,3	138,2	188,0
3337	83,3	62,1	131,1	178,3
3592	78,8	58,8	115,2	156,7
máximo	83,3	62,1	164,1	223,2

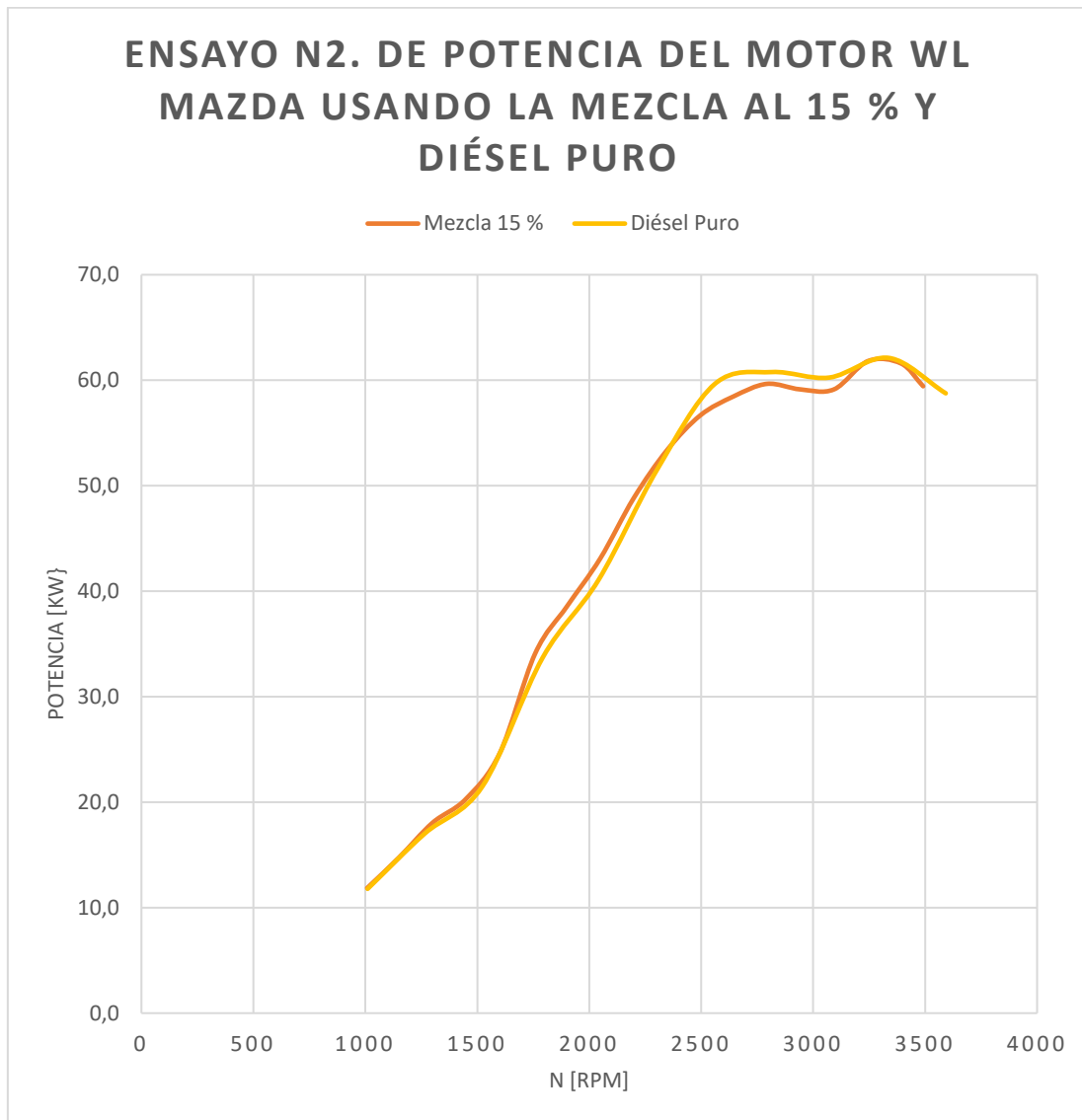


Figura 54. Curvas de potencia del ensayo N2. utilizando la mezcla al 15 % y diésel puro.

En la Figura 54 se muestra las curvas de potencia del ensayo N2 usando los dos combustibles propuestos.

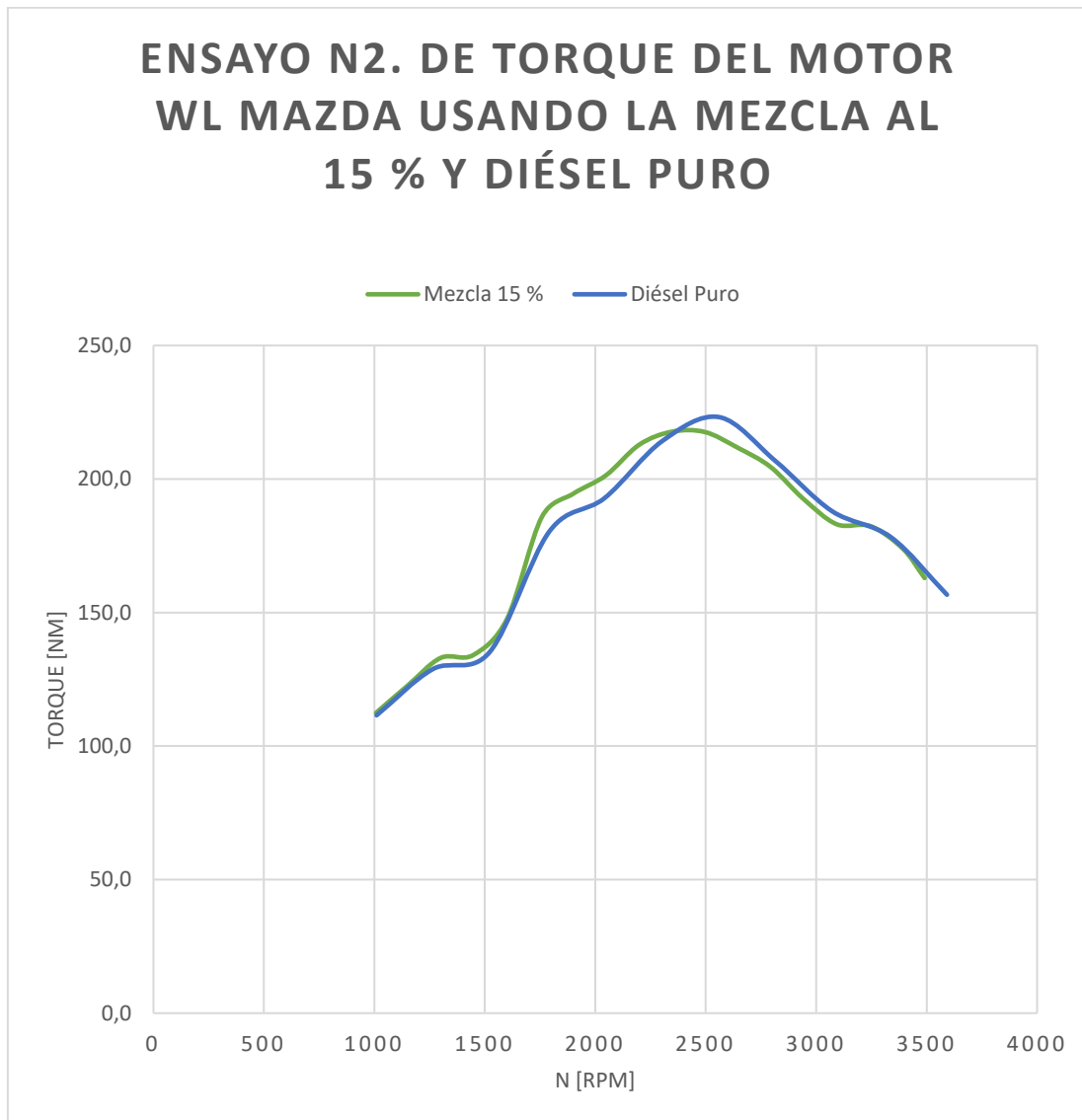


Figura 55. Curvas de torque del ensayo N2. utilizando la mezcla al 15 % y diésel puro

En la Figura 55 se muestra las curvas de torque del ensayo N2 usando los dos combustibles propuestos.

En las Tablas 29 y 30, se muestran los resultados del tercer ensayo de torque y potencia al usar los dos combustibles estudiados.

Tabla 29.

Ensayo N.3 de torque y potencia utilizando la mezcla al 15 %

n [rpm]	Potencia [hp]	Potencia [Kw]	Torque [lbf.ft]	Torque [N.m]
1005	15,9	11,85663	83,3	113,3
1150	20	14,914	91,2	124,0
1300	24,3	18,12051	98,3	133,7
1447	27	20,1339	97,9	133,1
1601	32,6	24,30982	107	145,5
1757	44,3	33,03451	132,5	180,2
1900	51,5	38,40355	142,3	193,5
2048	56,8	42,35576	145,7	198,2
2199	65,1	48,54507	155,4	211,3
2348	71,7	53,46669	160,3	218,0
2495	75,7	56,44949	159,4	216,8
2643	74,8	55,77836	155,8	211,9
2793	80,4	59,95428	151,1	205,5
2941	79,1	58,98487	141,3	192,2
3093	79,4	59,20858	134,8	183,3
3245	83,3	62,11681	134,9	183,5
3393	85,1	63,45907	131,7	179,1
3492	82,7	61,66939	124,4	169,2
máximo	85,1	160,3	218,0	218,0

Tabla 30.

Ensayo N.3 de torque y potencia utilizando diésel puro

n [rpm]	Potencia [hp]	Potencia [Kw]	Torque [lbf.ft]	Torque [Nm]
1010	15,6	11,63292	81,4	110,7
1264	22,5	16,77825	93,3	126,9
1522	28,4	21,17788	98	133,3
1790	43	32,0651	126,2	171,6
2043	53,7	40,04409	138	187,7
2303	68,2	50,85674	155,5	211,5
2560	77,9	58,09003	159,8	217,3
2816	80,3	59,87971	149,7	203,6
3072	79	58,9103	135	183,6
3337	84,4	62,93708	132,9	180,7
3592	80	59,656	117	159,1
máximo	84,4	159,8	217,3	217,3

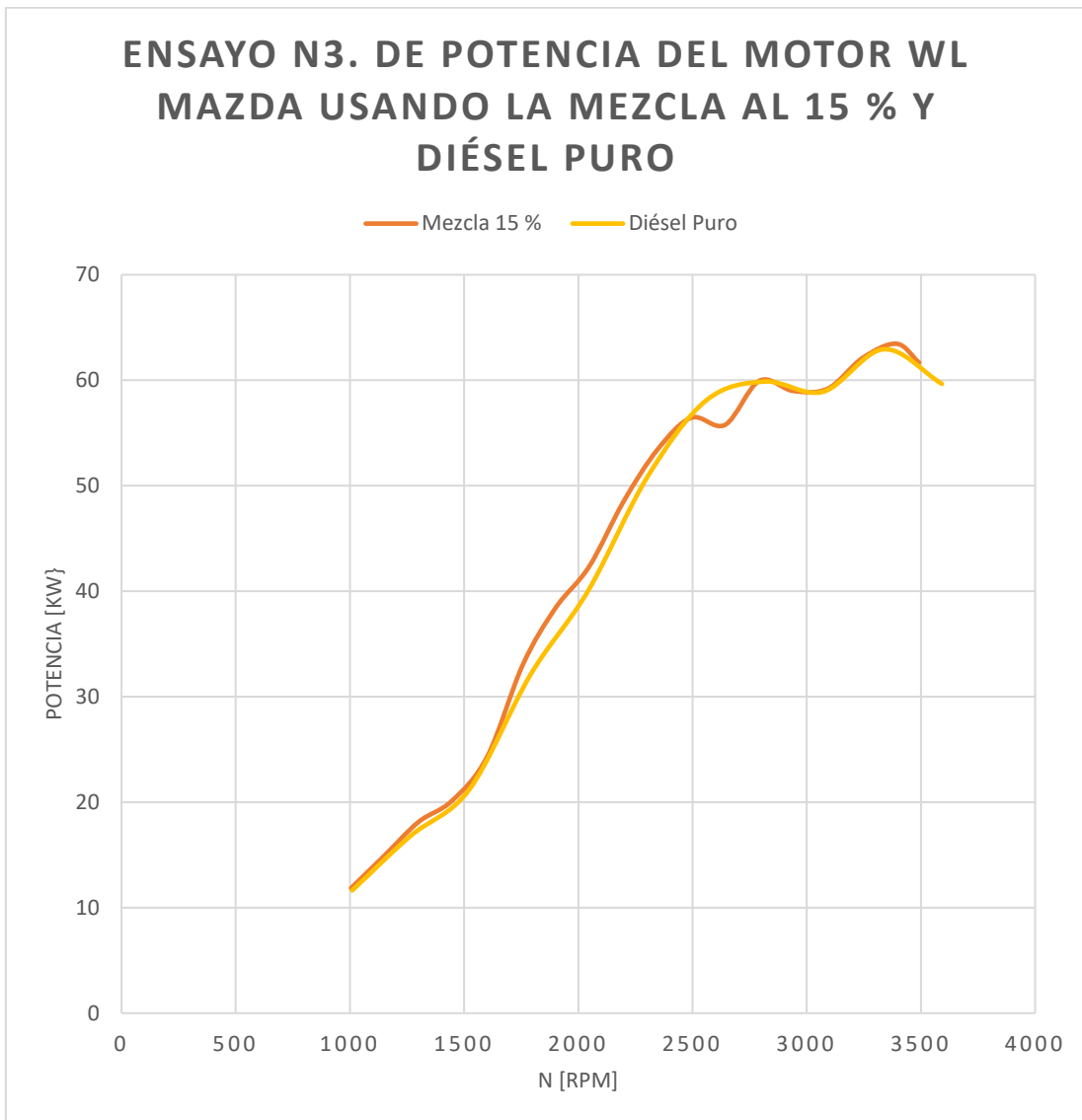


Figura 56. Curvas de potencia del ensayo N3. utilizando la mezcla al 15 % y diésel puro

La Figura 56 muestra las curvas de potencia de los dos combustibles utilizados (diésel puro y mezcla al 15%) producto del tercer ensayo en el vehículo Mazda BT-50.

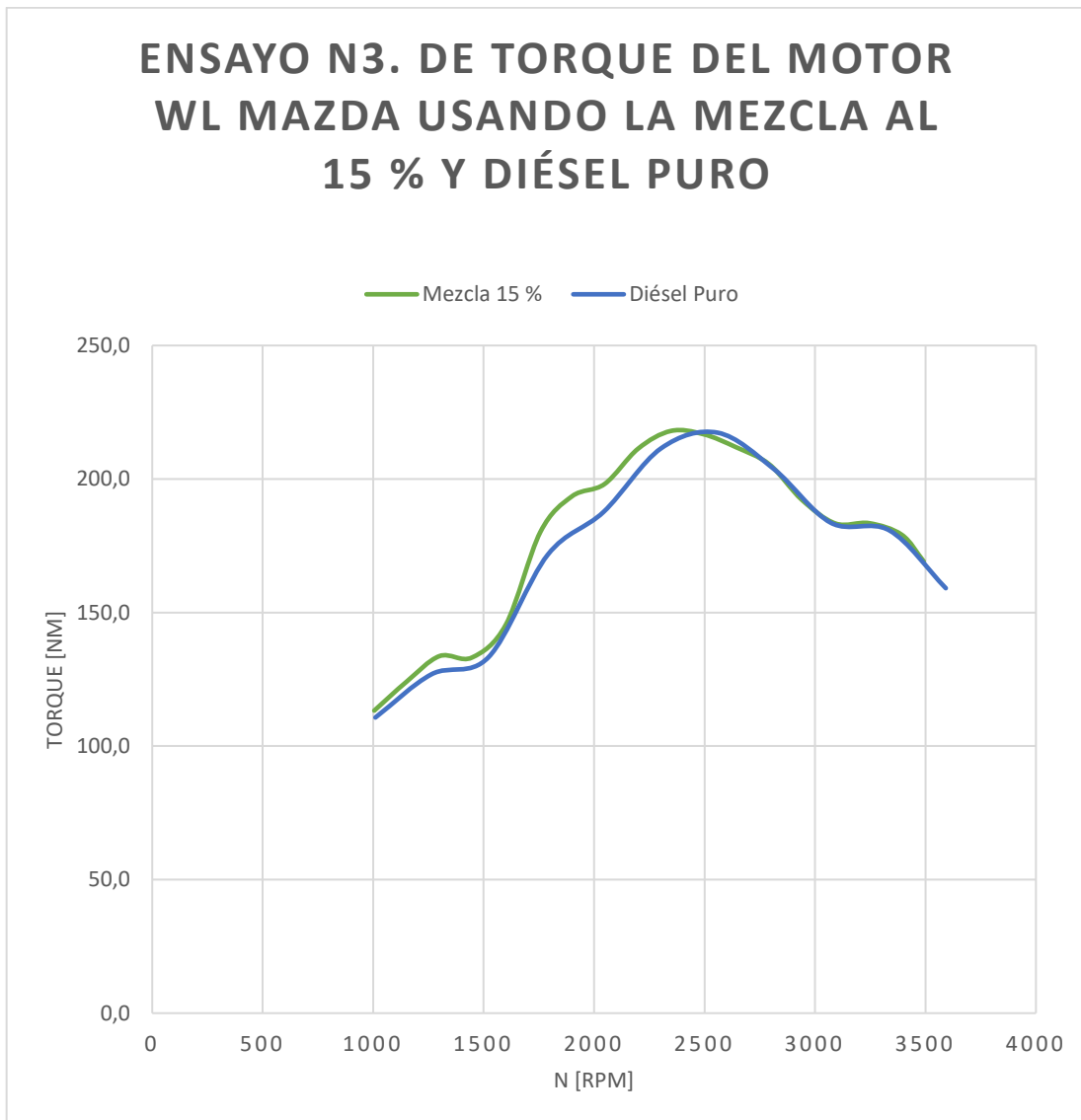


Figura 57. Curvas de torque del ensayo N3. utilizando la mezcla al 15 % y diésel puro.

La Figura 57 muestra las curvas del torque de los dos combustibles utilizados (diésel puro y mezcla al 15%) producto del tercer ensayo en el vehículo Mazda BT-50.

A partir de los ensayos realizados y las mediciones obtenidas se realiza una tabla estadística para estudiar la variación del torque y potencia del motor Mazda WL.

Tabla 31.

Tabla estadística del comportamiento del motor Mazda WL.

	Diésel puro		Mezcla 15 %	
	Torque [Nm]	Potencia [Kw]	Torque [Nm]	Potencia [Kw]
Valor máximo 1	215,4	62,3	218,6	63,0
Valor máximo 2	223,2	62,1	217,7	61,8
Valor máximo 3	217,3	62,9	218	63,5
Valor mínimo	215,4	62,1	217,7	61,8
Valor máximo	223,2	62,9	218,6	63,5
Desviación estándar	4,07	0,42	0,46	0,87
Frecuencia	1,00	1,00	1,00	1,00
Mediana	217,30	62,30	218,00	63,00
Moda	215,40			
Promedio	218,63	62,43	218,10	62,77
Porcentaje de variación	0,0000%	0,0000%	-0,24%	0,53%

Con la información obtenida de la Tabla 31 se procede a realizar las comparaciones en torque y potencia al usar la mezcla combustible al 15 %. Se han tomado los valores promedio de la tabla para el análisis.

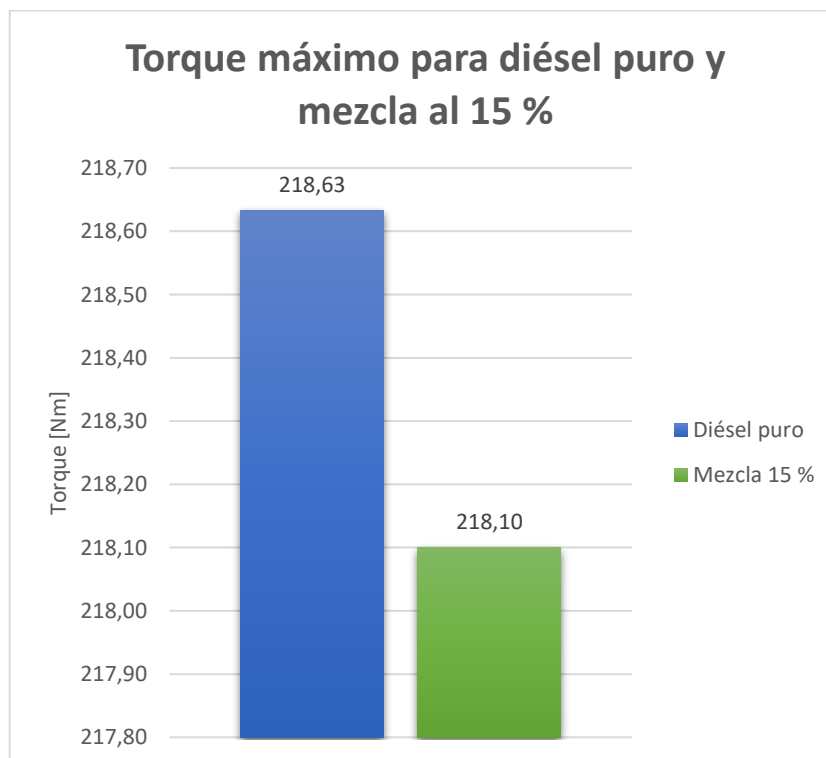


Figura 58. Comparación del torque al usar diésel puro y la mezcla al 15 %.

La Figura 58 muestra una leve disminución del torque generado por el motor. Sin embargo, la variación es casi imperceptible por lo que se podría asegurar que el uso de la mezcla combustible no afecta la entrega de torque el motor.

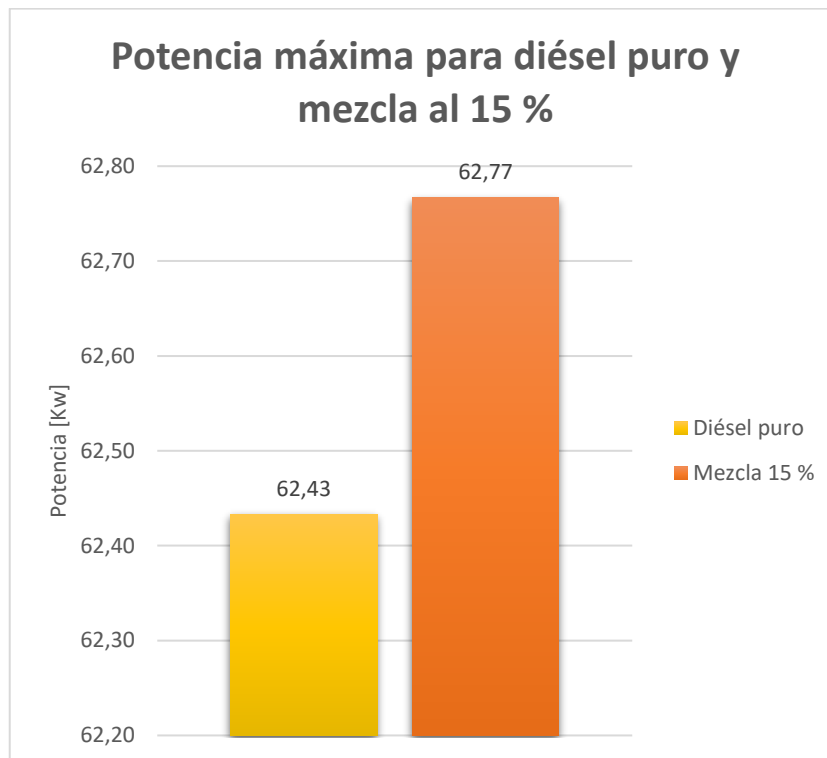


Figura 59. Comparación de la potencia al usar diésel puro y la mezcla al 15 %

La Figura 59 indica un incremento del 0, 53 % en el valor de la potencia cuando se usa la mezcla combustible al 15 %. Por lo cual se concluye que el uso de la mezcla combustible al 15 % no afecta la potencia del motor.

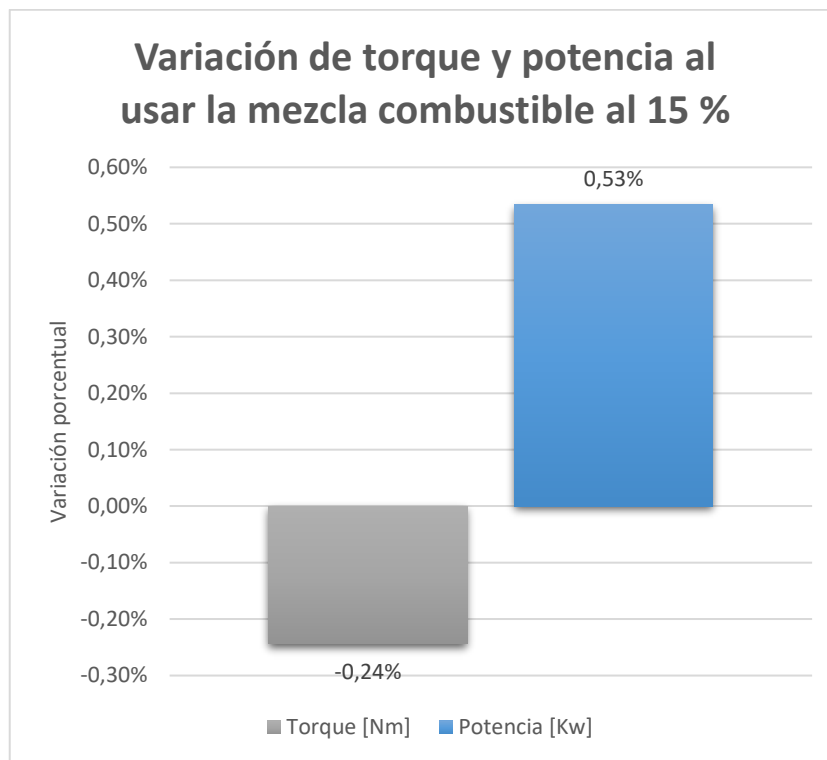


Figura 60. Variación de torque y potencia para la mezcla al 15 %.

La Figura 60 indica la variación porcentual de torque y potencia en relación al diésel puro comercial que se distribuye en el país.

De acuerdo a los ensayos realizados, tabulación de datos y gráficos estadísticos que el uso de la mezcla combustible no altera los valores de torque y potencia que entrega el motor, debido a que no existen variaciones superiores al 1 % para ninguno de los dos casos. Es decir, el uso de la mezcla al 15 % no altera el desempeño del motor.

5.3 Ecuaciones de los parámetros característicos del motor

Las mediciones realizadas generan las siguientes ecuaciones de cálculo de los parámetros característicos de comportamiento para el motor WL Mazda.

a. Presión media del ciclo

$$P_{mc} = \frac{T}{V_h} * i$$

Ecuación 9

$$P_{mc} = \frac{217,97 \text{ Nm}}{0,00062475 \text{ m}^3} * 4$$

$$P_{mc} = 13,956 \text{ bar}$$

b. Rendimiento térmico

$$\eta_t = P_{mc} * \frac{(\varepsilon - 1)(k - 1)}{P_a \varepsilon^k (\rho - 1)}$$

Ecuación 10

$$\eta_t = 1395566,226 \frac{kN}{m^2} * \frac{(18 - 1)(1,41 - 1)}{150000 \frac{N}{m^2} * 18^{1,41}(4 - 1)}$$

$$\eta_t = 36,71 \%$$

c. Calor extraído

$$Q_2 = (1 - \eta_t)Q_1$$

Ecuación 7

$$Q_2 = (1 - 0,3671) * 42,7819 \frac{MJ}{kg}$$

$$Q_2 = 27,07 \frac{MJ}{kg}$$

d. Consumo másico de combustible

$$mc = \frac{\text{Potencia al freno}}{Q * nt}$$

Ecuación 12.

$$mc = \frac{59,15 \frac{KJ}{s}}{42781,9 \frac{KJ}{Kg} * 0,3254}$$

$$mc = 3,76 \frac{Kg}{h}$$

e. Consumo específico de combustible

$$CEC = \frac{mc}{Ne}$$

Ecuación 13

$$CEC = \frac{3,76 \frac{Kg}{h}}{59,15 \frac{KJ}{s}}$$

$$CEC = 0,0637 \frac{Kg}{Kw.h}$$

f. Rendimiento mecánico

$$\eta_m = \frac{Ne}{Ni}$$

Ecuación 14

$$\eta_m = \frac{59,15 \frac{KJ}{s}}{106,635 Kw}$$

$$\eta_m = 55,48 \%$$

g. Rendimiento indicado

$$\eta_i = \frac{\eta_t}{\eta_m}$$

Ecuación 15

$$\eta_i = \frac{0,3671}{0,5548}$$

$$\eta_i = 66,18 \%$$

La Tabla 32 muestra el resumen de los parámetros característicos del comportamiento del motor Mazda WL para el diésel puro y las cinco mezclas caracterizadas a fin de comparar la influencia del potencial energético en el rendimiento del motor.

Para la determinación de los parámetros se emplearon las ecuaciones del apartado 5.3.

Tabla 32.

Resumen de los parámetros característicos del comportamiento del motor Mazda WL.

Torque [Nm]	217,97 ¹					
Volumen del cilindro [m ³]	0,00062475 ²					
Número de cilindros	4 ³					
Relación de compresión	18 ⁴					
Coefficiente adiabático	1,41 ⁵					
Presión de admisión [Pa]	150000 ⁶					
Grado de expansión previa	4 ⁷					
	Diésel puro	5%	10%	15%	20%	25%
Calor suministrado (poder calorífico) ⁸ [MJ/Kg]	42,7819	42,7984	42,7984	42,7984	42,8449	42,8449
Potencia al freno [Kw]	59,156371	59,20902512	59,20902512	59,35771	59,35767632	59,35767632
Potencia indicada [Kw]	106,635	106,635	106,635	106,635	106,635	106,635
Presión media del ciclo [bar]	13,955	13,955	13,955	13,955	13,9556	13,9556
Rendimiento térmico	0,3671	0,3671	0,3671	0,3671	0,3671	0,3671
Calor extraído [MJ/Kg]	27,0748	27,0852	27,0852	27,0852	27,1147	27,1147
Consumo másico de combustible [Kg/h]	3,7662	3,7681	3,7681	3,7776	3,7735	3,7735
Consumo específico de combustible [Kg/Kw.h]	0,0637	0,0636	0,0636	0,0636	0,0636	0,0636
Rendimiento mecánico	0,5548	0,5552	0,5552	0,5566	0,5566	0,5566
Rendimiento indicado	0,6618	0,6612	0,6612	0,6596	0,6596	0,6596

¹ Tomado de los ensayos realizados de torque y potencia.

² Ficha técnica del vehículo Mazda BT-50 Diésel

³ *Ibíd.*

⁴ *Ibíd.*

⁵ Tomado de Erazo, G. (2013)

⁶ Tomado de Ortiz, A. (2013).

⁷ Tomado de Erazo, G. (2013)

⁸ Resultado de la caracterización de mezclas. Ver Tabla 22.

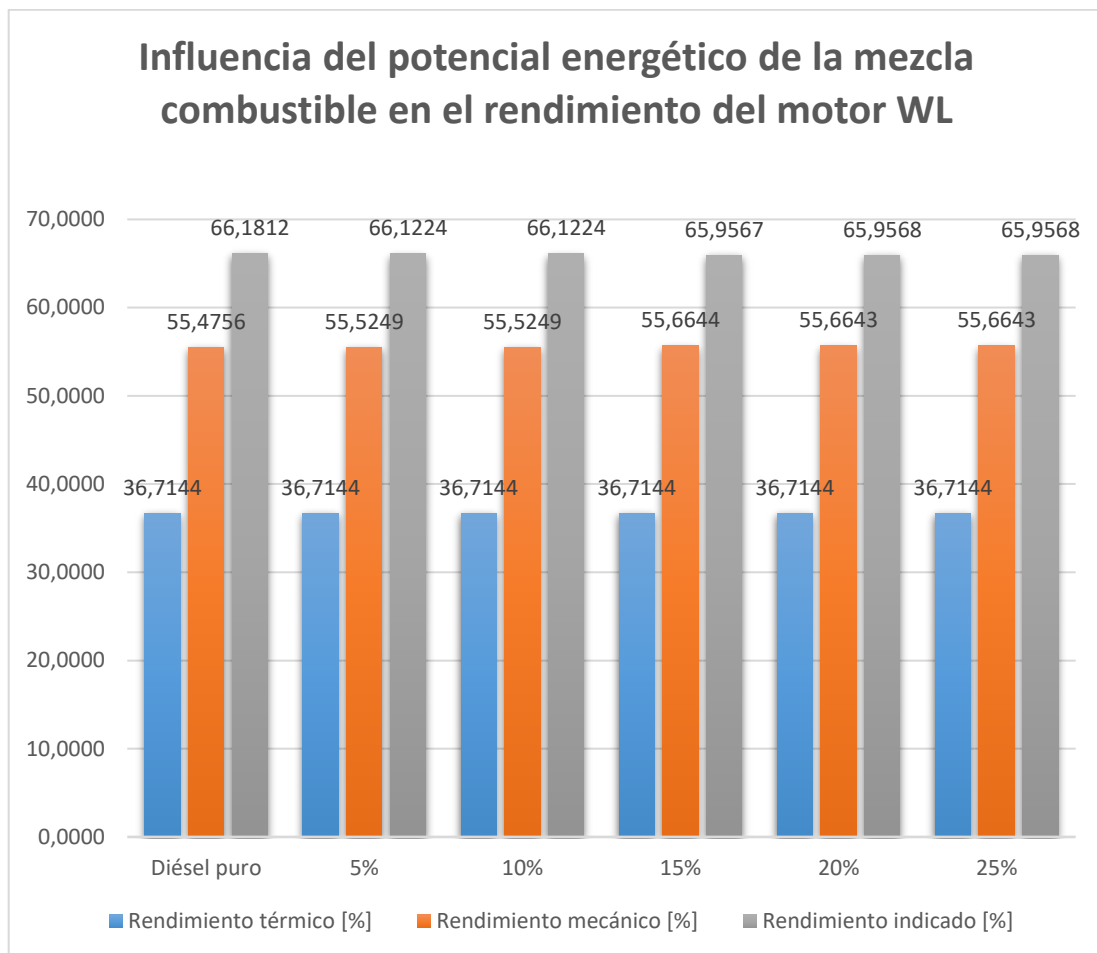


Figura 61. Influencia del potencial energético de la mezcla combustible en el rendimiento del motor WL.

La Figura 61 muestra que el rendimiento térmico es el mismo para todos los casos, esto debido a que se empleó el mismo valor de potencia para el cálculo en todos los casos. Sin embargo, se observa que, para el rendimiento mecánico y rendimiento indicado, los valores aumentan a medida que se incrementa la concentración de aceite usado en el combustible.

Es decir, el potencial energético que tienen las mezclas combustibles es directamente proporcional a la concentración de aceite usado, lo cual provoca un mejoramiento de los rendimientos del motor.

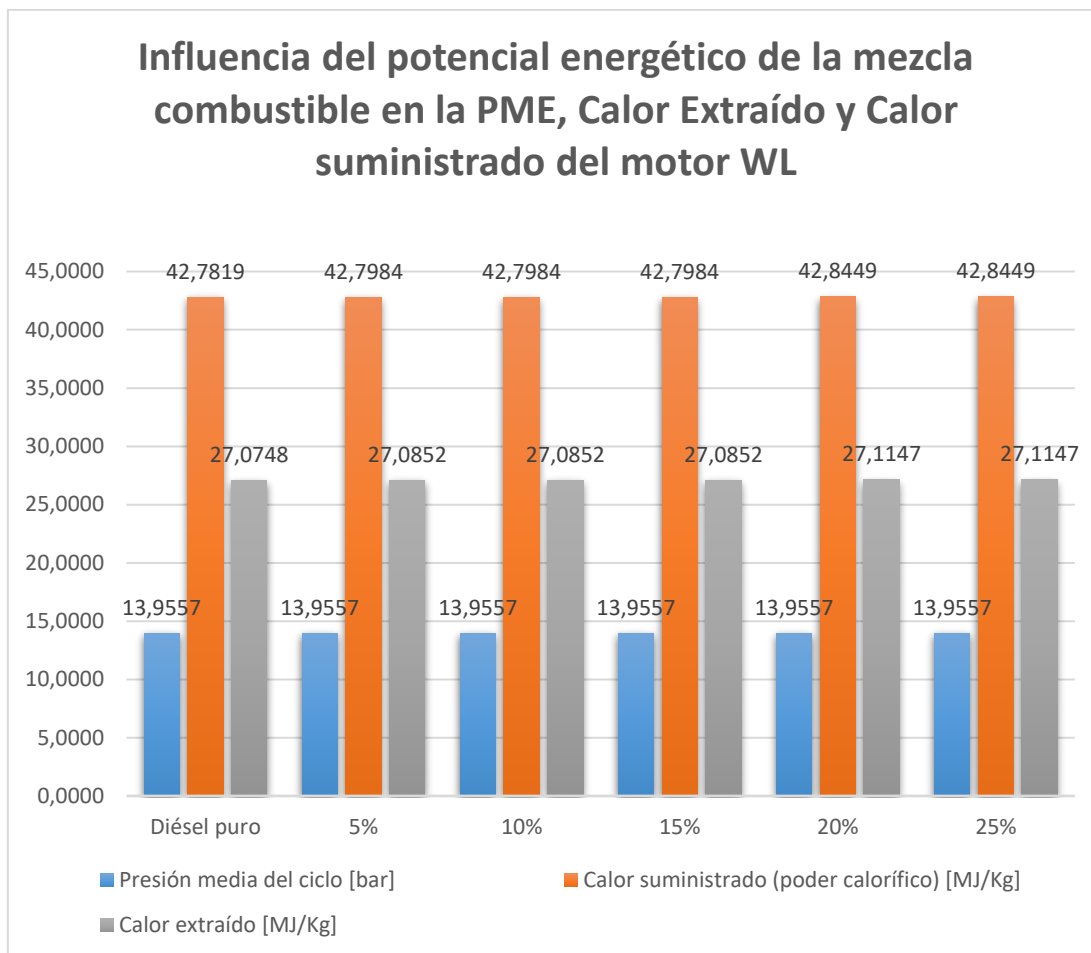


Figura 62. Calor suministrado y extraído en el motor WL en combinaciones de biocombustible

En la Figura 62 se aprecia que el aprovechamiento del calor es ligeramente superior al utilizar las mezclas combustibles a partir del aceite usado de motor.

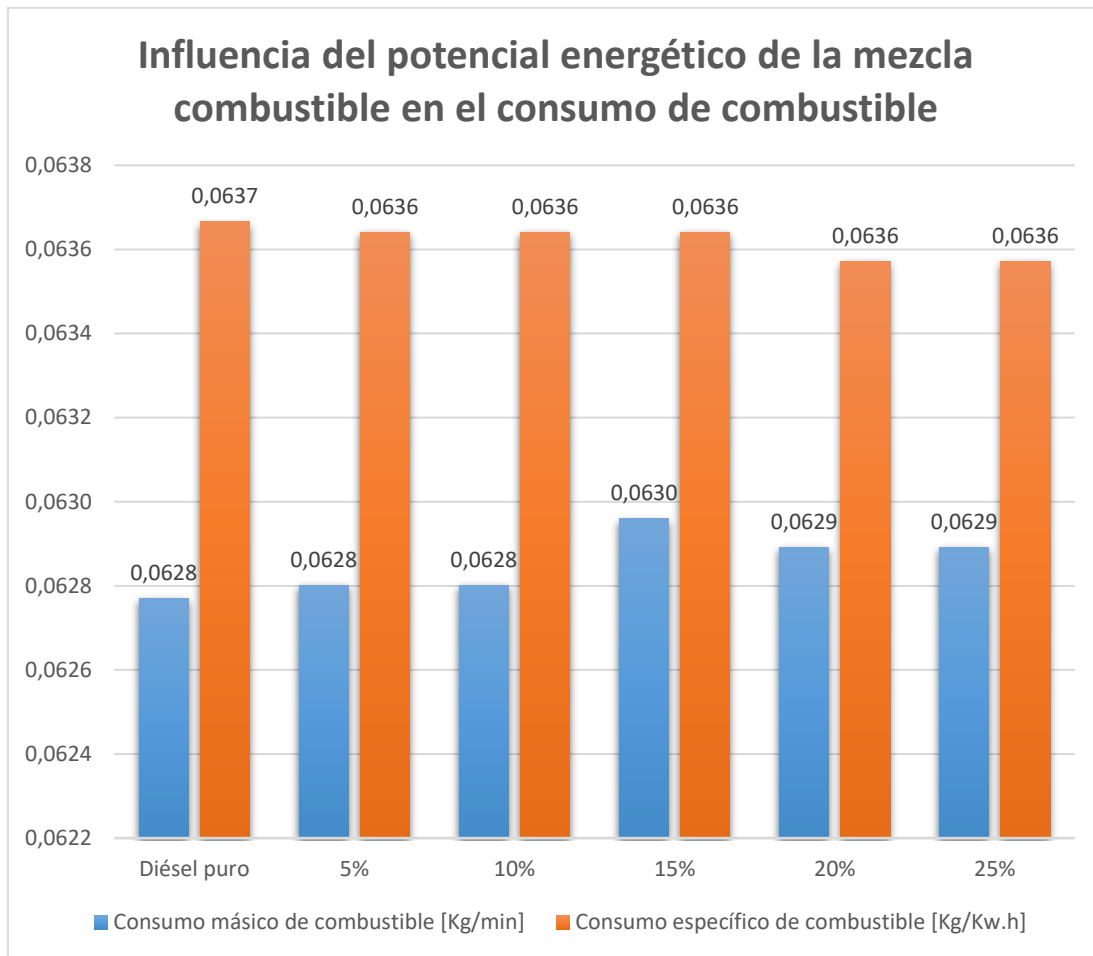


Figura 63. Consumo de combustible en el motor WL en diferentes mezclas combustibles

La Figura 63 muestra que el consumo másico de combustible aumenta ligeramente al utilizar la mezcla propuesta. Sin embargo, los valores son muy cercanos al diésel puro.

5.4. Prueba de consumo de combustible

En las Tablas 33 y 34 se observan las mediciones obtenidas la prueba de consumo de combustible al utilizar diésel puro y la mezcla al 15 %.

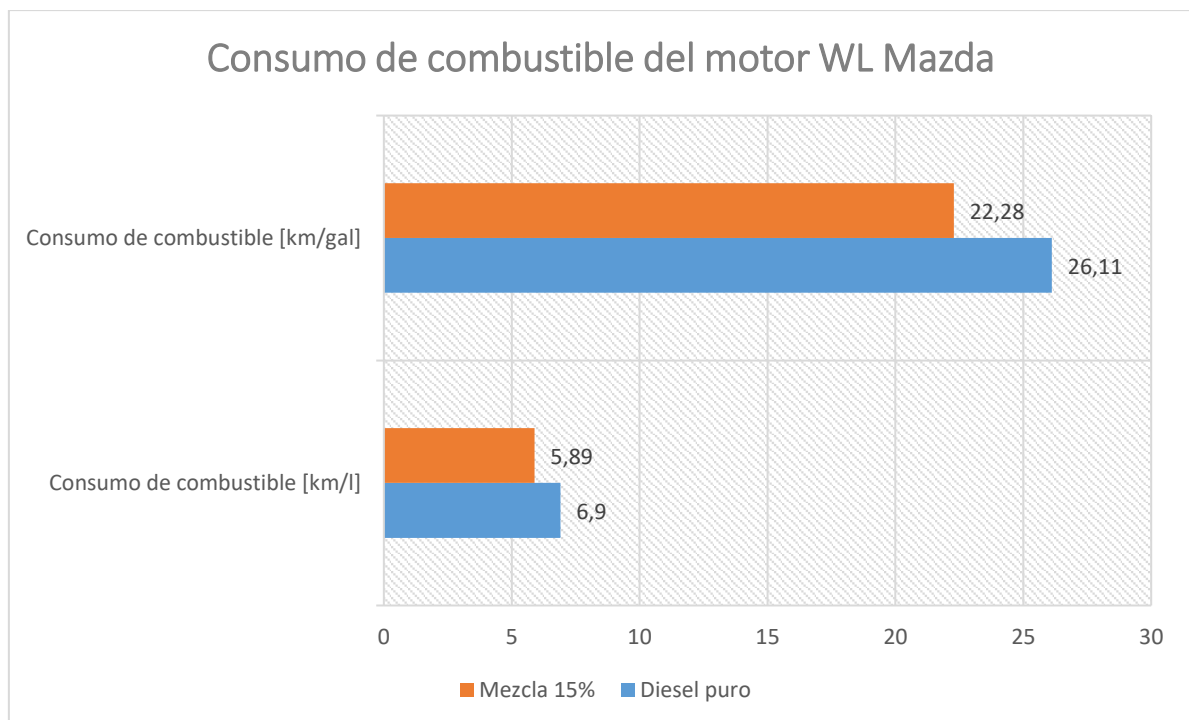
En la última columna de cada tabla se observa el promedio de las tres emisiones para realizar el estudio comparativo.

Tabla 33. Mediciones de consumo de combustible utilizando diésel puro

	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	
Volumen inicial[ml]	8100	8100	8100	
Volumen final [ml]	7600	6900	6300	Promedio
Distancia medida [km]	7,5	11,5	15,6	
Distancia parcial [km]	7,5	4,1	4,1	
Variación volumen [lt]	0,500	1,200	1,800	
Consumo de combustible [km/l]	15	3,4167	2,2778	6,9
Consumo de combustible [km/gal]	56,775	12,9321	8,6214	26,11

Tabla 34. Mediciones de consumo de combustible utilizando la mezcla combustible al 15 %.

	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	
Volumen inicial[ml]	5000	4100	2850	
Volumen final [ml]	4100	2850	2150	Promedio
Distancia medida [km]	7,3	12,5	17,9	
Distancia parcial [km]	5,2	5,2	5,4	
Variación volumen [lt]	0,9	1,25	0,7	
Consumo de combustible [km/l]	5,777	4,16	7,714	5,89
Consumo de combustible [km/gal]	21,8689	15,7456	29,1986	22,28

**Figura 64. Consumo de combustible del motor WL Mazda**

La Figura 64 indica las mediciones obtenidas del consumo de combustible en dos unidades, kilómetros recorridos por galón y kilómetros recorridos por litro de combustible.

Se observa que al utilizar la mezcla al 15 % el consumo de combustible disminuye ligeramente respecto al uso del diésel puro. Esto debido al mayor potencial energético (poder calorífico) que posee el combustible.

El mejoramiento del consumo de combustible es del 14,64 % cuando se usa la mezcla al 15 %.

5.5 Estudio de emisiones producto de la combustión

Se realizaron dos ensayos para el combustible testigo (diésel puro) y tres ensayos para la mezcla combustible al 15 %.

Los resultados de los ensayos N1, N2 y N3 de las emisiones al utilizar diésel puro se muestran en las Tablas 35, 36 y 37, respectivamente.

Tabla 35.

Ensayo N1. De emisiones del motor WL usando diésel puro.

RPM	CO	CO2	HC	O2	NOx
	% vol	% vol	ppm vol	% vol	% vol
750	0,040	2,400	0,00	17,540	258,000
1000	0,060	2,300	0,00	17,450	140,000
1500	0,080	2,600	0,00	16,940	213,000
2000	0,100	2,400	0,00	17,140	82,000
2500	0,350	2,400	0,00	17,230	54,000
3000	0,070	3,000	5,00	16,760	237,000
3500	0,260	3,000	15,00	16,430	136,000
4000	0,220	3,100	7,00	16,430	162,000

Tabla 36.**Ensayo N2. De emisiones del motor WL usando diésel puro.**

RPM	CO	CO2	HC	O2	NOx
	% vol	% vol	ppm vol	% vol	% vol
750	0,040	2,400	0,00	17,560	290,000
1000	0,060	2,200	0,00	17,650	167,000
1500	0,070	2,300	0,00	17,490	126,000
2000	0,110	2,400	0,00	17,370	102,000
2500	0,100	2,800	7,00	16,720	168,000
3000	0,340	2,700	13,00	16,670	118,000
3500	0,200	3,100	11,00	16,250	164,000
4000	0,190	3,300	8,00	15,780	202,000

Tabla 37.**Ensayo N1. De emisiones del motor WL usando la mezcla al 15 %.**

RPM	CO	CO2	HC	O2	NOx
	% vol	% vol	ppm vol	% vol	ppm vol
750	0,04	2,4	0	17,78	213
1000	0,09	2,4	0	17,68	296
1500	0,06	2,7	1	17,28	230
2000	0,11	2,5	5	17,54	127
2500	0,27	2,5	7	17,2	121
3000	0,42	2,5	15	17,05	77
3500	0,21	2,9	11	16,81	121
4000	0,2	3,5	9	16,02	197

Los resultados de los ensayos N1 y N2 al utilizar la mezcla al 15 % se muestran en las Tablas 38, 39, respectivamente.

Tabla 38.**Ensayo N2. De emisiones del motor WL usando la mezcla al 15 %.**

RPM	CO	CO2	HC	O2	NOx
	% vol	% vol	ppm vol	% vol	ppm vol
750	0,04	2	0	18,38	189
1000	0,04	2,4	0	17,88	260
1500	0,07	2,4	0	17,76	120
2000	0,08	2,5	2	17,18	194
2500	0,11	2,6	4	17,4	120
3000	0,4	2,5	13	17,15	77
3500	0,18	2,9	8	16,86	112
4000	0,2	3,4	7	15,97	193

Tabla 39.**Ensayo N3. De emisiones del motor WL usando la mezcla al 15 %.**

RPM	CO	CO2	HC	O2	NOx
	% vol	% vol	ppm vol	% vol	ppm vol
750	0,02	1,2	0	20,11	51
1000	0,06	2,4	0	17,67	267
1500	0,06	2,5	1	17,45	204
2000	0,06	2,9	3	17,2	239
2500	0,1	2,5	5	17,4	106
3000	0,36	2,6	14	17,16	88
3500	0,17	2,9	9	16,87	143
4000	0,18	3,4	6	16,34	187

Se elaboró un resumen con el promedio de las mediciones para poder realizar el estudio comparativo de las emisiones producto de los dos combustibles ensayados. El resumen se muestra en la Tabla 40.

Tabla 40.**Promedio de mediciones de emisiones producto del uso de diésel y mezcla al 15 %.**

n [rpm]	CO [%vol]		CO2 [%vol]		HC [ppm vol]		O2 [%vol]		NOx [ppm vol]	
	Diésel puro	Mezcla 15 %	Diésel puro	Mezcla 15 %	Diésel puro	Mezcla 15 %	Diésel puro	Mezcla 15 %	Diésel puro	Mezcla 15 %
750	0,04	0,03	2,40	1,87	0,00	0,00	17,55	18,76	274,00	151,00
1000	0,06	0,06	2,25	2,40	0,00	0,00	17,55	17,74	153,50	274,33
1500	0,08	0,06	2,45	2,53	0,00	0,67	17,22	17,50	169,50	184,67
2000	0,11	0,08	2,40	2,63	0,00	3,33	17,26	17,31	92,00	186,67
2500	0,23	0,16	2,60	2,53	3,50	5,33	16,98	17,33	111,00	115,67
3000	0,21	0,39	2,85	2,53	9,00	14,00	16,72	17,12	177,50	80,67
3500	0,23	0,19	3,05	2,90	13,00	9,33	16,34	16,85	150,00	125,33
4000	0,21	0,19	3,20	3,43	7,50	7,33	16,11	16,11	182,00	192,33

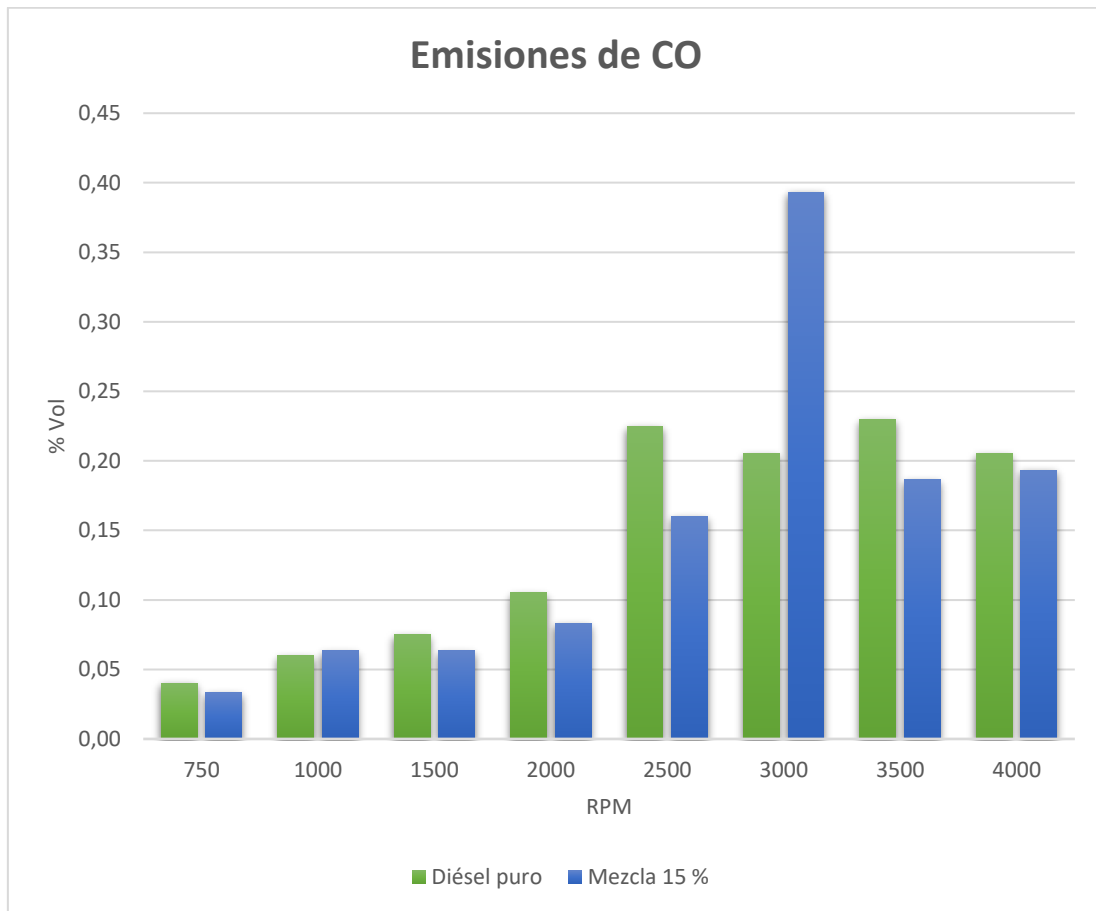


Figura 65. Emisiones de monóxido de carbono utilizando diésel puro y mezcla al 15 %.

En la Figura 65 muestra que las emisiones de CO disminuyen para la mayoría de regímenes analizados al utilizar la mezcla propuesta, a excepción de 1000 y 3000 rpm. En éste último, las emisiones se disparan aumentando en un 91,9 % respecto al combustible testigo (diésel puro).

En general se observa que las emisiones de monóxido de carbono disminuyen para velocidades bajas del motor.

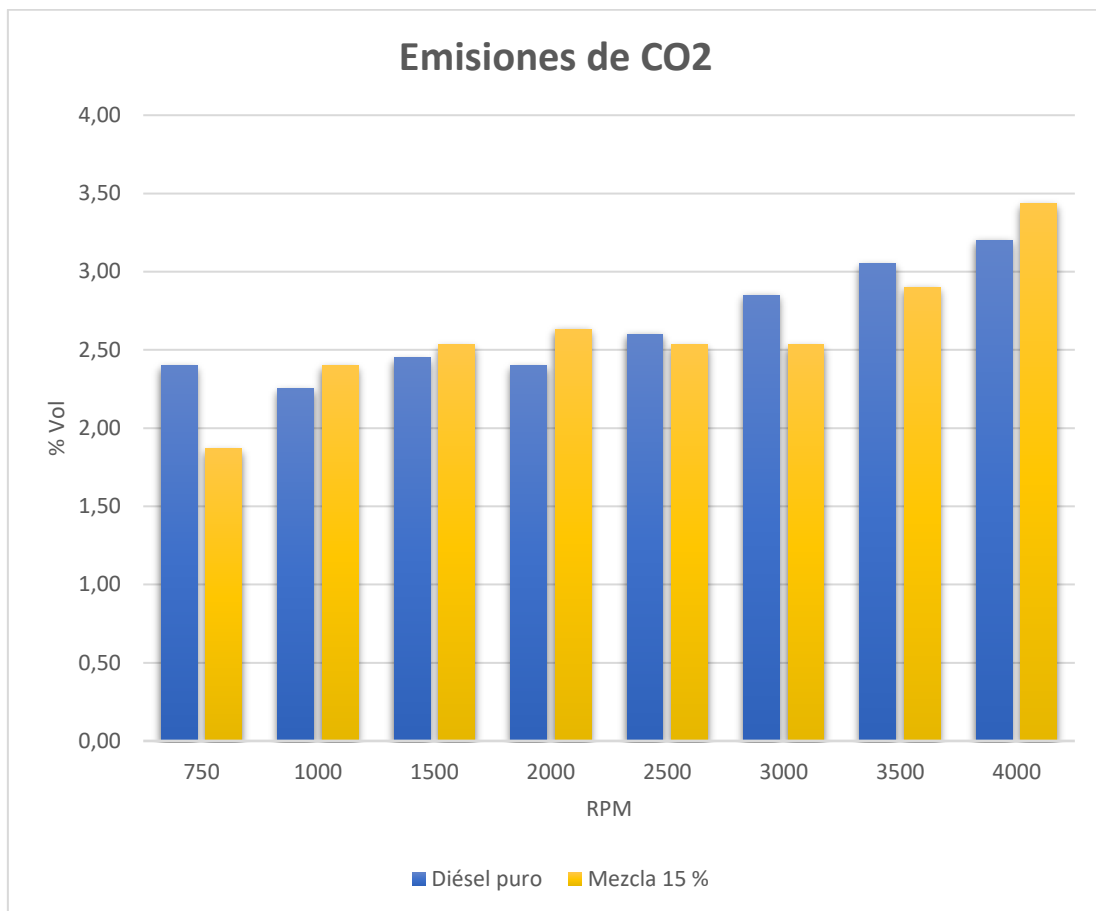


Figura 66. Emisiones de dióxido de carbono utilizando diésel puro y mezcla al 15 %.

Respecto a las emisiones de dióxido de carbono, se observa en la Figura 66 una tendencia casi similar a la del combustible testigo (diésel puro).

Es notable una disminución del 22,2 % de emisiones CO₂ a 750 rpm (ralentí) al usar la mezcla al 15 %. El aumento de emisiones de dióxido de carbono más evidente se da a 2000 rpm en el cual el incremento es del 9,7 %.

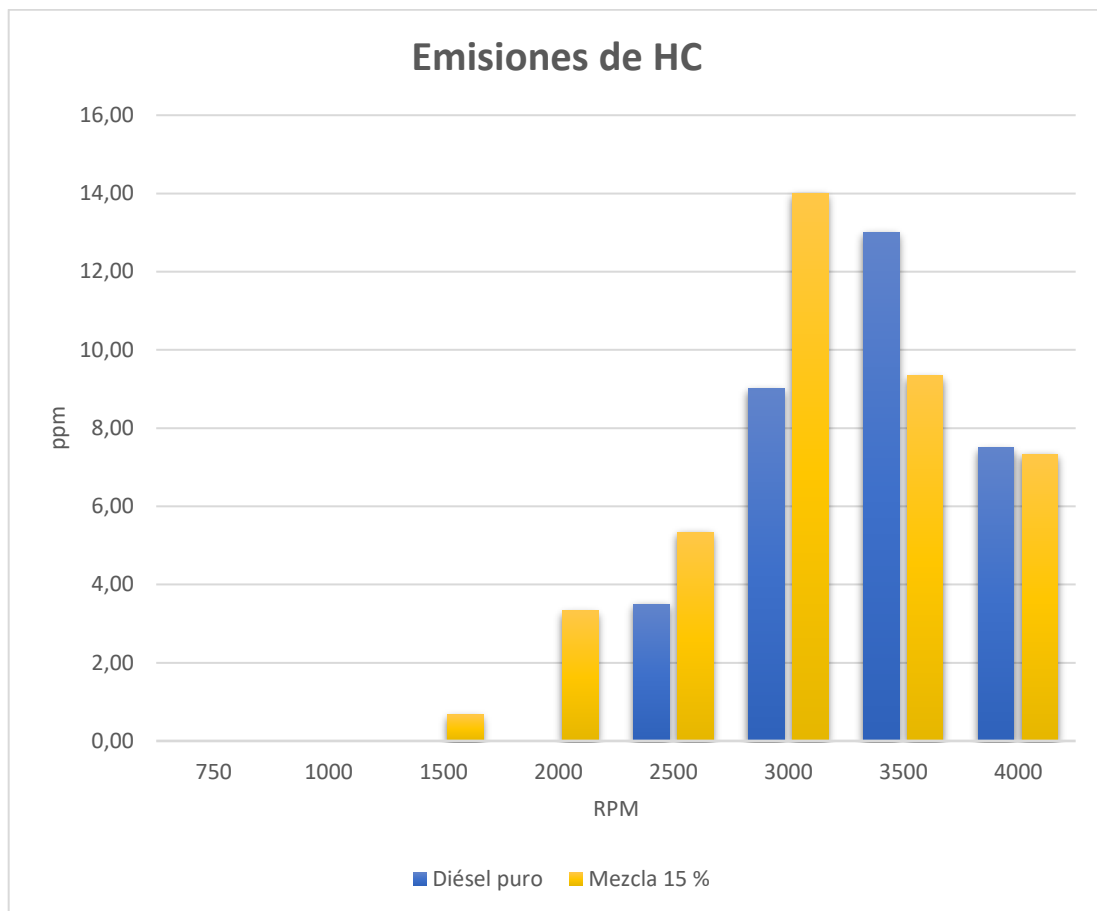


Figura 67. Emisiones de hidrocarburos no combustionados utilizando diésel puro y mezcla al 15 %.

Las emisiones de hidrocarburos no combustionados son imperceptibles a bajas revoluciones del motor, como se muestra en la Figura 67.

Se evidencia un incremento de HC en el intervalo de 1500 a 3000 rpm cuando se utiliza la mezcla al 15 % como combustible, mostrando un incremento del 55,6 % a 3000 rpm. Sin embargo, a partir de este punto la cantidad de hidrocarburos no combustionados disminuye notablemente.

El último punto de medición (4000 rpm) los valores de las emisiones de HC son casi iguales al comparar los dos combustibles estudiados.

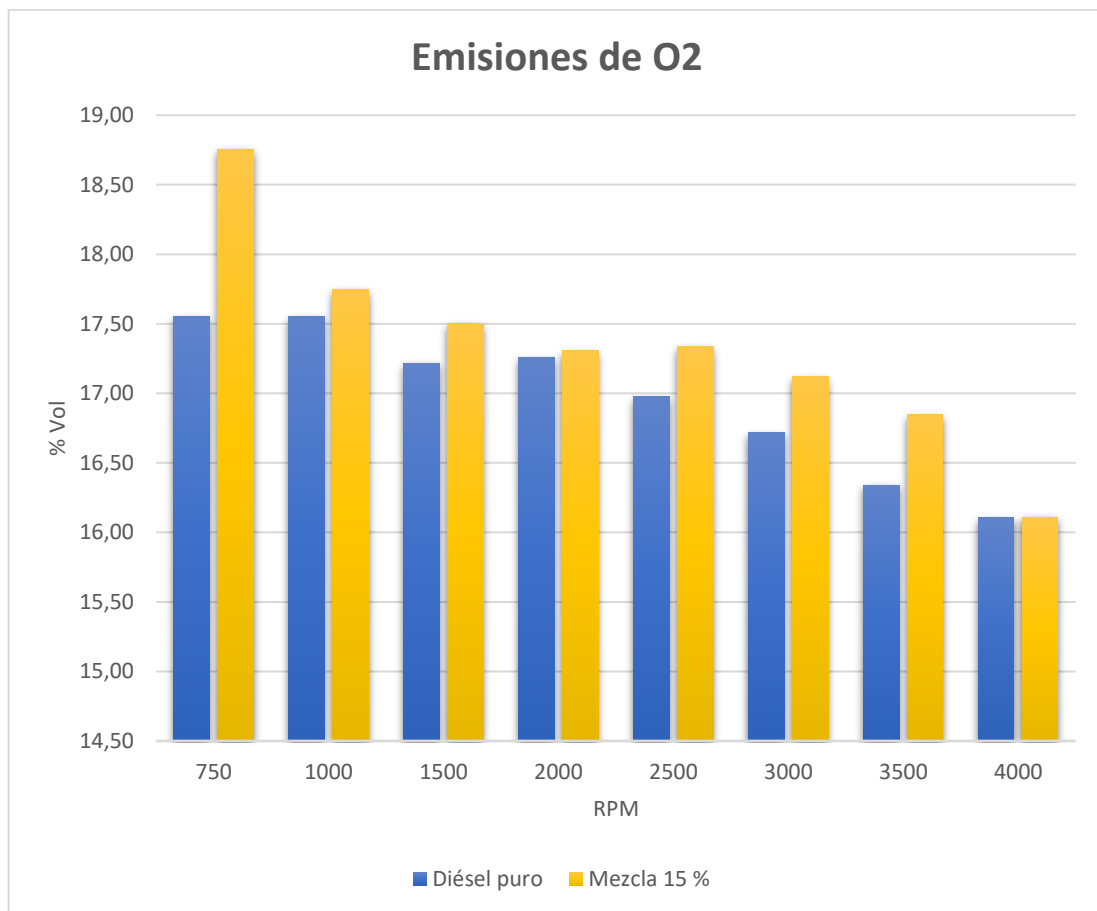


Figura 68. Emisiones de oxígeno utilizando diésel puro y mezcla al 15 %.

La Figura 68 muestra las emisiones de oxígeno residual producto de la combustión aumentan al usar la mezcla al 15 % para todos los regímenes del motor.

A excepción de 4000 rpm, la medición del volumen de oxígeno es invariable al comparar los dos combustibles utilizados.

El incremento más alto se evidencia a ralentí (750 rpm) aumentando la cantidad de oxígeno en un 6,88 %.

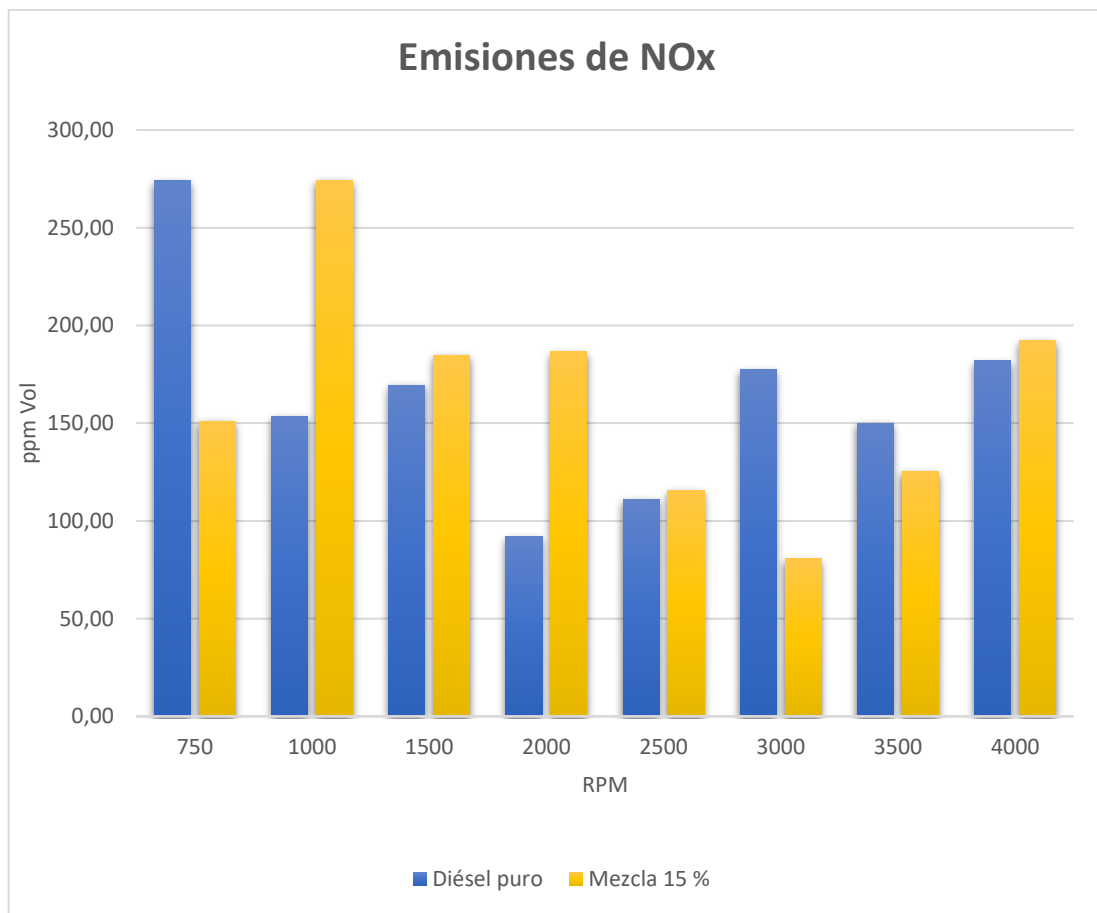


Figura 69. Emisiones de óxidos de nitrógeno utilizando diésel puro y mezcla al 15 %.

El gráfico estadístico de la Figura 69 muestra la variación en la concentración de emisiones de óxidos de nitrógeno con ambos combustibles.

La variación es fluctuante para todos los regímenes del motor analizados. Sin embargo, se observa que a 2000 rpm las emisiones aumentan en un 102,9 % con respecto al uso de la mezcla al 15 %, lo cual representa un incremento de más del doble comparado con el diésel puro.

Las mayores disminuciones se encuentran a 750 rpm (ralentí) y a 3000 rpm siendo 44,89 % y 54,55 %, respectivamente.

5.6 Estudio de la opacidad

En la Tabla 41 se muestran los resultados obtenidos con el uso del opacímetro Cartek cuando se usa diésel puro y la mezcla al 15 %.

Tabla 41.

Resultados de la prueba de opacidad con el equipo Cartek.

			Opacidad	Promedio
			[%]	[%]
Diésel puro	Ensayo 1	Prueba 1	13,28	13,28
		Prueba 2	13,53	
		Prueba 3	13,03	
	Ensayo 2	Prueba 1	13,17	13,32
		Prueba 2	13,52	
		Prueba 3	13,36	
Mezcla 15 %	Ensayo 1	Prueba 1	14,55	16,20
		Prueba 2	16,26	
		Prueba 3	17,78	
	Ensayo 2	Prueba 1	11,69	14,35
		Prueba 2	12,56	
		Prueba 3	13,24	

En la figura 70 se puede observar la variación en la medición de los porcentajes de opacidad en el motor Mazda WL al utilizar los dos combustibles propuestos.

Es evidente el aumento del valor de opacidad cuando se usa la mezcla propuesta al 15 %. Sin embargo, el incremento es de únicamente del 7,75 %.

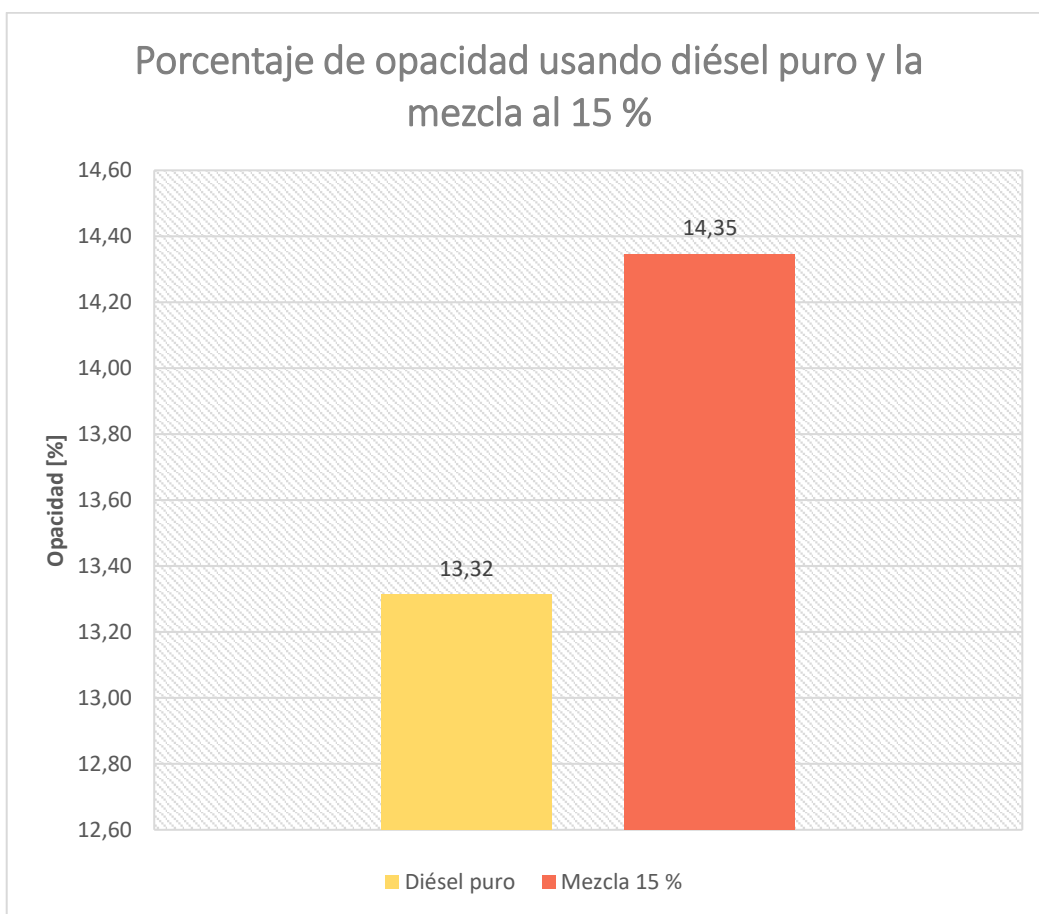


Figura 70. Porcentaje de opacidad producida por el diésel puro y la mezcla al 15 % en el motor Mazda WL.

En la Tabla 42 se muestran los resultados de la medición del coeficiente de absorción luminosa k con el uso del opacímetro Brain Bee para los dos combustibles estudiados.

Tabla 42.

Resultados de la prueba de opacidad con el equipo Brain Bee.

			K Coeficiente de absorción luminosa (medido)	Promedio (calculado)	
			m^{-1}	[%]	
Diésel puro	Ensayo 1	Prueba 1	0,13	0,50	0,72
		Prueba 2	0,33		
		Prueba 3	1,03		
	Ensayo 2	Prueba 1	0,85	0,90	
		Prueba 2	0,98		
		Prueba 3	1		
	Ensayo 3	Prueba 1	0,85	0,80	
		Prueba 2	0,73		
		Prueba 3	0,71		
	Ensayo 4	Prueba 1	0,58	0,70	
		Prueba 2	0,73		
		Prueba 3	0,82		
	Ensayo 5	Prueba 1	0,71	0,70	
		Prueba 2	0,73		
		Prueba 3	0,77		
Mezcla 15 %	Ensayo 1	Prueba 1	0,41	0,40	
		Prueba 2	0,43		
		Prueba 3	0,47		
	Ensayo 2	Prueba 1	0,44	0,40	
		Prueba 2	0,45		
		Prueba 3	0,45		
	Ensayo 3	Prueba 1	0,45	0,50	
		Prueba 2	0,52		
		Prueba 3	0,54		
	Ensayo 4	Prueba 1	0,36	0,40	
		Prueba 2	0,47		
		Prueba 3	0,51		

La Figura 71 muestra las mediciones de K en la unidad (m^{-1}) para los combustibles usados.

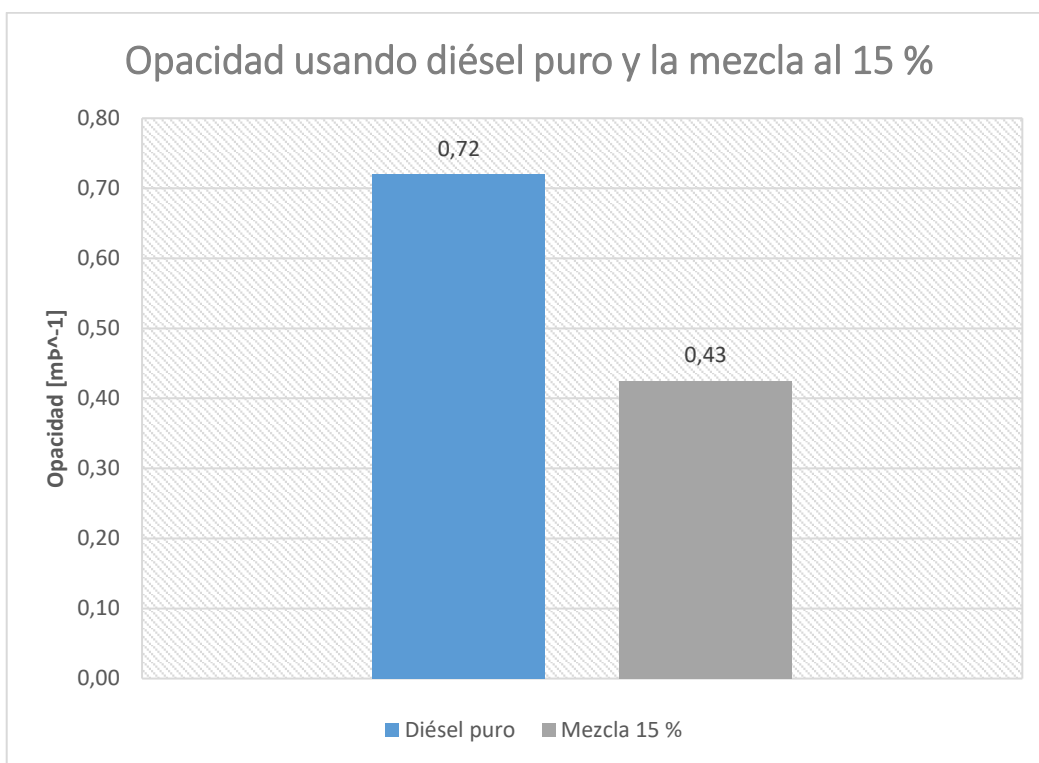


Figura 71. Opacidad producida por el diésel puro y la mezcla al 15 % en el motor Mazda WL.

CAPÍTULO VI

6. MARCO ADMINISTRATIVO

6.1. Recursos Utilizados

6.1.1. Recurso Institucional

Para la investigación es importante detallar los recursos institucionales empleados.

Cuadro No. 1. Recursos Institucionales

Institución:	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Dirección:	Ecuador, Cotopaxi-Latacunga Calle Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez
Teléfono:	593(3)2810-206 / 2813-130 / 2810-326

6.1.2. Recurso Humano

La investigación empleó los siguientes recursos humanos.

Cuadro No. 2. Recursos Humanos

Investigadores:	Alex Altamirano	Investigador
	Henry Pabón	Investigador
Tutor:	Ing. Germán Erazo	Director de Tesis Colaborador SAEM R&D
	Ing. Marcos Gutiérrez PhD	Director Grupo SAEM R&D
Colaboradores científicos:	Ing. Caterine Donoso	Colaboradora SAEM R&D
	Ing. Leonidas Quiroz	Colaborador Análisis de Gases y Opacidad
	Dr. Miguel Villa	Jefe Laboratorio Química

6.1.3. Recurso Material

Cuadro No. 3. Recursos Materiales

Núm.	Recurso	Cantidad
1	Equipo laboratorio químico	5 unidades
2	Equipo de seguridad	6 unidades
3	Recipientes plásticos	10 unidades
4	Recipiente 12lts	1 Unidad
5	Hojas	1 Resma
6	Cañería para diésel	2 Metros
7	Acoples	4 Unidades
8	Abrazaderas	2 unidades
9	CD	2 unidades

6.1.4. Recurso Tecnológico

Cuadro No. 4. Recursos Tecnológico

Núm.	Recurso	Cantidad
1	Caracterizaciones	6 Unidades
2	Ensayo torque y potencia	6 Unidades
3	Calibración analizador	1 Unidad
4	Mediciones analizador	8 Unidades

6.1.5. Recurso de Apoyo

Cuadro No. 5. Recursos de Apoyo

Núm.	Recurso	Cantidad
1	Viáticos chofer Camioneta	2 Días
2	Impresora	3 horas
3	Computadora	60 horas
4	Celular	3 horas

6.2. Presupuesto

El recurso económico fue de vital importancia para este estudio. Se detalla a continuación:

6.2.1. Presupuesto Recurso Material

Cuadro No. 6. Presupuesto Materiales

Núm.	R. Material	Unidad	Cant	Valor Unit.	Valor
1	Equipo laboratorio	Unidades	5	25.00	125.00
2	Equipo de seguridad	Unidades	6	15.00	90.00
3	Frascos	Unidades	10	0.50	5.00
4	Balde 12lts	Unidad	1	5.00	5.00
5	Hojas	Resma	1	3.00	3.00
6	Manguera para diésel	Metros	4	2.00	8.00
7	Acoples	Unidades	2	1.00	2.00
8	Abrazaderas	Unidades	2	1.00	2.00
9	CD	Unidades	2	1.00	2.00
				Total	242.00

6.2.2. Presupuesto Recurso Tecnológico

Cuadro No. 7. Presupuesto Tecnológico

Núm	R. Material	Unidad	Cant	Valor Unit.	Valor
1	Caracterizaciones	Unidades	6	425.60	2553.60
2	Ensayo torque y potencia	Unidades	6	30.00	180.00
3	Calibración analizador	Unidad	1	198.00	198.00
4	Mediciones analizador	Unidades	8	20.00	160.00
				Total	3,091.60

6.2.3. Presupuesto Recurso de Apoyo

Cuadro No. 8. Presupuesto Recurso de Apoyo

Núm.	R. Material	Unidad	Cant.	Valor Unit.	Valor
1	Viáticos chofer camioneta	Días	3	15.00	45.00
2	Impresora	Horas	3	2.00	6.00
3	Computadora	Horas	60	0.25	15.00
4	Celular	Horas	3	1.00	3.00
Total					69.00

6.2.4. Presupuesto General

Cuadro No. 9. Presupuesto General

Recurso	Valor
Recurso Material	242.00
Recurso Tecnológico	3,091.60
Recursos de Apoyo	69.00
Subtotal	3402.60
Imprevistos (3%)	102.08
Total	3504.68

Como se puede analizar de las tablas anteriores el total del presupuesto para la realización del proyecto de titulación contempla los recursos: material, tecnológico y de apoyo. El costo asciende a 3504.68 dólares americanos, en el cual consta también un margen del 3% que se destinará para imprevistos.

6.3. Cronograma

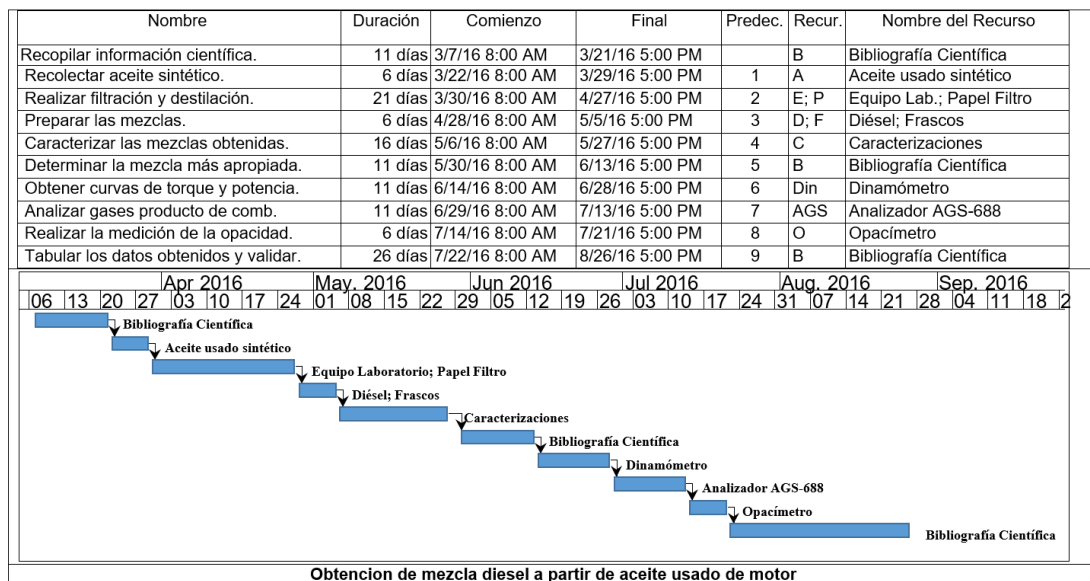


Figura 72. Cronograma

6.4. Análisis financiero de la rentabilidad del proyecto

Para poder determinar si el proyecto de investigación es factible y contribuirá positivamente al incremento de la producción de la provincia y el país es absolutamente necesario un análisis financiero del mismo. La factibilidad o no, que de muestre este análisis financiero, guiará para la puesta en marcha de este proyecto.

Para poder analizar los aspectos financieros del proyecto se propone seguir el siguiente esquema:

- Determinar inversión en activos.
- Determinar inversión en capital de trabajo.
- Determinar fuentes de financiamiento.
- Determinar la oferta de aceite usado en la ciudad de Latacunga.
- Analizar costos y precio de venta.
- Determinar el flujo de caja proyectado para cinco años.

- Realizar el cálculo del: Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), para determinar la rentabilidad del proyecto.
- Realizar el análisis sobre la factibilidad del proyecto.

6.4.1. Inversión en Activos

La inversión necesaria para la puesta en marcha del proyecto consta de maquinaria especializada que permita realizar este proceso de manera industrial. Para ello se ha recurrido a una planta de reciclaje completa que viene lista para funcionar y el fabricante garantiza una purificación de 1200 galones de aceite al día, con un consumo de 40 KWh, además también se hará uso de otras maquinarias tales como un vehículo de transporte, contenedores, tanque reservorios entre otros, los cuales son fundamentales para la operación. En el cuadro que se presenta a continuación se pueden ver claramente estos rubros con su respectivo costo y posteriormente el costo total de la inversión requerida en maquinaria y equipo.

Cuadro No. 10. Maquinaria y Equipo

Maquinaria y Equipo	
Terreno	\$50.000,00
Planta de reciclaje	\$10.000,00
Vehículo	\$25.000,00
Contenedor de transporte	\$5.000,00
Contenedores estáticos	\$2.000,00
Bombas hidráulicas	\$1.000,00
Mascarillas	\$400,00
Mandiles	\$400,00
Guantes	\$100,00
Tubería	\$250,00
Total	\$94.150,00

6.4.2. Inversión en capital de trabajo

El proyecto contará inicialmente con siete personas:

- 1 Jefe principal
- 1 Encargado de operación de la planta.
- 2 ayudantes para transporte.
- 2 Obreros.
- 1 Guardia de seguridad.

El siguiente cuadro muestra los costos reales de cada empleado, así como el costo real total de la inversión en capital de trabajo:

Cuadro No. 11. Capital de trabajo

Empleado	Base	Costo real mensual
Jefe principal	\$800,00	\$920,00
Encargado de operación de la planta	\$700,00	\$805,00
Ayudante para transporte #1	\$400,00	\$460,00
Ayudante para transporte #2	\$400,00	\$460,00
Obrero #1	\$366,00	\$420,90
Obrero #2	\$366,00	\$420,90
Guardia de seguridad	\$366,00	\$420,90
Costo Real Mensual		\$3.907,70
Costo Real Anual		\$46.892,40

6.4.3. Fuentes de financiamiento

Para la puesta en marcha del proyecto es necesaria una inversión considerable por lo que la opción de un préstamo bancario es necesaria para la adquisición de todo el equipo que se requiere, así como para cubrir los gastos de los primeros meses (sueldos, arriendo y otros gastos de administración). El siguiente cuadro muestra la tabla amortización de la deuda basada en los parámetros del préstamo:

Cuadro No. 12. Parámetros del préstamo

Deuda	\$150000,00
Tasa	11,00%
Períodos	5 años
Cuota	\$40.585,55

Cuadro No. 13. Tabla de amortización

N	Saldo inicial	Cuotas	Interés	Capital	Saldo final
1	\$150.000,00	\$40.585,55	16500,00	\$24.085,55	\$125.914,45
2	\$125.914,45	\$40.585,55	13850,59	\$26.734,96	\$99.179,50
3	\$99.179,50	\$40.585,55	10909,74	\$29.675,80	\$69.503,70
4	\$69.503,70	\$40.585,55	7645,41	\$32.940,14	\$36.563,56
5	\$36.563,56	\$40.585,55	4021,99	\$36.563,56	\$0,00

6.4.4. Cantidad de aceite disponible en Latacunga

Tomando en cuenta el dato obtenido del diario La Gaceta en su artículo Matriculación Vehicular 2016 publicado el 16 de enero de 2016, en la ciudad de Latacunga se matricularon 42000 vehículos en el año 2015.

El diario La Hora Cotopaxi en su artículo Municipio Trabaja con lubricadoras, publicado el 27 de mayo de 2013, asegura que al mes una lubricadora, una mecánica y una lavadora generan 110, 80 y 20 galones al mes de desechos respectivamente. Además, también asegura que en el cantón Lasso y Latacunga existen 47 lubricadoras inscritas en el Registro Mercantil, a esto se le suman 42 mecánicas y 20 lavadoras.

De este modo se muestran los datos de capacidad de producción de la planta en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 14. Oferta de aceite usado en Latacunga

Negocio	Unidades	Cant. Desecho gal/mes	Total
Lubricadoras	47	110	5170
Mecánicas	42	80	3360
Lavadoras	20	20	400
Total desechos al mes en galones			8930
Desecho por purificar al día			446,5
Total Aceite purificado al mes (82%)			7322,6
Total aceite purificado al día			366,13

6.4.5. Costos de producción y precio de venta

Para determinar los costes de producción que este proyecto contempla se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- El costo energético será calculado mediante la ficha técnica del fabricante del equipo principal el cual asegura un consumo de 40 Kw/h.
- El rendimiento de la planta de destilación es del 82%.
- Se asume un costo de materia prima de 20 USD cada barril de 50 Gal.
- Se consideró un gasto de agua para refrigeración de 200 metros cúbicos al mes con un costo de 0,48 USD/m³.
- Se ha marcado una utilidad del 100% tomando en cuenta que es un producto único en el país cuyo beneficio desemboca principalmente en el medio ambiente.

Cuadro No. 15. Costo marginal y PVP

Costos y PVP galón	
Costos de producción	
Maquinaria	\$18.830,00
Capital de trabajo	\$46.892,40
Costo Energético	\$1.536,00
Costo materia prima	\$3.572,00
Costo servicios básicos	\$1.152,00
Costo anual Total	\$71.982,40
Costo Mensual	\$5.998,53
Costo diario	\$299,93
Costo Galón	\$0,82
PVP inc. útil. 100%	\$1,64
Monto venta mensual	\$11.997,07

6.4.6. Flujo de caja proyectado

El Flujo de Caja es un informe financiero que presenta un detalle de ingresos y egresos de dinero que tendrá el plan en cada período, este análisis es parte vital en una proyección financiera ya que muestra las posibilidades que tiene el proyecto de generar utilidades.

En este caso se ha tomado en cuenta el préstamo que se propone realizar, el capital de trabajo, gastos operativos, impuestos, gastos de constitución, servicios básicos y permisos de funcionamiento, así también se ha propuesto un incremento del 5% en las ventas anuales.

Todo lo expuesto anteriormente se resume en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 16. Flujo de Caja proyectado

	2016	2017	2018	2019	2020
Ingreso efectivo					
Saldo inicial	\$0,00	\$39.692,99	\$89.328,83	\$146.254,64	\$210.834,94
Ventas	\$143.964,80	\$151.163,04	\$158.721,19	\$166.657,25	\$174.990,11
Total ingreso Efectivo	\$143.964,80	\$190.856,03	\$248.050,02	\$312.911,89	\$385.825,05
Egreso Efectivo					
Pago préstamo	\$40.585,55	\$40.585,55	\$40.585,55	\$40.585,55	\$40.585,55
Capital de trabajo	\$46.892,40	\$46.892,40	\$46.892,40	\$46.892,40	\$46.892,40
Gastos operativos	\$5.108,00	\$5.363,40	\$5.631,57	\$5.913,15	\$6.208,81
Impuestos	\$7.033,86	\$7.033,86	\$7.033,86	\$7.033,86	\$7.033,86
Gastos servicios básicos	\$1.152,00	\$1.152,00	\$1.152,00	\$1.152,00	\$1.152,00
Gastos constitución	\$3.000,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Permisos de funcionamiento	\$500,00	\$500,00	\$500,00	\$500,00	\$500,00
Total egreso Efectivo	\$104.271,81	\$101.527,21	\$101.795,38	\$102.076,95	\$102.372,61
Flujo Neto Económico	\$39.692,99	\$89.328,83	\$146.254,64	\$210.834,94	\$283.452,44

Cuadro No. 17. Cálculo VAN y TIR

Criterios de decisión	
VAN	\$248.896,91
TIR	90%

6.4.7. Análisis del Estudio Financiero

Para todo inversionista los aspectos más importantes, aquellos que influyen en su decisión entre invertir en un proyecto u otro, son la TIR (tasa interna de retorno) y el VAN (valor actual neto del proyecto). Como se puede apreciar, este proyecto posee una alta tasa de retorno sobre la inversión (90%), y así mismo cuenta con un valor actual neto de \$ 248.896,91 USD.

Esto demuestra que es un proyecto que genera altos niveles de beneficio y rentabilidad en períodos cortos de tiempo para aquellos que invierten en el mismo, y es lo que garantiza su éxito en el mercado, es por esto que es un proyecto viable y prometedor. Es pertinente también resaltar que el rendimiento proyectado del

negocio es bueno en sus aspectos financieros evaluados, además de que da muestra del buen manejo de deudas, manejo eficiente de activos y patrimonio, y una correcta organización y uso de maquinaria, equipo, personal y demás recursos relacionados con la operación y funcionamiento de la planta de reciclaje.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Terminado el trabajo de investigación se concluye lo siguiente:

- Se realizó la investigación bibliográfica sobre el procedimiento para la purificación del aceite usado de motor, además también sobre la disposición del aceite usado en el Ecuador y de los parámetros característicos del motor.
- Las partículas producto del desgaste del motor fueron filtradas del aceite usado por medio de papel filtro. El aceite de motor usado fue purificado por medio de dos destilaciones simples consecutivas.
- Se destiló aceite de motor usado mediante el proceso de destilación simple. Durante la primera destilación se alcanza temperaturas de hasta 250° C. El proceso alcanza una temperatura máxima de 340 °C durante la segunda destilación.
- Se destilaron 10650 ml de aceite de motor usado y se obtuvo como producto 7343 ml de primera destilación. Dando como resultado un aprovechamiento del 68,95 % de la materia prima en la primera destilación.
- Se destilaron 7480 ml del producto de la primera destilación de aceite usado y se obtuvo como resultado 5422 de segunda destilación. Dando como resultado un aprovechamiento del 72,49 % de la sustancia en la segunda destilación.
- Se caracterizó las mezclas combustibles en concentraciones de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 25 % en un laboratorio certificado, arrojando como resultado que el índice de cetano, densidad API, viscosidad cinemática, cantidad de

azufre y el poder calorífico aumentan proporcionalmente a la cantidad de aceite destilado contenido en la mezcla.

- El índice de cetano aumentó en un máximo de tres puntos con respecto al diésel normal. El punto más alto de cetano es de 55 y se encuentra en la mezcla de 25%.
- El punto de inflamación es el único parámetro analizado en la caracterización de las mezclas cuyo valor disminuye con respecto a la concentración de aceite usado. El punto más bajo de inflamación es de 63,3 contenido en la mezcla de 5%.
- Se determinó que debido al poder calorífico y número de cetano, las mezclas aptas para el funcionamiento en el motor diésel son las de 5 %, 10% y 15%. Por motivos de máximo aprovechamiento del aceite destilado se optó por la mezcla del 15%.
- Todas las mezclas con concentración inferior a 20 % cumplen con la norma NTE 1489 INEN, por lo que pueden ser usadas como combustible para motores diésel en el Ecuador.
- Se obtuvieron las mediciones de torque y potencia, de un motor serie WLTA del vehículo Mazda BT-50, en el banco dinamómetro usando la mezcla al 15 % y el diésel puro obtenido de una estación de servicio.
- Se graficaron las curvas de torque y potencia del motor diésel Mazda WLTA usando la mezcla al 15 % y el diésel de una estación de servicio.
- Una vez evaluada la mezcla combustible al 15% en el motor diésel Mazda serie WLTA como combustible alternativo en el banco dinamómetro, se concluye que la potencia aumenta un 0,24% y el torque disminuye un 0,23%.

- El desempeño del motor no se ve alterado al usar la mezcla combustible al 15%. Por lo tanto, la vida útil del motor no se verá afectada si se usa este combustible.
- El análisis comparativo de las emisiones producto de la combustión usando la mezcla del 15% y diésel puro, muestra que:
 - La cantidad de CO en %Vol aumento en un 2,94%.
 - LA cantidad de ppm de HC aumentó en un 15.38%
 - La cantidad de O2 en %Vol aumento en un 0,63%.
 - La cantidad de ppm de NOX aumento en un 12,40%
- Se midió la opacidad del motor utilizando la mezcla al 15 % y el diésel adquirido de una estación de servicio con dos opacímetros marca Cartek y Brain Bee.
- La medición de opacidad determinó que en porcentaje aumenta en 7,75 % con respecto al diésel puro cuando se usa la mezcla combustible al 15 %, y en unidades de m-1 se reduce en 0,29.
- Al analizar el estudio económico se concluye que, contando con la apertura necesaria por parte del municipio y los gobiernos seccionales, es factible instalar una planta de reciclaje de aceite usado en Latacunga, además la misma generaría grandes beneficios tanto para el inversionista como para el medio ambiente.
- Realizado el análisis económico se concluye que producir 1 galón de aceite destilado cuesta 0,82 USD. El PVP se establece en 1,64 USD tomando en cuenta una utilidad del 100% por ser un producto único con beneficio ambiental incalculable.

Recomendaciones

Terminado el trabajo de investigación se recomienda lo siguiente:

- Incentivar la producción y uso de combustibles alternativos para motores a diésel, provenientes de desechos automotrices, de manera que ayuden a contener de cierta manera el daño ambiental que estos generan sin el tratamiento adecuado.
- Planificar una calibración previa de todos los equipos e instrumentos de medición a ser utilizados con la finalidad de incrementar la confiabilidad de los resultados.
- Realizar nuevos proyectos en el área de mezclas combustibles a partir de desechos, de manera que estos generen una cultura de reciclaje en la comunidad.
- Proponer un método de producción industrial que contemple el almacenamiento y distribución de la mezcla combustible a los usuarios finales.
- Difundir esta investigación a través de los repositorios digitales de modo que se socialice acerca de la existencia de nuevas alternativas de combustibles.
- Profundizar investigaciones sobre nuevos usos que pueden darse a los desechos generados en la industria automotriz, no solo del tipo combustible.
- Determinar el potencial energético que poseen las mezclas combustibles y compararlo con el de los combustibles comunes de manera que el funcionamiento de los motores no se vea afectado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida Streitwieser, D., Játiva Guzmán, F., & Aguirre Ortega, B. (2012). *Conversión del aceite lubricante usado de automóviles a Diesel #2*. Quito: Laboratorio de Desarrollo de Energías Alternativas, Universidad San Francisco de Quito.
- Almeida, C. (2012). *Etanol de caña de azúcar: el éxito de Brasil*. Obtenido de Scidev.Net.
- American Society for Testing And Materials . (2005). ASTM D 2500 - 05. *Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products*. Estados Unidos.
- American Society for Testing and Materials. (2010). ASTM D 4294 - 10. *Standard Test Method for Sulfur in Petroleum and Petroleum Products by Energy-Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry*. Estados Unidos.
- American Society for Testing and Materials. (2011). ASTM D 4006 - 11. *Standard Method for Water in Crude Oil by Distillation*. Estados Unidos.
- American Society for Testing and Materials. (2016). ASTM D 4007 - 11. *Método de prueba estándar para agua y sedimentos en petróleo crudo por el método de centrifugación*. Estados Unidos.
- Arpa, O., Yumrutas, R., & Demirbas, A. (2010). Production of diesel-like fuels from waste engine oil by pyrolytic distillation. *Elsevier Applied Energy* 87, 122-127.
- Barona López, G. A., & Rosas Huera, Á. J. (2011). *Elaboración de un manual de mantenimiento para el dinamómetro de chasis LPS 3000, instalado en el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares(CCICEV)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Beg, R. A., Sarker, M. R., & Pervez, R. (2010). Production of Diesel Fuel From Used Engine Oil. *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*.
- Bennett, S. (2010). *Modern Diesel Technology* . Clifton Park, N.Y.: Delmar Cengage Learning.
- Bugarski, A. (2012). *Controlling exposure to diesel emissions in underground mines*. . Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.

- Calleja, D. (2015). *Mantenimiento de sistemas de refrigeración y lubricación de los motores térmicos: UF1215*. Madrid: Paraninfo.
- Carlos Arroyo, S. (1990). *Motores diesel para automoviles*. Barcelona, España: EDICIONES CEAC, S.A.
- Carrión, M. J. (Diciembre de 2011). *Desarrollo de productos resultantes de la regeneración del aceite lubricante quemado para la comercialización y distribución en la ciudad de Quito, Sector Sur*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Chongqing Wanmei Electric & Machinery Co., Ltd. (2016). *Planta de reciclaje del petróleo inútil para reciclar el petróleo inútil para conseguir el combustible diesel por Distillation y el proceso de la pirolisis de la catálisis - serie de Wmr-F*. Obtenido de es.made-in-china.com: http://es.made-in-china.com/co_wmoilpurifier/product_Waste-Oil-Recycling-Plant-to-Recycle-Waste-Oil-to-Get-Diesel-Fuel-by-Distillation-and-Catalysis-Pyrolysis-Process-Wmr-F-Series_eesrhhhyg.html. Recuperado 15/05/2016
- Consejo de Ministros de Integración Económica, COMIECO. (2006). *Productos de petróleo. Aceite combustible diésel. Especificaciones. Reglamento Técnico Centroamericano*.
- Demirbas, A., Baluabaid, M. A., Kabil, M., & Ahmad, W. (2015). *Diesel Fuel From Waste Lubricating Oil bt Pyrolitic Distillation*. *Petroleum Science and Technology*.
- Diario La Hora. (27 de Mayo de 2011). *Municipio trabaja con lubricadoras*. Obtenido de lahora.com.ec: http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101147964/-1/Municipio_trabaja_con_lubricadoras.html#.WAl1bODhDIV Recuperado 24/04/2016
- Díaz, J. E. (2006). *Mecánica de fluidos e Hidráulica*. Cali: Universidad del Valle, Programa Editorial.
- Diwekar, U. (2012). *Batch Distillation. Simulation, optimal design, and control*. Boca Ratón: CRC Press.

- Erazo, G. (2013). *Evaluación del potencial energético del aceite de piñón en el motor Izusu serie DMax como fuente alternativa de energía en la ciudad de Latacunga. Utilización como biocombustible en motores diesel en proporción para reducir la polución*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Fygueroa Salgado, S. J., & Serrano Rico, J. C. (2009). Mantenimiento Predictivo de Motores Diésel Mediante el Análisis de Aceite. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 91-96.
- González Calleja, D. (2015). Motores térmicos y sus sistemas auxiliares. Madrid: Paraninfo .
- Guarnizo, A., Martínez, P. N., & Villamizar, R. H. (2008). *Química General Práctica*. Armenia: Elizcom.
- Hange, G., Mane, V., Modi, V., & More, V. (2013). *The re-refining of used lubricant oil*. Pune: Department of Chemical Engineering BRAC'T'S Vishwakarma Institute of Technology.
- Haycock, R., Caines, A. J., Haycock, R. F., & Hillier, J. E. (2004). *Automotive Lubricants Reference Book*. London Warrendale, PA: Professional Engineering Pub Society of Automotive Engineers.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2014). Gestión Ambiental. Estandarización de colores para recipientes de depósito y almacenamiento temporal de residuos sólidos. Requisitos. *NTE INEN 2841*. Ecuador.
- La Gaceta. (19 de Enero de 2016). *Matriculación vehicular 2016 se iniciará próximamente en la Unidad de Movilidad de Latacunga*. Obtenido de lagaceta.com.ec:
http://lagaceta.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=39333:matriculacion-vehicular-2016-se-iniciara-proximamente-en-la-unidad-de-movilidad-de-latacunga&catid=68&Itemid=104&lang=es Recuperado 4/05/2016
- Mandri, T., & Lin, J. (2007). Isolation and characterization of engine oil degrading indigenous microorganisms in Kwazulu-Natal, South Africa. *African Journal of Biotechnology Vol. 6(1)*, 23-27.
- Morraja, M., & Miranda, A. (2009). *Ingeniería térmica*. Barcelona: Marcombo.

- Mott, R. L., Brito, J., & Cárdenas, J. (2006). *Mecánica de fluidos*. México D.F.: Prentice-Hall Pearson Educación.
- Naima, K., & Liazid, A. (2013). Waste oils as alternative fuel for diesel engine: A Review. *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels Vol. 4*, 30-24.
- Nematullah, M., Sohail, M., Babu, R., & Lotia, N. (2014). Recycling waste automotive engine oil as alternative fuel for diesel engine: A Review. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 46-50.
- Ortiz Hernández, A. P. (2013). *Módulo didáctico del turbocompresor de geometría variable del motor Mazda BT-50 WLC 2.5 CRDI*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Parlamento Europeo. (2004). Propuesta de Resolución Común. *Conferencia Internacional de Energías Renovables*. Bonn.
- Rand, S. (2003). *Significance of test for petroleum products*. West Conshohocken: ASTM International.
- Sánchez Gutiérrez, M. (2013). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos*. Málaga: IC Editorial.
- Sanz, S. (2011). *El motor Diesel de cuatro tiempos*. Editex.
- Sanz, S. (2011). *Motores*. Editex.
- Sengupta, M. (1990). *Mine environmental engineering*. Boca Ratón: CRC Press.
- Tormos, B. (2012). *Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado*. Barcelona: Reverté.
- Universidad Central del Ecuador, FIGEMPA. (s.f.). *Manejo ambientalmente adecuado de los desechos aceitosos en el Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Vallejos, E. (2015). *Mecánica Automotriz: Motores a explosión y motores diesel*.
- Vázquez, R. (1989). Environmental Impact of Used Motor Oil. *Science of The Environment*.
- Vest, H. (2000). Reuso y refinación de aceite de motor. *Infogate GTZ*.
- Wright, J. (Noviembre de 2011). *The Basics of Synthetic Oil Technology*. Obtenido de Machinery Lubrication: <http://www.machinerylubrication.com/Read/28671/basics-of-syntic-oil->

- Wright, J. (Noviembre de 2011). *The Basics of Synthetic Oil Technology*. Obtenido de Machinery Lubrication: <http://www.machinerylubrication.com/Read/28671/basics-of-syntic-oil-> Recuperado 118/06/2016
- Yash, M. (2015). Used Oil: A Renewable Resource and an Environmental Pollutant. *International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6*.

ANEXOS

Anexo No. 1.

Ficha técnica del vehículo

Anexo No. 2.
Resultados de la
caracterización

Anexo No. 3.

**Resultados del ensayo de
torque y potencia**

Anexo No. 4.

**Resultados de la medición de
componentes de los gases de
escape**

Anexo No. 5.

**Resultados de la medición de
opacidad**

Anexo No. 6.

**Certificado de calibración del
analizador de gases AGS-688**

Anexo No. 7.

Cronograma de actividades

Anexo No. 8.

Grupo de Investigadores del

Proyecto

Grupo de Investigadores del Proyecto “Obtención de la mezcla combustible diésel con aceites lubricantes reciclados del automóvil en concentraciones de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 30 % y determinación de los parámetros característicos del motor.”

Nombre	Función	Carrera/Departamento
Alex Altamirano	Investigador	Ingeniería Automotriz
Henry Pabón	Investigador	Ingeniería Automotriz
Ing. Germán Erazo MSc.	Director de Tesis Colaborador del grupo SAEM R&D	Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Ing. Marcos Gutiérrez PhD.	Director del grupo SAEM R&D	Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Ing. Catherine Donoso	Colaboradora del grupo SAEM R&D	Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **ALEX DARÍO ALTAMIRANO BAÑO** y **HENRY GONZALO PABÓN QUITO**.

En la ciudad de Latacunga, a los **23** días del mes de **noviembre** de **2016**.



Ing. Germán Erazo
DIRECTOR DEL PROYECTO



Ing. Danilo Zambrano
DIRECTOR DE CARRERA AUTOMOTRIZ

Aprobado por



Dr. Juan Carlos Díaz
SECRETARIO ACADÉMICO

