



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: INVESTIGACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE
LA EMULSIÓN DIÉSEL-ETANOL PARA DETERMINAR SU
INFLUENCIA EN LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y
TÉRMICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A
DIÉSEL**

AUTOR: OSCAR FABRICIO CHICAIZA YUGCHA

DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO

LATACUNGA

2017



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y

MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“INVESTIGACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA EMULSIÓN DIÉSEL-ETANOL PARA DETERMINAR SU INFLUENCIA EN LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y TÉRMICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A DIÉSEL”*** realizado por el señor ***OSCAR FABRICIO CHICAIZA YUGCHA***, 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 las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor ***OSCAR FABRICIO CHICAIZA YUGCHA*** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 1 de Agosto del 2017

ING. GERMÁN ERAZO
DIRECTOR



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **OSCAR FABRICIO CHICAIZA YUGCHA**, con cédula de ciudadanía N° 172456275-4 declaro que este trabajo de titulación "**INVESTIGACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA EMULSIÓN DIÉSEL-ETANOL PARA DETERMINAR SU INFLUENCIA EN LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y TÉRMICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A DIÉSEL**" 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 mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 1 de agosto del 2017

OSCAR FABRICIO CHICAIZA YUGCHA

C.C.: 172456275-4



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

AUTORIZACIÓN

Yo, **OSCAR FABRICIO CHICAIZA YUGCHA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA EMULSIÓN DIÉSEL-ETANOL PARA DETERMINAR SU INFLUENCIA EN LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y TÉRMICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A DIÉSEL”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 1 de agosto del 2017

Una firma manuscrita en tinta azul sobre un fondo blanco con una línea horizontal debajo.

OSCAR FABRICIO CHICAIZA YUGCHA

C.C.: 172456275-4

DEDICATORIA

De corazón a Dios y la virgencita del Cisne, por las bendiciones derramadas en toda mi vida y mi trayectoria estudiantil, a mi tía Hortensia Almachi que en paz descansé, quien me brindó todo el apoyo, y hoy no está junto a mí, para disfrutar de mi sueño tan anhelado como ella lo quería.

A mis amados padres Ramiro Chicaiza y Gladys Yugcha por la fortaleza y sacrificio que hicieron para llegar a la cúspide de mi meta su apoyo incondicional, sus sabios consejos y enseñanzas me permiten seguir adelante con sencillez y humildad, a ustedes mi dedicación...

A mis hermanos Xavi, Elizabeth, Maga, Danny, Doris, Steffi, Jhosse, y Anthony el apoyo que me brindan día a día y las metas alcanzadas por ustedes son grandes ejemplos a seguir, a Jorge Luis sus palabras fueron un aliento fundamental para culminar mi meta, con mucho cariño a todos mis hermanos mi dedicación...

A mi querida familia tí@s Washington Chicaiza, Arturo Chasi y Mariana Yugcha, quienes me acogieron en sus hogares como un hijo más, mis prim@s Byron, David, Cristina, Carlita, Melanie, Doris y Jess con quienes compartí momentos buenos y malos durante el transcurso de mis estudios y mi vida, siempre estuvieron con palabras de aliento para llegar a culminar mi sueño, más que mis primos son mis hermanos...

A mí amigos que durante estos años de estudio conocí y estuvieron siempre pendientes de mis estudios, su apoyo brindado en cada nivel de mi carrera fue fundamental en especial a Diego, Rouse y Eli que demostraron, que con sacrificio y dedicación se puede cumplir las metas...

Mi dedicación especial a Maribel que está a mi lado brindándome su apoyo, confianza, amor y sus palabras de aliento, me ayudó a conquistar mi meta, con trabajo y con la bendición de Dios saldremos adelante...

Mi dedicación fraterna a Isaac y Emily, mis hermosos angelitos que me impulsan a seguir adelante y sonreír a la vida, son la alegría de mi vida y mi bendición...

Fabricio Chicaiza

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a Dios por la salud y vida que me ha dado para llegar a cumplir tan grande objetivo y por permitirme seguir adelante ante cualquier situación, mil gracias...

A mis queridos padres Ramiro Chicaiza y Gladys Yugcha por el sacrificio que hicieron día a día su ejemplo de lucha y entrega me permitieron culminar mi meta, mis hermanos Maga, Danny, Doris, Steffi, gracias por todo el apoyo que me brindaron en el transcurso de mis estudios y el apoyo que me dan en mi vida diaria...

A mí director Ing. Germán Erazo, con sus palabras y conocimientos me permitieron culminar con éxito mi proyecto de investigación, Al Doc. Pablo Bonilla, con su experiencia y sabiduría, fue de gran ayuda en la investigación, Al Ing. Alberto Naranjo, por la ayuda y tiempo dedicado en el trayecto y sustentación de la presente investigación...

A mis nuevas amistades Evelin y Mariel, gracias por su tiempo brindado en el transcurso de las pruebas y por la gran idea, para lograr cumplir mi meta...

Fabricio Chicaiza

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xx
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxi
RESUMEN	xxii
ABSTRACT	xxiii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Descripción resumida del proyecto	3
1.4. Justificación e importancia	4
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.6. Metas	7

1.7. Hipótesis	7
1.8. Variables de investigación	8
1.8.1. Variable independiente	8
1.8.2. Variable dependiente	8
1.9. Métodos y técnicas	9
1.9.1. Método Inductivo.....	9
1.9.2. Método deductivo.....	9
1.9.3. Método analítico.....	9
1.9.4. Método de síntesis	9
1.9.5. Método comparativo	10
1.9.6. Método de observación directa	10
1.9.7. Método de medición.....	10
1.9.8. Método de matematización	10

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL	14
2.1. Motor a diésel	14
2.1.1. Funcionamiento	15
2.2. Parámetros del motor Diésel.....	17
2.2.1. Sección del pistón	17
2.2.2. Cilindrada unitaria	17
2.2.3. Cilindrada total	18
2.2.4. Número de ciclos por revolución.....	18
2.2.5. Régimen de giro (n)	19
2.2.6. Velocidad media del pistón (cm).....	19
2.2.7. Gasto de combustible	20

2.2.8. Poder calorífico	20
2.2.9. Gasto másico	21
2.2.10. Torque o par efectivo	21
2.2.11. Potencia al freno	22
2.2.12. Eficiencia térmica	22
2.2.13. Eficiencia volumétrica	23
2.2.14. Consumo volumétrico de aire teórico.....	23
2.2.15. Consumo específico de combustible	24
2.2.16. Presión media efectiva.....	25
2.2.17. Relación aire/combustible.....	25
2.3. Opacidad.....	26
2.3.1. Límites máximos de opacidad.....	26
2.4. Propiedades fisicoquímicas de los combustibles.....	27
2.4.1. Densidad.....	27
2.4.2. Densidad relativa	27
2.4.3. Densidad absoluta	28
2.4.4. Viscosidad.....	30
2.4.5. Viscosidad dinámica	31
2.4.6. Viscosidad cinemática.....	32
2.4.7. Viscosímetros de vidrio capilar estándar calibrados	32
2.4.8. Poder calorífico	33
2.4.9. Poder calorífico superior	34
2.4.10. Poder calorífico inferior	34
2.5. Determinación del poder calorífico.....	35
2.6. Etanol.....	37
2.6.1. Principales características	39

2.6.2. Obtención.....	40
2.6.3. Aplicaciones.....	40
2.6.4. Toxicología.....	40
2.7. Tensioactivos	41
2.7.1. Ácido oleico.....	42
2.7.2. Tween 80	43
2.8. Balance hidrofílico lipofílico (BHL)	43
2.8.1. Escala de Griffin.....	43
2.9. Emulsiones	46
2.9.1. Emulsión de agua en líquido orgánico (A/O).....	47
2.9.2. Emulsiones de líquido orgánico en agua (O/A).....	48
2.9.3. Mecanismos de formación de emulsiones	48

CAPÍTULO III

ELABORACIÓN DE LAS EMULSIONES Y EQUIPOS	50
3.1. Valoración de la estabilidad de las mezclas.....	50
3.2. Método para la elaboración del aditivo	51
3.3. Método para la elaboración de las emulsiones	51
3.4. Equipos para elaboración de las emulsiones.....	52
3.4.1. Balanza electrónica.....	52
3.4.2. Balanza granataria	53
3.4.3. Mezclador	54
3.4.4. Mezclador Vortex	54
3.4.5. Mezclador Silverson L4R	54
3.5. Procedimiento de elaboración de las emulsiones 10g de muestra	55
3.6. Preparación del combustible reformulado.....	57

3.6.1. Procedimiento de elaboración de las emulsiones 1 galon	58
3.7. Propiedades fisicoquímicas	60
3.7.1. Picnómetro.....	60
3.7.2. Procedimiento para determinar la densidad de las emulsiones	61
3.7.3. Poder calorífico	62
3.7.4. Procedimiento para la capacidad calorífica del equipo	62
3.7.5. Procedimiento para el poder calorífico de las emulsiones	63
3.8. Viscosidad.....	67
3.8.1. Procedimiento para la viscosidad cinemática	67
3.9. Horiba SZ-100 (DLS)	69
3.9.1. Procedimiento para determinar el tamaño de partícula	70
3.10. Propiedades térmicas-mecánicas	72
3.10.1. Banco motor PLINT TE-46.....	72
3.10.2. Prueba a velocidad variable y aceleración constante	73
3.10.3. Procedimiento para las pruebas mecánicas y térmicas	73
3.11. Medidor de opacidad NDO-6000	77
3.11.1. Prueba de opacidad.....	77
3.11.2. Procedimiento para determinar la opacidad.....	77

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.....	80
4.1. Porcentajes de formulación.....	81
4.1.1. Emulsión diésel-etanol 2%.....	81
4.1.2. Emulsión diésel-etanol 5%.....	82
4.1.3. Emulsión diésel-etanol 7.5%.....	82
4.1.4. Emulsión diésel-etanol 10%.....	83

4.1.5. Emulsión diésel-etanol 12.5%.....	84
4.1.6. Emulsión diésel-etanol 15%.....	84
4.2. Análisis de la apariencia física de las emulsiones	85
4.3. Densidad.....	86
4.3.1. Cálculos de la densidad	87
4.4. Viscosidad.....	88
4.4.1. Cálculos de la viscosidad.....	89
4.5. Poder calorífico	90
4.5.1. Cálculos respectivos del poder calorífico superior	91
4.5.2. Cálculos respectivos del poder calorífico inferior	91
4.6. Parámetros del motor de combustión interna diésel	93
4.6.1. Datos registrados en las pruebas con las emulsiones	93
4.6.2. Contador de vueltas	94
4.6.3. Tiempo de consumo de 25cc de las emulsiones	95
4.6.4. Temperatura de los gases de escape	96
4.6.5. Fuerza.....	97
4.6.6. Consumo másico de aire	98
4.6.7. Velocidad real calculada	98
4.6.8. Velocidad angular	100
4.7. Cálculos de los parámetros mecánicos y térmicos	102
4.7.1. Torque.....	102
4.7.2. Potencia al freno	103
4.7.3. Caudal de combustible.....	105
4.7.4. Consumo másico de combustible	106
4.7.5. Consumo volumétrico de aire teórico.....	108
4.7.6. Consumo específico de combustible	109

4.7.7. Presión media efectiva.....	110
4.7.8. Eficiencia térmica.....	112
4.7.9. Eficiencia volumétrica.....	114
4.7.10. Opacidad de los gases de escape.....	115

CAPÍTULO V117

MARCO ADMINISTRATIVO.....	117
5.1. Recursos humanos.....	117
5.2. Recursos materiales.....	118
5.3. Recursos técnicos.....	118
5.4. Recursos financieros.....	118
5.5. Costos de formulación de emulsiones Diésel-etanol.....	120
5.5.1. Costo de 100 kilogramos de la emulsión.....	120
5.5.2. Cálculo del costo de diésel por kilogramo:.....	121
5.5.3. Cálculo del costo de etanol por kilogramo:.....	121
5.5.4. Costo de un galón de la emulsión.....	122
5.6. Costos de la generación de energía con las emulsiones.....	123
CONCLUSIONES.....	125
RECOMENDACIONES.....	128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
ANEXOS.....	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1. Emulsión diésel-etanol	8
Tabla No. 2. Parámetros térmicos-mecánicos	8
Tabla No. 3. Metodología de la presente investigación	11
Tabla No. 4. Presión eficaz media de diferentes motores.....	25
Tabla No. 5. Límites máximos de opacidad para fuentes móviles diésel...	26
Tabla No. 6. Valores poder calorífico inferior de combustibles comunes...	35
Tabla No. 7. Propiedades físicas del etanol.....	39
Tabla No. 8. Propiedades químicas del etanol.....	39
Tabla No. 9. Tensioactivos para emulsiones	42
Tabla No. 10. Uso del concepto del número BHL de Griffin	44
Tabla No. 11. Aplicación de una emulsión de acuerdo al BHL	44
Tabla No. 12. BHL requerido para emulsionar.....	44
Tabla No. 13. Comparación de BHL calculados y experimentales	46
Tabla No. 14. BHL Tensioactivos.....	51
Tabla No. 15. Características del banco motor PLINT TE-46	73
Tabla No. 16. Especificaciones opacímetro NDO-6000.....	77
Tabla No. 17. Obtención de datos en las pruebas	80
Tabla No. 18. Características emulsiones diésel-etanol	86
Tabla No. 19. Densidad del combustible reformulado	88
Tabla No. 20. Calibración del viscosímetro.....	89
Tabla No. 21. Viscosidad del combustible reformulado	89
Tabla No. 22. Poder calorífico del combustible reformulado.....	92
Tabla No. 23. Contador de vueltas registrado en las pruebas	94
Tabla No. 24. Tiempo de consumo registrado en las pruebas.....	95
Tabla No. 25. Temperatura de los gases de escape registrado	96
Tabla No. 26. Fuerza registrada en las pruebas	97
Tabla No. 27. Consumo másico de aire registrado en las pruebas.....	98
Tabla No. 28. Velocidad real de las emulsiones	99
Tabla No. 29. Velocidad angular calculada.....	101
Tabla No. 30. Torque calculado	102

Tabla No. 31. Potencia calculada de las emulsiones.....	104
Tabla No. 32. Caudal de combustible calculado	105
Tabla No. 33. Consumo másico calculado.....	107
Tabla No. 34. Volumen de aire teórico calculado.....	108
Tabla No. 35. Consumo específico calculado	109
Tabla No. 36. Presión media efectiva calculada	111
Tabla No. 37. Eficiencia térmica calculada	113
Tabla No. 38. Eficiencia volumétrica calculada.....	114
Tabla No. 39. Opacidad de los gases de escape de las emulsiones.....	115
Tabla No. 40. Recursos humanos.....	117
Tabla No. 41. Recursos materiales.....	118
Tabla No. 42. Recursos técnicos	118
Tabla No. 43. Costos de la elaboración de las emulsiones	119
Tabla No. 44. Costos de las pruebas fisicoquímicas de las emulsiones....	119
Tabla No. 45. Costos de las pruebas térmicas y mecánicas en el motor...	119
Tabla No. 46. Costos de los insumos del proyecto de investigación	120
Tabla No. 47. Costo total de los recursos del proyecto de investigación ...	120
Tabla No. 48. Costo por 100 kilogramo de la emulsión 5% etanol.....	121
Tabla No. 49. Costo por kilogramo de las emulsiones.....	121
Tabla No. 50. Costo por galón de las emulsiones.....	122
Tabla No. 51. Costo de la generación de energía de las emulsiones	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Causa y efecto	3
Figura 2. Motor a diésel PETERS AA-1	14
Figura 3. Inyección directa e indirecta	16
Figura 4. Opacímetro modelo NDO-6000	27
Figura 5. Picnómetro de 10 ml	29
Figura 6. La viscosidad del combustible al modelo de pulverización	30
Figura 7. Ábaco de viscosidades de combustible	31
Figura 8. Viscosímetro Ostwald	33
Figura 9. Calorímetro de bomba	35
Figura 10. Enlace químico del Ácido oleico	42
Figura 11. Emulsiones de diésel-etanol en diferentes porcentajes	46
Figura 12. Apariencia blanca generada por el agua	47
Figura 13. Emulsión agua-diésel.....	48
Figura 14. Dispersión de una emulsión O/W	48
Figura 15. Formación de la emulsión.....	49
Figura 16. Mezcladores de emulsiones	49
Figura 17. Balanza electrónica Denver instrument	53
Figura 18. Balanza granataria OHAUS	53
Figura 19. Mezclador Vortex mixer	54
Figura 20. Mezclador Silverson L4R	55
Figura 21. Pesos de las sustancias	56
Figura 22. Agitación de la emulsión	57
Figura 23. Gradilla y tubos de ensayo	57
Figura 24. Volumen de diésel a mezclar	58
Figura 25. Agitación diésel-etanol-aditivo	59
Figura 26. Mezclado a 8000 rpm	59
Figura 27. Mezclas 2%-7.5%-10%-12.5% de etanol.....	60
Figura 28. Picnómetro de 10ml	60
Figura 29. Masa de agua	61
Figura 30. Masa de la emulsión 5% etanol	61

Figura 31. Acido benzoico	62
Figura 32. Alambre de fusible	62
Figura 33. Crisol y emulsiones.....	63
Figura 34. Camisa externa.....	63
Figura 35. Elementos de la bomba	64
Figura 36. Tanque de oxígeno	64
Figura 37. Instalación del mechero	65
Figura 38. Calorímetro	65
Figura 39. Prueba de correcto armado en la bomba calorimétrica	66
Figura 40. Bomba	66
Figura 41. Emulsiones y balanza electrónica.....	67
Figura 42. Interface del equipo y baño térmico Huber	67
Figura 43. Sujetador y viscosímetro Ostwald.....	68
Figura 44. Succión para iniciar la prueba.....	68
Figura 45. Viscosímetro en prueba	69
Figura 46. HORIBA SZ-100 (DLS).....	70
Figura 47. Medidor del índice de refracción.....	70
Figura 48. Celda de vidrio equipo HORIBA SZ-100.....	71
Figura 49. HORIBA- SZ-100 compuerta abierta	71
Figura 50. Interfaz del análisis	72
Figura 51. Banco de pruebas PLINT TE-46.....	72
Figura 52. Depósito alterno.....	73
Figura 53. Conexión de mangueras.....	74
Figura 54. Interfaz del banco y tablero de encendido	74
Figura 55. Motor Petters AA-1	74
Figura 56. Tablero de control.....	75
Figura 57. Registro de datos.....	75
Figura 58. Registro del tiempo	76
Figura 59. Visualizador de las RPM.....	76
Figura 60. Opacímetro NDO-6000.....	77
Figura 61. Encerar el opacímetro.....	78
Figura 62. Sonda en posición	78

Figura 63. Interfaz del opacímetro	79
Figura 64. Registro de la opacidad	79
Figura 65. Porcentaje emulsión Diésel-Etanol 2%	81
Figura 66. Porcentaje emulsión Diésel-Etanol 5%	82
Figura 67. Porcentaje emulsión Diésel-Etanol 7.5%	83
Figura 68. Porcentaje emulsión Diésel-Etanol 10%	83
Figura 69. Porcentaje emulsión Diésel-Etanol 12.5%	84
Figura 70. Porcentaje emulsión Diésel-Etanol 15%	84
Figura 71. Apariencia física a diferente volumen	85
Figura 72. Apariencia 15% etanol	85
Figura 73. Densidad diésel y emulsiones	88
Figura 74. Viscosidad diésel y emulsiones	90
Figura 75. Poder calorífico diésel y emulsiones	93
Figura 76. Vueltas del cigüeñal a 3100 rpm de las emulsiones	94
Figura 77. Tiempo de consumo a 3100 rpm de las emulsiones	95
Figura 78. Temperatura de los gases de escape a 3100 rpm	96
Figura 79. Fuerza del motor a 3100 rpm	97
Figura 80. Consumo másico de aire a 3100 rpm	98
Figura 81. Velocidad real del motor a 3100 rpm	100
Figura 82. Velocidad angular a 3100 rpm	101
Figura 83. Torque de las emulsiones a 3100 rpm	103
Figura 84. Potencia a 3100 rpm de prueba	104
Figura 85. Caudal de combustible a 3100 rpm	106
Figura 86. Consumo másico de combustible a 3100 rpm	107
Figura 87. Consumo volumétrico de aire teórico a 3100 rpm	108
Figura 88. Consumo específico de combustible a 3100 rpm	110
Figura 89. Presión media efectiva de las emulsiones a 3100 rpm	112
Figura 90. Eficiencia térmica de las emulsiones a 3100 rpm	113
Figura 91. Eficiencia volumétrica a 3100 rpm	115
Figura 92. Opacidad de las emulsiones	116
Figura 93. Costo de la formulación del combustible por kilogramo	122
Figura 94. Costo de la formulación del combustible por galón	123

Figura 95. Costo para generación de energía de las emulsiones 124

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Sección del pistón	17
Ecuación 2. Cilindrada unitaria	18
Ecuación 3. Cilindrada total	18
Ecuación 4. Velocidad media del pistón	19
Ecuación 5. Consumo másico de combustible.....	20
Ecuación 6. Consumo volumétrico de combustible.....	20
Ecuación 7. Energía liberada	21
Ecuación 8. Gasto másico	21
Ecuación 9. Torque.....	22
Ecuación 10. Potencia al freno	22
Ecuación 11. Velocidad angular.....	22
Ecuación 12. Eficiencia térmica	23
Ecuación 13. Eficiencia volumétrica.....	23
Ecuación 14. Consumo volumétrico de aire teórico	24
Ecuación 15. Consumo específico de combustible.....	24
Ecuación 16. Presión media efectiva	25
Ecuación 17. Relación aire-combustible	26
Ecuación 18. Densidad relativa.....	28
Ecuación 19. Densidad absoluta.....	28
Ecuación 20. Densidad del agua	29
Ecuación 21. Viscosidad cinemática.....	33
Ecuación 22. Poder calorífico superior	36
Ecuación 23. Corrección del alambre	36
Ecuación 24. Poder calorífico inferior	37
Ecuación 25. Balance hidrofílico lipofílico	45
Ecuación 26. BHL sustancia A.....	45
Ecuación 27. BHL sustancia B.....	45
Ecuación 28. Costo de energía.....	124

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Parámetros del motor con diésel neto

ANEXO 2. Parámetros del motor con la emulsión 2% etanol

ANEXO 3. Parámetros del motor con la emulsión 5% etanol

ANEXO 4. Parámetros del motor con la emulsión 7.5% etanol

ANEXO 5. Parámetros del motor con la emulsión 10% etanol

ANEXO 6. Parámetros del motor con la emulsión 12.5% etanol

ANEXO 7. Parámetros del motor con la emulsión 15% etanol

RESUMEN

El aumento del parque automotor y los problemas de la contaminación ambiental son factores principales, que han impulsado al desarrollo de nuevos combustibles alternativos, que sustituyan a los combustibles fósiles. El presente trabajo de investigación se enfoca en la realización de la emulsión diésel-etanol en concentraciones del 2% - 5% - 7.5% - 10% - 12.5% y 15% de etanol, utilizando tensioactivos como aditivo que permita mantener homogenizado las emulsiones hasta temperaturas de 40 °C y determinar su factibilidad en un motor de combustión interna a diésel. Las emulsiones se las realizó con ensayos de prueba y error, hasta determinar su estabilidad con la adición del aditivo y observaciones en lapsos de doce horas, se realizó pruebas de caracterización de las propiedades fisicoquímicas, así como: densidad, viscosidad, poder calorífico y tamaño de partícula de las emulsiones como del diésel neto. Posteriormente se desarrolló pruebas de rendimiento térmico y mecánico con cada una de las emulsiones en el banco de pruebas PLINT TE-46, que cuenta con un motor PETERS AA-1 mono cilíndrico de inyección directa, con el protocolo de pruebas para arranque en frío a velocidad variable y aceleración constante se determinó lecturas de fuerza, temperatura de gases de escape, flujo de aire, caudal de combustible y la opacidad de los gases de escape, se procedió a realizar cálculos para obtener el desempeño térmico del motor. Con los resultados obtenidos se verificó que se reduce considerablemente el porcentaje de la opacidad de los gases en comparación con el diésel neto.

PALABRAS CLAVE:

- **POTENCIAL ENERGÉTICO**
- **MEZCLA COMBUSTIBLE**
- **EMULSIÓN DIESEL – ETANOL**
- **TENSIOACTIVOS**
- **PRUEBAS TÉRMICAS Y MECÁNICAS**

ABSTRACT

The increase in the number of vehicles and the problems of environmental pollution are major factors that have led to the development of new alternative fuels, replacing fossil fuels. The present research focuses on the production of the diesel-ethanol emulsion in concentrations of 2% - 5% - 7.5% - 10% - 12.5% and 15% ethanol, using surfactants as an additive to allow the emulsions to remain homogenized until Temperatures of 40 ° C and determine its feasibility in an internal diesel engine. The emulsions were carried out with test and error tests, until their stability with the addition of the additive and observations in twelve-hour lapses, characterization tests of the physicochemical properties, as well as: density, viscosity, calorific value and size Of particles of the emulsions as of the net diesel. Subsequently, thermal and mechanical performance tests were carried out with each of the emulsions in the PLINT TE-46 test bench, which has a mono-cylindrical direct-injection PETERS AA-1 engine, with the test protocol for cold start Variable speed and constant acceleration were determined readings of force, exhaust gas temperature, airflow, fuel flow and opacity of the exhaust gas, we performed calculations to obtain the thermal performance of the engine. With the results obtained it was verified that the percentage of the opacity of the gases is reduced considerably compared to the net diesel.

KEYWORDS:

- ENERGY POTENTIAL
- COMBUSTIBLE MIX
- DIESEL - ETHANOL EMULSION
- TENSIOACTIVOS
- THERMAL AND MECHANICAL TESTS

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Con la investigación y el estudio de un combustible alternativo, innovado en la ingeniería automotriz, se proyecta a aplicar los conocimientos en el análisis de desempeño del motor de combustión interna a diésel, a continuación, se presenta un tema que relaciona el estudio de las emulsiones de combustibles, para la reducción de las emisiones contaminantes del motor y mantener de sus parámetros mecánicos.

Gerdes, & Suppes, (2001), describen que: “Estudios previos han demostrado que al mezclar diésel con etanol en proporciones superiores de 3% a 5% en volumen de etanol se requieren aditivos (cosolventes) para evitar separación de fases en la mezcla” (pág. 949-946).

Ante ello se basa la investigación y estudio de combustibles alternativos que mejoren sus propiedades químicas y disminuyan la contaminación hacia el medio ambiente, tomando en cuenta la demanda y aumento del campo automotriz.

Merritt, (2005), menciona: “Realizaron un estudio con mezclas etanol-diésel (7.7%, 10%, 15%) sobre tres máquinas off-road de distintas cilindradas (6.8, 8.1 y 12.5 litros), realizando el ciclo FTP en un banco de rodillos”. En este estudio las emisiones de HC aumentan en la máquina con los motores de 8.1 y 12.5 litros, mientras que en la máquina de 6.8 litros las emisiones se mantienen (excepto con la mezcla 15%, donde aumentan)”.

Investigaciones previas de emulsiones diésel-etanol a diferentes porcentajes de etanol, enmarcan un objetivo principal, la disminución de los diferentes gases contaminantes de efecto invernadero.

Existen varios países que realizan estudios de nuevos combustibles que sustituyan al diésel que se comercializa en la actualidad entre ellos tenemos a los países: Brasil, Estados Unidos y países de la UE.

Burgos D., & Villacis C., (2016). Afirma: “Las razones por las que se escogió la concentración del 5% fueron: mejor punto de inflamación, no hay problemas de arranque en frío, mejor poder calorífico, no se pierde el rendimiento del motor mejor viscosidad y se evitan problemas de pulverización”.

En esta investigación utiliza la concentración de biodiesel al 5% para obtener mejores rendimientos del motor.

1.2. Planteamiento del problema

El incumplimiento de la normativa vigente en cuanto a niveles de emisiones-opacidad, ha provocado un aumento de la degradación del medio ambiente así como las reducidas investigaciones para el mejoramiento de la calidad de los combustibles producen un bajo rendimiento del motor y la deficiencia en la importancia de los combustibles genera elevados índices de contaminación del ambiente, generados por el motor de combustión interna ciclo diésel.

Entonces el problema a investigar:

- Disminución de la opacidad generado por el motor diésel.
- Incumplimiento de la normativa vigente en cuanto a niveles de emisiones.

- Aditivos para el mejoramiento de la calidad del combustible.
- Rendimiento del motor.
- Eficiencia en la calidad de los combustibles.
- Indices de contaminación del ambiente generados por motores de combustion interna ciclo diésel.

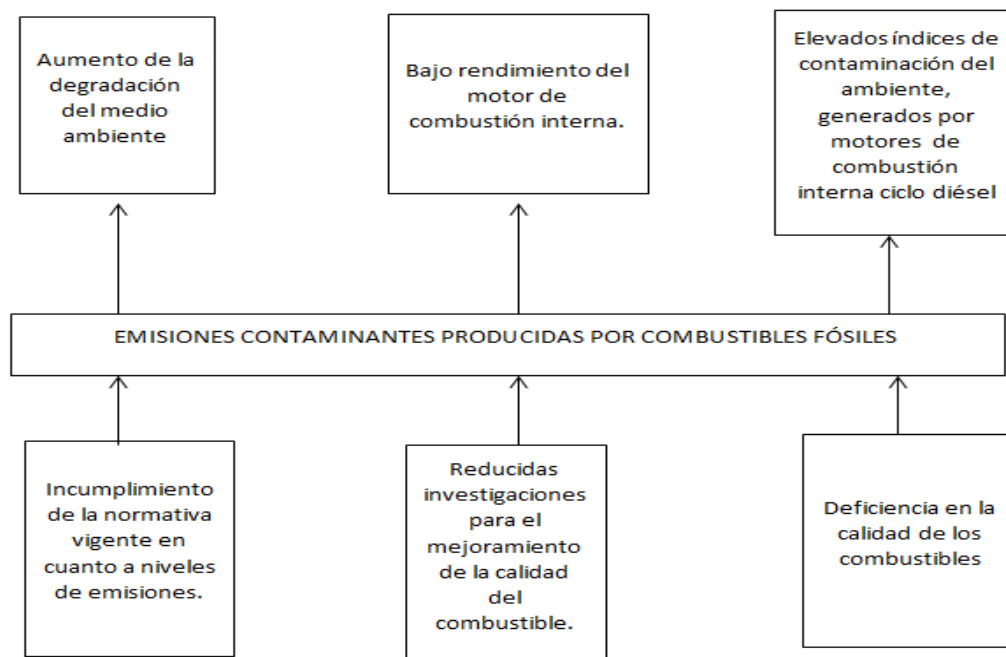


Figura No. 1. Diagrama Causa y efecto

1.3. Descripción resumida del proyecto

Se obtuvo información teórica de fuentes confiables para el desarrollo del proyecto de investigación relacionado al análisis de los parámetros mecánicos del motor de combustión interna Diésel, mediante el uso de combustible diésel emulsionado con etanol empleando tensioactivos como aditivo.

Se realizó las emulsiones diésel-etanol al 2%, 5%, 7.5%, 10% ,12.5% y 15 % empleando tensioactivos como aditivo, utilizando el método de ensayo y error de acuerdo a investigaciones de laboratorio de Coloideoquímica,

cabe resaltar que se utilizó etanol con 99.5% de pureza y diésel de las estaciones “PETROECUADOR”.

De las muestras realizadas anteriormente se obtuvo los valores de densidad, viscosidad, tamaño de partícula y poder calorífico del combustible diésel y diésel emulsionado a diferentes porcentajes de etanol.

Seguidamente se analizó las propiedades mecánicas resultantes de cada una de las muestras de combustible diésel y diésel emulsionado con etanol.

Para el protocolo de pruebas, se utilizó el banco de pruebas PLINT TE-46 con un motor de combustión interna PETER AA-1 de la Universidad de las Fuerzas Armadas campus Sangolquí, con el funcionamiento de diésel y diésel emulsionado con etanol. Se calculó valores de potencia, torque, consumo de combustible y opacidad bajo condiciones de aceleración constante y velocidad variable, utilizando diésel y diésel emulsionado con diferentes porcentajes de etanol, las pruebas se llevaron a cabo en los Laboratorios de Motores de combustión interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus matriz Sangolquí.

Posteriormente el análisis comparativo entre los diferentes resultados obtenidos de cada una de las muestras diésel-etanol y diésel durante las pruebas fisicoquímicas y de funcionamiento del motor de combustión interna ciclo diésel. Finalmente se elaboró un informe final de los resultados obtenidos para exponer conclusiones, y determinar su factibilidad y uso del combustible.

1.4. Justificación e importancia

Uno de los principales consumidores de combustibles fósiles a nivel mundial, es el sector automotor, con el aumento y el avance de la tecnología

en el campo automotriz, ha generado el consumo masivo de energías no renovables como las reservas de petróleo, ante ello se generan investigaciones de combustibles alternativos que sean procedentes de energías renovables.

Los beneficios que brinda al usar combustibles alternativos amigables con el medio ambiente, es el uso de la mezcla Diésel-etanol a diferentes porcentajes, se presenta las ventajas de la disminución de los niveles de opacidad de los gases de escape generado por el motor de combustión interna.

Lapuerta, (2009). Afirma: “Otro punto a favor de usar la mezcla diésel-biodiesel-etanol es que se ha encontrado que la adición de biodiesel compensa en parte la reducción en el número de cetano y la lubricidad derivada de la adición del etanol” (pág. 4343-4354). En este estudio investigativo demuestran que es más efectivo utilizar el biodiesel y mejorar la mezcla para llegar al punto de auto ignición en el motor.

Krister G., (2006) menciona: “Los beneficios de un combustible emulsionado son la reducción en las emisiones de óxidos de nitrógeno y materiales particulados, ambos peligrosos para la salud, y reducción en el consumo de combustible debido a la mejor eficiencia de combustión. Un aspecto importante es que el diésel emulsionado puede ser usado sin modificaciones en el motor”. (p. 231).

Los objetivos principales del Plan del Buen Vivir es impulsar la transformación de la matriz productiva entre ellos es generar nuevos sectores con alta productividad, competitivos, sostenibles, sustentables y diversos; así la articulación de las acciones y metas de generación de energías limpias y eficiencia energética. (Plan Nacional Buen Vivir, 2015).

Para la universidad contribuirá en su vinculación con áreas investigativas, obteniendo resultados que permitan generar información pertinente para el análisis y desarrollo del conocimiento en el área de energías renovables, además el presente proyecto servirá a empresas dedicadas a la elaboración de combustibles alternativos utilizados en el área automotriz, lo que ayudará a mejorar el nivel de la matriz productiva del país.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Investigación del potencial energético de la emulsión diésel-etanol para determinar su influencia en los parámetros mecánicos y térmicos en el motor de combustión interna a diésel.

1.5.2. Objetivos específicos

- Obtener la información teórica correspondiente de fuentes confiables para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Realizar las emulsiones diésel-etanol al 2% ,5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% utilizando tensioactivos como aditivo en la emulsión.
- Caracterizar las muestras ideales, obtenidas en el proceso de ensayo del combustible diésel-etanol respecto a los valores de densidad, viscosidad y poder calorífico.
- Analizar los valores de densidad, viscosidad y poder calorífico de las muestras 2%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% respectivamente del combustible diésel y diésel-etanol.
- Elaborar un informe de pruebas para el uso de diésel y diésel-etanol a diferentes porcentajes de etanol en el motor de combustión interna del banco de pruebas.

- Obtener valores de torque, potencia, consumo de combustible y opacidad empleando diésel y diésel-etanol en sus diferentes porcentajes de muestras.
- Desarrollar un análisis comparativo entre los diferentes resultados de los parámetros mecánicos de las pruebas de funcionamiento del motor con cada una de las muestras.
- Elaborar un informe correspondiente de los resultados obtenidos para emitir conclusiones y exponer su factibilidad.

1.6. Metas

- Obtener una mezcla combustible que mantenga las características mecánicas y térmicas, y reduzca en el 15% las emisiones hacia el medio ambiente.
- Realizar la comparación entre el diésel Premium comercial y las respectivas muestras del diésel-etanol a diferentes porcentajes, para emitir conclusiones ingenieriles sobre la efectividad de esta mezcla alcoholizada.

1.7. Hipótesis

¿El uso de la mezcla combustible diésel-etanol en porcentajes ideales que presente mejorar las propiedades mecánicas y térmicas, así como reducir las emisiones de los gases contaminantes hacia el medio ambiente producido por el motor de combustión interna diésel?

1.8. Variables de investigación

1.8.1. Variable independiente

Tabla No. 1.

Emulsión diésel-etanol

Concepto	Categoría	Indicador	Unidad	Técnicas	Instrumentos
Sustancia alternativa renovable que se emplea para producir energía limpia en forma de calor a partir de la Combustión.	Parámetros físico-químicos.	Densidad	Kg/m ³	Ensayos Cálculos Medición	Protocolo de pruebas.
		Viscosidad	mm ² /s	Ensayos Cálculos Medición	Protocolo de pruebas
		Poder calorífico	kJ/kg	Ensayos Cálculos Medición	Protocolo de pruebas
	Componente de la emulsión	Porcentaje	%	Medición Operación	Protocolo de pruebas

1.8.2. Variable dependiente

Tabla No. 2.

Parámetros térmicos-mecánicos

Concepto	Categoría	Indicador	Unidad	Técnicas	Instrumentos
Es las características térmicas de un motor de combustión interna, en un determinado punto de operación.	Energía	Torque	Nm	Pruebas Cálculos	Protocolo de pruebas
		Potencia	kW	Pruebas Cálculos	Protocolo de pruebas
	Eficiencia energética.	Consumo específico	g/kW-h	Cálculos	Protocolo de pruebas
		Consumo volumétrico	cm ³ /s	Prueba Cálculos	Protocolo de pruebas
		Rendimiento térmico	%	Cálculos	Protocolo de pruebas
	Emisiones	Opacidad	%	Pruebas	Protocolo de pruebas

1.9. Métodos y técnicas

1.9.1. Método Inductivo

Se utilizó este método, ya que la investigación se realizó en el laboratorio de motores de combustión interna, en el banco de pruebas PLINT TE-46, los resultados y conclusiones generadas se podrán aplicar para todos los vehículos de motor a Diésel.

1.9.2. Método deductivo

Dado que la investigación se enfoca en analizar los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) y los niveles de emisiones contaminantes generados por el motor PETTER AA-1 del banco de pruebas PLINT TE-46 utilizando emulsiones de combustible diésel y etanol al 2%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% con el uso de tensioactivos.

1.9.3. Método analítico

En la investigación se aplica este método ya que permite analizar de forma individual cada uno de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) del motor del banco de pruebas bajo la influencia de emulsiones de combustible diésel y etanol al 2%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% con el uso de tensioactivos.

1.9.4. Método de síntesis

Este método se aplica en la recopilación de los datos resultantes de las pruebas realizadas bajo la incidencia de emulsiones de combustible diésel y etanol al 2%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% con el uso de tensioactivos.

1.9.5. Método comparativo

En esta investigación el método comparativo permitió establecer variaciones de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) en el motor del banco de pruebas PLINT TE-46, basándose en datos y mediciones realizadas en condiciones normales de funcionamiento del motor, y con el uso de emulsiones de combustible diésel y etanol al 2%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% con el uso de tensioactivos.

1.9.6. Método de observación directa

Esta investigación utilizó instrumentos como: balanzas, termómetros, viscosímetros entre otros aparatos de medición en los cuales se necesitó excelente apreciación en el campo, que se desarrolló el experimento para la recolección de datos sobre todo en el análisis de opacidad, variación de temperatura y determinación de tiempos de la viscosidad.

1.9.7. Método de medición

A través del método de medición se establece el protocolo de pruebas en función de la norma NTE INEN 2203:2000, se determinó las unidades en las que se manejaron los datos, tomando en cuenta las escalas de los equipos con los que se realizó las pruebas.

1.9.8. Método de matematización

Una vez representados los resultados de la investigación mediante números, se utilizó este método para justificar el volumen y cálculos de los parámetros mecánicos y térmicos de gramo por kilómetro de una forma científica.

Tabla No. 3.

Metodología de la presente investigación

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Inductivo	Se utilizó este método, ya que la investigación se realizó en el laboratorio de motores de combustión interna, en el banco de pruebas PLINT TE-46, los resultados y conclusiones generadas se podrán aplicar para todos los vehículos de motor a Diésel.	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía • Instrumentos de laboratorio. • Banco de pruebas PLINT-TE46 • Opacímetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga • Laboratorio de motores de combustión interna Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí.
Deductivo	Dado que la investigación se enfoca en analizar los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) y los niveles de emisiones contaminantes generados por el motor PETER AA-1 del banco de pruebas PLINT TE-46 utilizando emulsiones de combustible diésel y etanol al 2%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% con el uso de tensioactivos.	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía • Instrumentos de laboratorio. • Banco de pruebas PLINT-TE46 	<ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga • Laboratorio de química Universidad Central el Ecuador • Laboratorio de motores de combustión interna Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí.
Analítico	En la investigación se aplica este método ya que permite analizar de forma individual cada uno de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) del motor del banco de pruebas bajo la influencia de emulsiones de combustible diésel y etanol al 2%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% con el uso de tensioactivos.	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía • Computadora personal (Microsoft Office) 	<ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca • Laboratorio de química Universidad Central el Ecuador • Laboratorio de motores de combustión interna Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí
Sintético	Este método se aplica en la recopilación de los datos	<ul style="list-style-type: none"> • Computador personal 	<ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca Universidad de

CONTINÚA →

	resultantes de las pruebas realizadas bajo la incidencia de emulsiones de combustible diésel y etanol al 2%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% con el uso de tensioactivos.	(Microsoft Office) • Bibliografía	la Fuerzas Armadas extensión Latacunga
Comparativo	En esta investigación el método comparativo permitió establecer variaciones de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) en el motor del banco de pruebas PLINT TE-46, basándose en datos y mediciones realizadas en condiciones normales de funcionamiento del motor, y con el uso de emulsiones de combustible diésel y etanol al 2%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% con el uso de tensioactivos.	• Bibliografía • Instrumentos de laboratorio.	• Laboratorio de Coloideoquímica Universidad Central el Ecuador
Observación directa	Esta investigación utilizó instrumentos como: balanzas, termómetros, viscosímetros entre otros aparatos de medición en los cuales se necesitó excelente apreciación en el campo, que se desarrolló el experimento para la recolección de datos sobre todo en el análisis de opacidad, variación de temperatura y determinación de tiempos de la viscosidad.	• Instrumentos de laboratorio. • Calorímetro • Viscosímetro • Banco de pruebas PLINT-TE46 • Opacímetro	• Laboratorio de motores de combustión interna Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí. • Laboratorio de química Universidad Central el Ecuador
Medición	A través del método de medición se establece el protocolo de pruebas en función de la norma NTE INEN 2203:2000, se determinarán las unidades en las que se manejarán los datos, tomando en cuenta las escalas de los equipos con los que se realizan las pruebas.	• Bibliografía • Instrumentos de laboratorio. • Banco de pruebas PLINT • Opacímetro	• Laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí. • Laboratorio de química Universidad Central el Ecuador
Matematización	Una vez representados los resultados de la investigación mediante	• Computador personal (Microsoft	• Biblioteca Universidad de las Fuerzas

CONTINÚA →

números, se utilizó este método para justificar el volumen y cálculos de los parámetros mecánicos y térmicos de gramo por kilómetro de una forma científica.	Office)	Armadas ESPE campus Sangolquí.
--	---------	--------------------------------

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Motor a diésel

El motor a diésel es un motor térmico de combustión interna alternativa en el cual el encendido del combustible se logra por la temperatura elevada que produce la compresión del aire en el interior del cilindro, según el principio del ciclo del diésel.



Figura No. 2. Motor a diésel PETERS AA-1

El motor Diesel de 4T está formado básicamente de las mismas piezas que un motor de gasolina, algunas de las cuales son:

- Bloque del motor
- Culata
- Cigüeñal
- Volante

- Pistón
- Árbol de levas
- Válvulas
- Cáster

Asi como tambien se pueden presentar las características del motor a diesel las cuales se detallan a continuacion:

- Bomba de inyección
- Ductos
- Inyector de Combustible
- Bomba de transferencia
- Toberas
- Bujías de precalentamiento
- Principio de funcionamiento

2.1.1. Funcionamiento

Un motor diésel funciona mediante la ignición (encendido) del combustible al ser inyectado muy pulverizado y con alta presión en una cámara (o precámara, en el caso de inyección indirecta) de combustión que contiene aire a una temperatura superior a la temperatura de autocombustión, sin necesidad de chispa como en los motores de gasolina. Ésta es la llamada autoinflamación, consultado el 14 de Mayo del 2017 y disponible en (Ecuared, 2017).

La función del motor a diesel es a través del encendido del combustible una vez que es inyectado y pulverizado en una cámara de alta presión, un motor diésel funciona mediante la ignición de la mezcla aire-gas sin chispa. La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo motor, compresión.

El artículo (Ecuared, 2017). Describe que la temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo del motor, la compresión. El combustible se inyecta en la parte superior de la cámara de combustión a gran presión desde unos orificios muy pequeños que presenta el Inyector de Combustible de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión (entre 700 y 900 °C). Como resultado, la mezcla se inflama muy rápidamente. Esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia abajo.

La combustión inicia con la temperatura que se eleva de la presión que produce el motor, la inyección del combustible en la parte superior de la cámara de combustión a gran presión desde unos orificios muy pequeños de manera que se atomice y se mezcle con el aire en alta presión y temperatura.

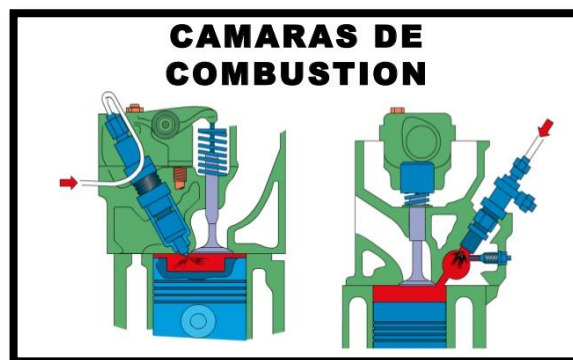


Figura No. 3. Inyección directa e indirecta

Esta expansión, al revés de lo que ocurre con el motor de gasolina, se hace a presión constante ya que continúa durante la carrera de trabajo o de expansión. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, transformando el movimiento rectilíneo alternativo del pistón en un movimiento de rotación.

Para que se produzca la autoinflamación es necesario alcanzar la temperatura de inflamación espontánea del gasóleo. En frío es necesario pre-calentar el gasóleo o emplear combustibles más pesados que los empleados en el motor de gasolina, empleándose la fracción de destilación del petróleo fluctuando entre los 220 °C y 350 °C, que recibe la denominación de gasóleo o gasoil en inglés.

2.2. Parámetros del motor Diésel

2.2.1. Sección del pistón

Payri & Desantes (2011), afirma: “Es la sección sobre la cual ejercen presión los gases combustionados, para obtener trabajo, además la sección de las válvulas está limitada por la sección del pistón, por lo que también es usual referir el gasto de aire a esta sección” (pág. 47). Y utiliza la siguiente ecuación:

$$A_p = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Ecuación 1. Sección del pistón

Donde:

- D= Diámetro del pistón
- Ap= Sección del pistón

2.2.2. Cilindrada unitaria

Payri & Desantes (2011), afirma: “Es el volumen desplazado por el pistón desde el punto muerto inferior hasta el punto muerto superior” (pág. 47). Y utiliza la siguiente ecuación:

$$V_D = A_p * S$$

Ecuación 2. Cilindrada unitaria

Donde:

- S= carrera que realiza el pistón
- V_D = cilindrada unitaria

2.2.3. Cilindrada total

Payri & Desantes (2011), afirma: “Es uno de los parámetros que mejor define al tamaño del motor y está relacionada directamente con la potencia del mismo, se calcula a partir del número de cilindros y la cilindrada unitaria” (p. 50). Y utiliza la siguiente ecuación:

$$V_T = V_D * z$$

Ecuación 3. Cilindrada total

Donde:

- Z= Número de cilindros del motor
- V_T = cilindrada total

2.2.4. Número de ciclos por revolución

Según (Payri & Desantes 2011) “Es el número de ciclos completados en una revolución del cigüeñal y utiliza el símbolo específico (i), un motor de cuatro tiempos tiene que realizar dos vueltas para completarlo por lo que $i = \frac{1}{2}$, y para los motores de dos tiempos solo se necesitan una revolución por lo que $i = 1$ ” (pág. 50). Para la investigación le corresponde el siguiente valor, ya que se emplea un motor PETTER refrigerado por aire.

$$i = 1$$

2.2.5. Régimen de giro (n)

Payri & Desantes (2011) afirma: “Es el número de revoluciones que genera el motor en una unidad de tiempo, este determina la frecuencia de repetición del ciclo de trabajo” (pág. 50). Las unidades con las que se expresa comúnmente son las revoluciones por minuto (rpm), también a revoluciones por segundo (rps) si fuese necesario.

2.2.6. Velocidad media del pistón (c_m)

Payri & Desantes (2011) afirma: “Es un parámetro el cual incluye la carrera (S), representativa del tamaño del motor habitualmente, los motores de mayor tamaño suelen girar a menos régimen, pero poseen mayor (S), teniendo en cuenta que el pistón recorre dos carreras por revolución” (págs. 50-51). Y utiliza la siguiente ecuación:

$$c_m = 2 * S * n$$

Ecuación 4. Velocidad media del pistón

Donde:

- s= carrera
- C_m = velocidad media del pistón
- n= régimen de giro

2.2.7. Gasto de combustible

Se determina experimentalmente, e indica la rapidez de consumo másico o volumétrico de combustible de un motor en un determinado tiempo, en el laboratorio de motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE lo expresa por:

$$\dot{m}_f = \dot{v}_f * \rho_f$$

Ecuación 5. Consumo másico de combustible

$$\dot{V}_f = \frac{V_p}{t}$$

Ecuación 6. Consumo volumétrico de combustible

Donde:

- \dot{m}_f = Consumo másico de combustible
- \dot{v}_f = Consumo volumétrico de combustible
- ρ_f = Densidad del combustible
- v_p = Volumen de prueba
- t = Tiempo de consumo

2.2.8. Poder calorífico

(Payri & Desantes, 2011) Dice que la cantidad de energía liberada es el resultado de la liberación de energía contenida en los enlaces químicos en forma de energía térmica, lo que permite al motor realizar trabajo, además la cantidad de energía liberada es clave, si la combustión es completa y perfecta, y emplea la siguiente ecuación , pág. 53:

$$\dot{Q}_{lib} = \dot{m}_f * PC$$

Ecuación 7. Energía liberada

Donde:

- \dot{Q}_{lib} = Potencia térmica liberada
- \dot{m}_f = Gasto de combustible y
- PC = Poder calorífico del combustible

2.2.9. Gasto másico

Se lo expresa con la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{cc} = \frac{\dot{m}_f}{inz}$$

Ecuación 8. Gasto másico

(Payri & Desantes, 2011) afirma que: “La temperatura de los gases de escape es generalmente superior a los 100 °C, por lo que la condensación del agua no se puede aprovechar, de modo que es adecuado utilizar para los cálculos el poder calorífico inferior del combustible” (pág. 53-54).

2.2.10. Torque o par efectivo

Es el par mecánico que el motor ejerce hacia el exterior, este es un parámetro de gran interés ya que indica la capacidad tractora que otorga el motor a los dispositivos arrastrados por él, también indica la capacidad de aceleración. El par efectivo en unidades (Nm) producido por el motor se puede medir a partir de la fuerza indicada en la balanza en (N) y el la longitud del brazo de palanca en (m), (Payri & Desantes, 2011, pág. 61). Se utiliza la siguiente ecuación:

$$\tau = F * B_p$$

Ecuación 9. Torque

Donde:

- F= Fuerza
- B_p = Brazo palanca

2.2.11. Potencia al freno

Asas, J., (2017), afirma: “Es la rapidez con la que se intercambia energía entre dos sistemas o un sistema y el medio en cierto lapso de tiempo. En la mecánica la potencia medida es la energía que el motor entrega al volante de inercia, también es conocida como potencia efectiva” (pág. 37) y utiliza la siguiente ecuación:

$$P_f = \tau * \omega$$

Ecuación 10. Potencia al freno

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

Ecuación 11. Velocidad angular

Donde:

- P_f = Potencia al freno
- ω = velocidad angular

2.2.12. Eficiencia térmica

Asas, J., (2017), afirma: “Es la división entre la producción generada y el consumo de energía en máquinas y sistemas, la eficiencia térmica de un

motor transforma el calor generado por la explosión del combustible en trabajo mecánico” (pág. 42-43). Y utiliza la siguiente ecuación:

$$n_t = \frac{1}{CEC * Q_{Neto}}$$

Ecuación 12. Eficiencia térmica

Donde:

- Q_{Neto} = Poder calorífico neto
- CEC = Consumo específico de combustible

2.2.13. Eficiencia volumétrica

Asas, J., (2017), afirma: “Es el caudal volumétrico de aire en el sistema de admisión dividido por la velocidad en la que el volumen es desplazado por el pistón, se calcula la efectividad con la que se realiza el llenado dentro del cilindro con carga fresca” (pág. 43). Y utiliza la siguiente ecuación:

$$n_v = \frac{\dot{m}_a}{V_D * \rho_a}$$

Ecuación 13. Eficiencia volumétrica

Donde:

- \dot{m}_a = Consumo másico de aire
- ρ_a = Densidad real del aire
- V_D = Consumo volumétrico de aire teórico

2.2.14. Consumo volumétrico de aire teórico

Asas, J., (2017), afirma: “Es la cantidad teórica de aire que debe ingresar al cilindro, este valor no toma en cuenta las condiciones ambientales de la

atmosfera, temperatura, nivel del mar, etc.” (pág. 42). Y utiliza la siguiente ecuación:

$$V_D = \left(\frac{\pi * D^2}{4} \right) * (S) * (i) * \left(\frac{N}{60k_i} \right)$$

Ecuación 14. Consumo volumétrico de aire teórico

Donde:

- D= Diámetro del cilindro
- i= Número de cilindros
- K_i = Constante del dinamómetro
- V_D = Consumo volumétrico de aire teórico

2.2.15. Consumo específico de combustible

Rolle. K (2006) menciona: “El consumo específico de combustible, sfc (de specific fuel consumption), es la cantidad de combustible usado para producir una cantidad de trabajo, o bien la tasa de consumo de combustible para producir determinada potencia” (pág. 301). Y utiliza la siguiente ecuación:

$$CEC = \frac{\dot{m}_c}{P_f}$$

Ecuación 15. Consumo específico de combustible

Donde:

- \dot{m}_c = Consumo másico de combustible
- P_f = Potencia al freno

2.2.16. Presión media efectiva

Payri & Desantes (2011), afirma: “La presión media efectiva (p_{me}), por analogía con la presión media indicada se define como una presión constante que durante la carrera de expansión producirá un trabajo igual al efectivo” (, pág. 63).

$$P_{me} = \frac{W_e}{V_T} = \frac{N_e}{inV_T}$$

Ecuación 16. Presión media efectiva

Tabla No. 4.
Presión eficaz media de diferentes motores

Motores	Pme [MPa]
De cuatro tiempos de carburación	0.60 – 0.95
De cuatro tiempos Diésel	0.55 – 0.85
A gas	0.50 – 0.75
De cuatro tiempos Diésel sobrealimentados	0.70 – 2.00
De dos tiempos Diésel rápidos	0.40 – 0.75

Fuente: (Jóvaj, 1982)

2.2.17. Relación aire/combustible

Asas, J., (2017), afirma: “Es el número que representa cuanta cantidad de aire es aspirada para mezclarse con una unidad de combustible en el momento de la compresión y explosión de la misma dentro de la cámara de combustión del motor, esta relación depende del combustible, tipo de motor, regulación y carburación.” (pág. 39-40). Y utiliza la siguiente ecuación:

$$A/C = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c}$$

Ecuación 17. Relación aire-combustible

Donde:

- \dot{m}_c = Consumo másico de combustible
- \dot{m}_a = Consumo másico de aire

2.3. Opacidad

La norma 2202 del Instituto Ecuatoriano de Normalización, menciona a la opacidad: “Grado de reducción de la intensidad de la luz visible que ocasiona una sustancia al pasar”, el porcentaje de opacidad es la unidad de medida de las emisiones de escape generadas por una fuente móvil con motor a diésel incluyendo la temperatura de gases de escape en algunos equipos.

2.3.1. Límites máximos de opacidad

De acuerdo con la norma 2207 del Instituto Ecuatoriano de Normalización, describe que toda fuente móvil con motor a diésel no podrá descargar al aire humos en cantidades superiores a las indicadas en la Tabla 5, como se observa a continuación.

Tabla No. 5.

Límites máximos de opacidad para fuentes móviles diésel

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

Fuente: (Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002)



Figura No. 4. Opacómetro modelo NDO-6000

Bosch, (2005), dice: “El medidor de enturbiamiento (opacómetro) se utiliza tanto en la fase de desarrollo como en la fase de control de emisiones de humos de los motores de gasóleo” (pág. 116).

2.4. Propiedades fisicoquímicas de los combustibles.

2.4.1. Densidad

Payri & Desantes, (2011), afirma: “La densidad es la masa de una sustancia contenida por unidad de volumen de un fluido, incluso si el combustible es líquido, su densidad depende de la presión y mayor medida de la temperatura” (pág. 401).

2.4.2. Densidad relativa

De acuerdo con la norma 0011 del Instituto Ecuatoriano de Normalización es la relación entre la densidad de una sustancia y la densidad del agua destilada, consideradas ambas a una temperatura determinada, esta es expresada para una temperatura de referencia de 20 °C, empleando la siguiente ecuación:

$$d_{20} = \frac{m_3 - m_2}{m_1}$$

Ecuación 18. Densidad relativa

Donde:

- d_{20} = densidad relativa a 20 °C
- m_1 = masa del agua a 20 °C
- m_2 = masa del picnómetro vacío
- m_3 = masa del picnómetro con la sustancia

2.4.3. Densidad absoluta

El cálculo de la densidad absoluta, que se ejecuta por el laboratorio de Coloideoquímica de la Universidad Central del Ecuador, para una temperatura de referencia de 20 °C, es determinada mediante la siguiente ecuación:

$$\rho^{t1} = d_{20} * \rho_{H_2O}^{t1}$$

Ecuación 19. Densidad absoluta

Donde:

- ρ^{t1} = densidad absoluta a temperatura 1.
- d_{20} = densidad relativa a 20 °C.
- $\rho_{H_2O}^{t1}$ = densidad del agua a temperatura 1.

Harris (2007), dice: “La ecuación de la densidad del agua para una temperatura determinada, indicando que esta ecuación es exacta hasta la quinta cifra decimal en el intervalos entre 4C^o y 40C^o” (pág. 39).

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}}^{t_1} = a_0 + a_1 \times T + a_2 T^2 + a_3 T^3$$

Ecuación 20. Densidad del agua

Donde:

- T: temperatura (C°)

$$a_0 = 0.99989$$

$$a_1 = 5.3322 \times 10^{-5}$$

$$a_2 = -7.5899 \times 10^{-6}$$

$$a_3 = 3.6719 \times 10^{-8}$$

Algunos instrumentos de medición de la densidad se encuentran los siguientes:

- Boyas calibradas.
- Picnómetros.

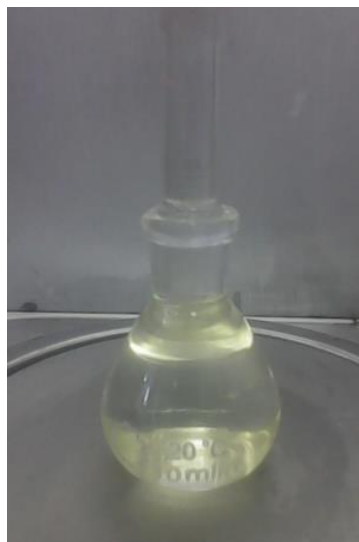


Figura No. 5. Picnómetro de 10 ml

2.4.4. Viscosidad

Ralbovsky (2000), menciona: La viscosidad del diésel afecta directamente al modelo o patrón de pulverización del combustible en la cámara de combustión y a los componentes del sistema de inyección, el combustible de mayor viscosidad producirá gotas mayores que se quemarán con mayor dificultad, por el contrario si el combustible tiene una viscosidad baja este se inyecta como neblina fina fácilmente inflamable, cabe resaltar también que, si la viscosidad es demasiado baja, no se produce una buena lubricación ni se enfría la bomba de inyección y las toberas (pág. 42).

La norma 2482 del Instituto Ecuatoriano de Normalización. Determina los requisitos de la viscosidad para un biodiesel: con los valores correspondientes a la máxima de **5 mm²/s** y mínima de **3,5 mm²/s**, a la temperatura de **40 °C**.

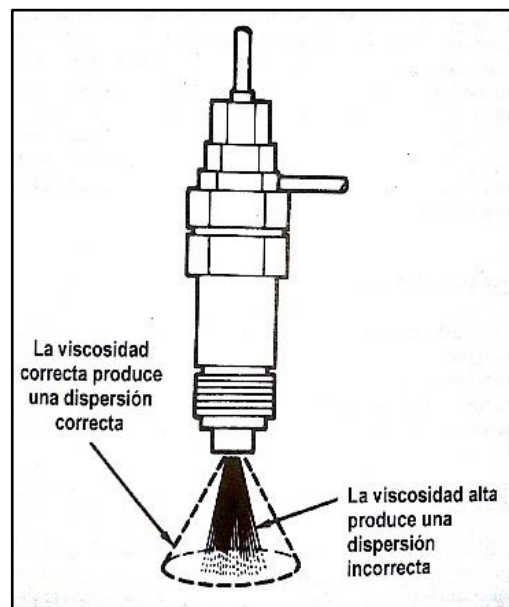


Figura No. 6. La viscosidad del combustible afecta al modelo de pulverización

Fuente: (Ralbovsky, 2000)

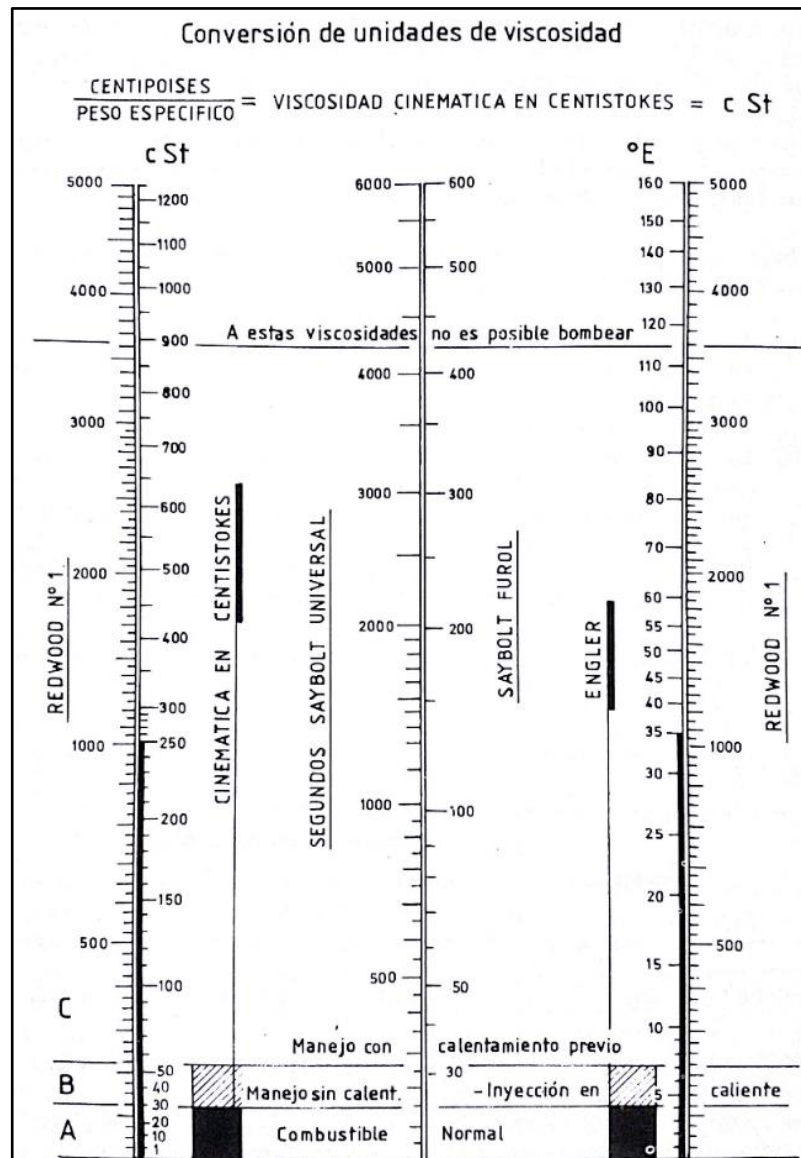


Figura No. 7. Ábaco de viscosidad de combustible

Fuente: (Millares de Imperial, 1985)

2.4.5. Viscosidad dinámica

La norma 810 del Instituto Ecuatoriano de Normalización, afirma: “Es la relación entre el esfuerzo cortante aplicado y el coeficiente de corte; es una medida de la resistencia al flujo de un líquido. En el SI, la unidad de viscosidad dinámica es el pascual por segundo”.

2.4.6. Viscosidad cinemática

Según la norma 810 del Instituto Ecuatoriano de Normalización, describe que es la relación entre la viscosidad y la densidad de la muestra; es una medida de la resistencia al flujo de un líquido bajo la acción de la gravedad. En el SI, la unidad de viscosidad cinemática es el metro cuadrado por segundo.

Mott (2006) dice: Los equipos para caracterizar el flujo de un líquido son denominados viscosímetros o reómetros, varios de estos equipos utilizan los principios fundamentales de la mecánica de fluidos expresando su la viscosidad en unidades fundamentales, otros utilizan valores relativos de la viscosidad usados para comparar fluidos diferentes (pág. 35). Equipos para medir la viscosidad a continuación:

- Viscosímetro de Saybolt universal.
- Viscosímetro de tambor rotatorio.
- Viscosímetro de bola que cae.
- Viscosímetros de vidrio capilar estándar calibrados.

2.4.7. Viscosímetros de vidrio capilar estándar calibrados

Pucuji, (2016) Menciona: En el instrumento se añade una mínima cantidad de la muestra de fluido, después de un tiempo para estabilizar la temperatura, se aplica succión mediante una pera de laboratorio o jeringuilla, Se registra el tiempo desde que empieza a circular por la marca superior hasta que baje a la marca inferior del bulbo.

La viscosidad cinemática se obtiene al multiplicar el tiempo de flujo por la constante de calibración del instrumento como lo ejecuta la ecuación de la norma 810 del Instituto Ecuatoriano de Normalización.

$$V_c = C * t$$

Ecuación 21. Viscosidad cinemática

Donde:

V_c = viscosidad cinemática, en mm^2/s ,

C = constante de calibración del viscosímetro, en mm^2/s^2 ; y

t = tiempo de flujo en segundos.

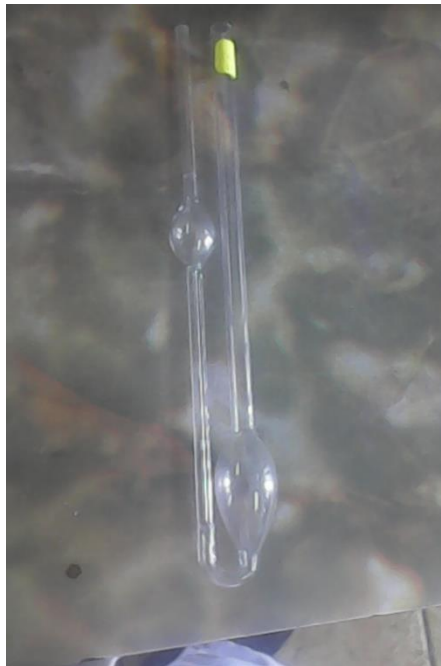


Figura No. 8. Viscosímetro Ostwald

2.4.8. Poder calorífico

Payri & Desantes, (2011), afirman: Es la expresión del contenido energético de un combustible lo define como la energía liberada en forma de calor en la combustión estequiométrica de una unidad de masa de

combustible, donde los productos quemados quedan en las mismas condiciones de temperatura y presión (o presión y volumen) que los reactivos iniciales (pág. 361). Siendo que los combustibles forman agua después de la combustión, el proceso de combustión real variara si el agua está en estado líquido o gaseo siendo la diferencia el calor latente de vaporización del agua (Payri & Desantes, 2011, pág. 361).

2.4.9. Poder calorífico superior

Payri & Desantes, (2011), afirman: “Este se obtiene cuando los gases producto de la combustión se encuentran a una temperatura inferior a la de condensación, se y se puede asumir que el agua formada condensa totalmente y esta ha cedido su calor latente de vaporización” (pág. 53).

2.4.10. Poder calorífico inferior

Este se genera cuando el agua producto de la combustión no condensa por lo tanto su calor latente no se ha liberado en el proceso de condensación, en otras palabras, es el que se obtendría si el agua de los productos permanece en la fase de vapor (Payri & Desantes, 2011, pág. 361). En los combustibles el poder calorífico depende de su composición química en la tabla 6 se observan los valores de varios combustibles usuales.

Tabla No. 6.

Valores de poder calorífico inferior de combustibles comunes

Combustible	PCI [MJ/Kg]
H ₂ .	121
Gas natural	45-47.7
Propano	46.4
Gasolinas	42.7-43.5
Gasóleos	42.5-43
Fuel-oil	> 39.7
Etanol	26.9

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

2.5 Determinación del poder calorífico

Los poderes caloríficos de los combustibles suelen determinarse mediante análisis químicos o bien de laboratorios. El método de laboratorio, para ensayos de combustible líquidos y sólidos se lo realiza utilizando un “calorímetro de bomba”. (Rajput, 2011, pág. 508).

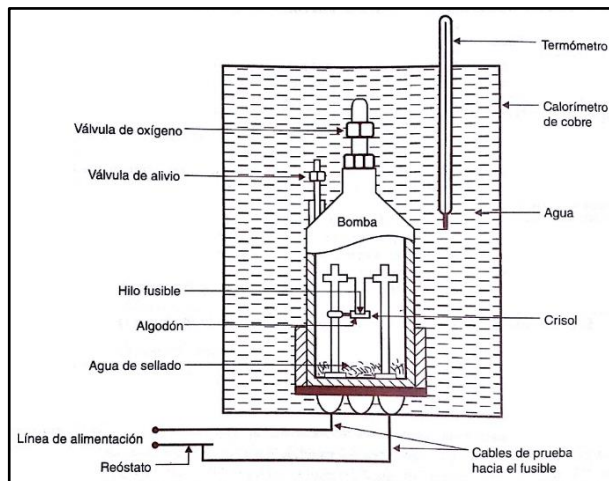


Figura No. 9. Calorímetro de bomba

Fuente: (Rajput, 2011)

Rajput, (2011), dice: La bomba calorimétrica está realizada de acero inoxidable, y permite que soporte alta presión. En el calorímetro se encuentra una bomba cilíndrica en la que ocurre la combustión. Tiene dos válvulas en la parte superior para la carga de oxígeno y para la descarga de gases combustionados. Posee un crisol en el cual se coloca el combustible

en el que se coloca los electrodos. También, dispone de una camisa interna de agua, que rodea a la bomba, que se utiliza para evitar las pérdidas por radiación. Incluye un agitador para mantener la temperatura del agua uniforme y un termómetro para medir la variación de temperatura (pág. 509).

El poder calorífico se define como la energía liberada en forma de calor de una unidad de masa de combustible (Payri & Desantes, 2011).

$$PCS = \frac{C \times \Delta T - e_1}{m_f}$$

Ecuación 22. Poder calorífico superior

$$e_1 = m \times h$$

Ecuación 23. Corrección del alambre

Donde:

- C=Capacidad calorífica de la bomba en J/°C
- ΔT = es el cambio de temperatura registrado durante la experiencia en (°C)
- m_f = Masa de combustible combustionada en (g)
- e_1 = Corrección por el calor generado por la combustión del filamento de ignición.
- m =centímetros de alambre fusible consumidos
- h=Poder calorífico de alambre fusible por cm (J/cm)

El poder calorífico para el alambre fusible de hierro es de:

$$h = 11.297 \text{ J/cm}$$

Payri & Desantes, (2011), dicen que: “A partir del poder calorífico superior se puede determinar el poder calorífico inferior, donde la diferencia

es el calor latente de vaporización del agua de los productos, que en condiciones de temperatura estándar (298 K) es:" (pág. 362).

$$\Delta u_{\text{vap}}^0 = 2305,1 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{PCI}_v = \text{PCS}_v - \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{m_f} \Delta u_{\text{vap}}^0$$

Ecuación 24. Poder calorífico inferior

Donde:

- PCI_v = Poder calorífico inferior a volumen constante.
- PCS_v = Poder calorífico superior a volumen constante.
- $m_{\text{H}_2\text{O}}$ = Masa de agua de los productos de la combustión.
- m_f = Masa de combustible quemado.

2.6. Etanol

También conocido como alcohol etílico, es un alcohol que se presenta en condiciones normales de presión y temperatura como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78,4 °C.

El etanol, también llamado alcohol etilo, alcohol de grano o EtOH, es un líquido limpio e incoloro. El etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) es el etano con una molécula de hidrógeno sustituida por un grupo hidroxilo, -OH. Una disolución acuosa de etanol tiene un cierto sabor dulce, pero soluciones más concentradas tienen un gusto ardiente.

Cuando la biomasa es la materia prima para producir etanol, se le denomina bioetanol. Para conseguir el bioetanol se utilizan como materia prima jugos azucarados (mostos de uva, azúcares de caña o remolacha), productos amiláceos por hidrólisis del almidón (de cereales, por ejemplo) o a

partir de celulosas presentes en los vegetales. (Ariztimuño, Gonzales, & Risueño , 2014).

En la actualidad muchos vehículos pueden circular con mezclas de gasolina y etanol. La mayoría con bajos porcentajes en la mezcla E10 (10% de etanol y 90% de gasolina) y algunos con altos niveles E85 (85% de etanol y 15% de gasolina). Debido a la abundancia de vehículos compatibles con el etanol, el etanol tiene un gran potencial como combustible del futuro.

El etanol reduce la dependencia de muchos países a las importaciones de petróleo porque se puede producir de forma local. En la actualidad, en Estados Unidos, el etanol reduce la demanda de importaciones de petróleo y de metil tributil eter en 98000 barriles al día. Lo que supone una reducción anual de 1.1 billones de dólares americanos. Actualmente en España se encuentra en explotación una planta en Cartagena de Ecocarburantes Españoles. En la que participa el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía) que produce 80.000 toneladas anuales de bioetanol y se encuentran en estudio otras plantas similares en Galicia, Castilla y León y Andalucía. Por ello, el actual Plan de Fomento de las Energías Renovables plantea como objetivos para el año 2010 la producción de 400.000 tep (toneladas equivalentes de petróleo) de bioetanol y 100.000 tep de biodiesel. (Ariztimuño, Gonzales, & Risueño , 2014).

Utilizando etanol, también se reduce la polución atmosférica. El etanol tiene baja reactividad y un alto contenido en oxígeno, lo que lo convierte en una herramienta efectiva en la reducción de la contaminación de ozono. También es un sustituto de los tóxicos activadores de octano de la gasolina como son el benceno, tolueno y xileno.

2.6.1. Principales características

El alcohol etílico o etanol es un alcohol que se presenta como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C. Al mezclarse con agua en cualquier proporción, da una mezcla azeotrópica. Es un líquido transparente e incoloro, con sabor a quemado y un olor agradable característico. (<https://www.ecured.cu/Etanol>).

Su fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$, principal producto de las bebidas alcohólicas.

Normalmente el etanol se concentra por destilación de disoluciones diluidas. El de uso comercial contiene un 95% en volumen de etanol y un 5% de agua. Ciertos agentes deshidratantes extraen el agua residual y producen etanol absoluto.

Tabla No. 7.

Propiedades físicas del etanol

Estado de agregación	Líquido
Apariencia	Incoloro
Densidad	810 kg/m ³ ; (0,810 g/cm ³)
Masa molecular	46,07 uma
Punto de fusión	158,9 K (-114,1 °C)
Punto de ebullición	351,6 K (78,6 °C)
Temperatura crítica	514 K (241 °C)
Presión crítica	63 atm.

Fuente: <https://www.ecured.cu/Etanol>

Tabla No. 8.

Propiedades químicas del etanol

Acidez	(pKa) 15,9
Solubilidad	En agua miscible
H0 gas	235.3 kJ/mol
H0 líquido	277.6 kJ/mol
S0 líquido	1 bar 161.21 J•mol ⁻¹ •K ⁻¹

Fuente: <https://www.ecured.cu/Etanol>

2.6.2. Obtención

Para obtener etanol libre de agua se aplica la destilación azeotrópica en una mezcla con benceno o ciclohexano. De estas mezclas se destila a temperaturas más bajas el azeótropo, formado por el disolvente auxiliar con el agua, mientras que el etanol se queda retenido. Otro método de purificación muy utilizado actualmente es la absorción física mediante tamices moleculares.

A escala de laboratorio también se pueden utilizar disecantes como el magnesio, que reacciona con el agua formando hidrógeno y óxido de magnesio, consultado el 18 de junio y disponible en (<https://www.ecured.cu/Etanol>).

2.6.3. Aplicaciones

El etanol es muy utilizado en la preparación de bebidas alcohólicas, en los sectores farmacéuticos e industriales, la industria química lo utiliza como compuesto de partida en la síntesis de diversos productos, como el acetato de etilo, el éter dietílico también se utiliza en la elaboración de perfumes y ambientadores. Se emplea como combustible industrial y doméstico. Consultado el 18 de junio y disponible en (<https://www.ecured.cu/Etanol>).

2.6.4. Toxicología

Impide la coordinación correcta de los miembros, pérdida temporal de la visión. Puede afectar al sistema nervioso central provocando mareos, somnolencia, confusión, estados de euforia, pérdida temporal de la visión.

En ciertos casos se produce un incremento en la irritabilidad del sujeto intoxicado como también en la agresividad; en otra cierta cantidad de individuos se ve afectada la zona que controla los impulsos, volviéndose impulsivamente descontrolados y frenéticos. Finalmente, conduce al coma y

puede provocar la muerte, consultado el 18 de junio y disponible en (<https://www.ecured.cu/Etanol>).

2.7. Tensioactivos

Romo, (1993). dice : “Estas sustancias forman soluciones acuosas en las que las interacciones energéticas moleculares son menos complejas y de menor magnitud que cuando las sustancias tensioactivas son iónicas” (pág. 77).

Cuando se aumenta la temperatura de estas sustancias se tornan eventualmente turbias. Las sustancias tensioactivas no iónicas más comunes son ésteres sintetizados a partir de ácidos grasos con glicerol, de ácidos grasos con polioxietileno y de ésteres de sorbitán y ácidos grasos combinados por polioxietileno (Romo, 1993).

Romo, (1993) explica : “Mediante la adición de grupos de oxietileno a moléculas hidrofóbicas se logra producir un compuesto tensioactivo balanceado, los compuestos así obtenidos son de constitución compleja, y esta característica según sirve para distinguirlos por su tensioactividad en cuatro grupos” (pág. 79):

- **Compuestos fuertemente hidrofílicos** que sirven para estabilizar emulsiones O/A y para incrementar la viscosidad de la fase acuosa, como los glicerol de polietileno.
- **Compuestos fuertemente hidrofóbicos** que Promueven débilmente la formación de emulsiones de tipo A/O. Un ejemplo es el monoestearato de gliserilo.
- **Compuestos promotores de la formación de emulsiones del tipo A/O**, tal como el mono oleato de manitol.
- **Compuestos que promueven la formación de emulsiones O/A**, como por ejemplo el monoestearato de sorbitán polioxietileno.

En la tabla 9 se enlista algunos tensioactivos que se comercializan para la elaboración de emulsiones.

Tabla No. 9.
Tensioactivos para emulsiones

Tipo	FM	BHL
Span 80	$C_{24}H_{44}O_6$	4.3
Span 83	$C_{18}H_{30}O_2$	3.7
Ácido oleico	$C_{18}H_{34}O_2$	1

Fuente: (Melo, Piloto, Goyos, Verhelst, & Sierens, Academia, 2016)

2.7.1. Ácido oleico

Es un ácido graso monoinsaturado de la serie omega 9 típico de los aceites vegetales como el aceite de oliva, aceite de girasol, del aguacate, etc. Ejerce una acción beneficiosa en los vasos sanguíneos reduciendo el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares: (Ecured, 2016)

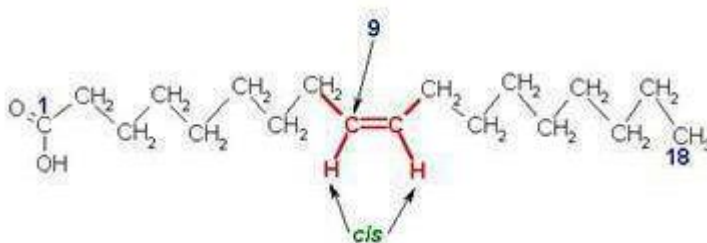


Figura No. 10. Enlace químico del Ácido oleico

El ácido oleico se encuentra en la mayoría de las grasas y aceites naturales aproximadamente en las siguientes proporciones: en el aceite de oliva de 70 a 75%; en el aguacate 70%; en el aceite de semilla de uvas de 15-20%, en el aceite de girasol alto-oleico en un 80% y en de girasol convencional en un 35%, en el aguacate se encuentra en una proporción aproximada del 70%, y en la carne de cerdo alcanza un 38%

2.7.2. Tween 80

Líquido oleoso límpido, o ligeramente opalescente, incoloro o amarillo pardusco. Dispersable en agua, etanol anhidro, acetato de etilo, y metanol. Prácticamente insoluble en aceites grasos y en parafina líquida. Densidad: 1,06-1,09g/ml. HLB: 15,0.

El Tween 80 es quizás el más usado en formulación magistral. Tiene acción protectora y emoliente. Es un agente humectante en la formulación de suspensiones orales y parenterales, y un detergente y acondicionador en champús. Aumenta la capacidad de retener agua de los ungüentos. Es muy bien tolerado y no es irritante para la piel y mucosas. De hecho reduce la irritación provocada por detergentes excesivamente agresivos para la piel (Acofarma, 2017) .

2.8. Balance hidrofílico lipofílico (BHL)

Holmberg, (2003), dice que la regla del pulgar en tecnología de emulsiones es que los emulsificantes solubles en agua tienden a dar emulsiones O/A y los emulsificantes solubles en aceite emulsiones A/O. Este concepto es conocido como la regla de Bancroft que es enteramente cualitativa (pág. 459).

Griffin introdujo el concepto del balance hidrofílico-lipofílico (BHL) de un surfactante, debido a la necesidad de establecer criterios para seleccionar sustancias anfílicas que puedan conducir a la preparación de una emulsión ya sea esta A/O u O/A

2.8.1. Escala de Griffin

(Romo, 1993) La escala está comprendida entre 1 y 20 asignados al ácido oleico y al oleato de potasio, correspondientemente, lo que lleva a que el primero es 100% lipofílico y el segundo 100% hidrofílico. Las siguientes tablas 10, 11 y 12 presentan los usos del número BHL de Griffin, para determinadas aplicaciones y su rango.

Tabla No. 10.

Uso del concepto del número BHL de Griffin

BHL Rango de número	Apariencia de la solución acuosa
1-4	No dispersable
3-6	Dispersión pobre
6-8	Dispersión lechosa después de agitación
8-10	Dispersión lechosa estable
10-13	Límite traslucida a clara
13-20	Solución clara

Fuente: (Holmberg, Jönsson, Kronberg, & Lindman, 2003)

Tabla No. 11.

Aplicación de una emulsión de acuerdo al BHL

BHL Rango de número	Aplicación
3-6	Emulsificante W/O
7-9	Agente humectante
8-14	Emulsificante O/W
9-13	Detergente
10-13	Solubilizante
12-17	Dispersante

Fuente: (Holmberg, Jönsson, Kronberg, & Lindman, 2003)

Tabla No. 12.

BHL requerido para emulsionar

Sustancia	Emulsión A/O	Emulsión O/A
Aceite de algodón		7.5
Parafina líquida	4	10-12
Vaselina	4	10-12
Ácido Esteárico		15-18
Cera de abeja	5	10-16
Lanolina anhidra		10-12
Aceites vegetales		6-10

Fuente: (Oliva i Herrera, 2009)

Cuando se mezclan sustancias tensioactivas de diferentes valores de BHL resulta que el balance hidrofílico-lipofílico de la mezcla resultante se obtiene mediante la ecuación 25 (Romo, 1993, pág. 143).

$$\text{BHL} = \sum g_i (\text{BHL})_i$$

Ecuación 25. Balance hidrofílico lipofílico

Donde:

- g_i = fracción por peso
- $(\text{BHL})_i$, = BHL del componente i

Esta ecuación es válida únicamente cuando se trabaja con sustancias tensioactivas no-iónicas, la tabla 13 presenta algunas sustancias tensioactivas con su valor de BHL. De la ecuación 25, (Raheman, & Kumari, 2014, pág. 111), calculan el BHL de las emulsiones utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\%_A = \frac{(\text{BHL} - \text{BHL}_B) \times 100\%}{\text{BHL}_A - \text{BHL}_B}$$

Ecuación 26. BHL sustancia A

$$100\% = \%_A + \%_B$$

Ecuación 27. BHL sustancia B

Donde:

- $\%_A$ = Porcentaje de la sustancia A
- $\%_B$: Porcentaje de la sustancia B
- BHL_A : Valor de BHL de la sustancia A
- BHL_B : Valor de BHL de la sustancia B
- BHL: Valor de BHL para la aplicación

Tabla No. 13.

Comparación de BHL calculados y experimentales

Substancias Tensioactivas	Valores de BHL	
	Experimentales	Calculados
Lauril Sulfato de Sodio	40	40
Oleato de Potasio	20	20
Oleato de Sodio	18	18
Monolaureato de Sorbitán	8.6	8.5
Monooleato de Sorbitán	7	7.2
Monopalmitato de Sorbitán	6.7	6.6
Monoestereato de Sorbitán	5.9	5.7
Alcohol Cetílico	1	1.3
Ácido Oleico	1	1

Fuente: (Romo, 1993)

2.9. Emulsiones

Según Bosch, (2005), menciona: Es la estabilización del agua u otra sustancia no miscible en el diésel, para lo cual se utilizan emulsionantes, el objeto de ello es evitar una desemulsificación (pág. 85).

También Bosch, (2005) asegura que es preciso tomar una serie de medidas protectoras contra la oxidación y el desgaste dentro del motor. Con la utilización de las emulsiones pueden reducirse las emisiones contaminantes al ambiente y los porcentajes de opacidad, esto se debe al uso del etanol.



Figura No. 11. Emulsiones de diésel-etanol en diferentes porcentajes

(Alternative petroleum technologies APT, 2013), afirma: Dependiendo de la aplicación el contenido de agua de una emulsión diésel (DOE), el contenido de agua por volumen puede variar entre el 6 al 16 %, sin embargo el producto estándar contiene aproximadamente el 11% de agua, menos del 2% de aditivo y el resto del contenido de diésel.



Figura No. 12. Apariencia blanca generada por el agua

Fuente: (Alternative petroleum technologies APT, 2013)

Romo, (1993), menciona: “Una emulsión es un sistema coloidal constituido por dos líquidos inmiscibles en el que uno es la fase continua y el otro la fase discontinua formada por partículas del líquido de diámetros que varía aproximadamente entre 1μ y 30μ ” (pág. 1).

Se presentan dos formas:

2.9.1. Emulsión de agua en líquido orgánico (A/O)

Pucuji, (2016), describe: “Se caracteriza por tener como fase continúa el líquido orgánico y la parte acuosa como fase discontinua o dispersa.

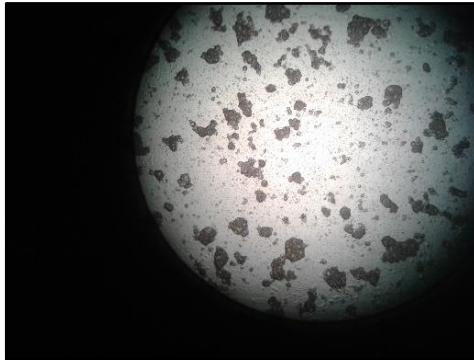


Figura No. 13. Emulsión agua-diésel

Fuente: (Pucuji D., 2016)

2.9.2. Emulsiones de líquido orgánico en agua (O/A)

Pucuji (2016) menciona: “Por el contrario de las anteriores estas tienen como fase continua el agua y como fase dispersante el líquido orgánico. Cabe mencionar que la parte líquida de mayor porcentaje en la muestra no siempre es la fase continua.” (pág. 56).

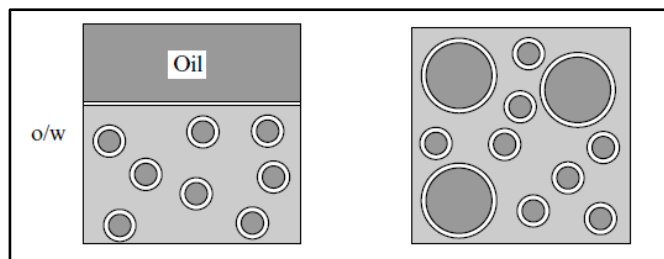


Figura No. 14. Dispersión de una emulsión O/W

Fuente: (Holmberg, Jönsson, Kronberg, & Lindman, 2003)

2.9.3. Mecanismos de formación de emulsiones

Para la formación de emulsiones líquidas, se empieza con la sustancia que será la fase continua, después se añaden los tensioactivos que homogenizarán la mezcla, finalmente la fase dispersa y a esto se le añade trabajo mecánico para la formación de microesferas que constituyen la fase dispersa.

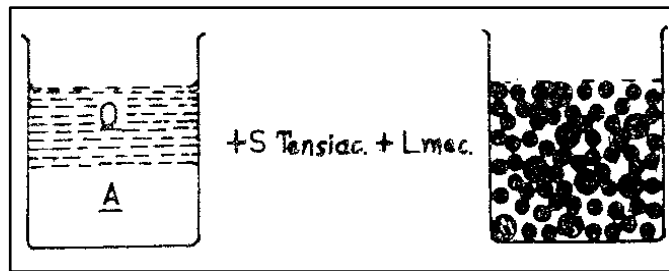


Figura No. 15. Formación de la emulsión

Fuente: (Romo, 1993)

Romo, (1993), menciona que el agente emulsificante reduce significativamente la energía de agitación y en general con una alta concentración de este agente requiere de menos agitación (pág.122).

En la formulación de emulsiones se puede contar con diferentes equipos emulsionantes así como: mezcladores, agitadores, homogenizadores de alta presión, molinos coloidales, entre otros, así con diferentes métodos y tensioactivos se puede realizar la homogenización de las sustancias líquidas, en la figura 16 se observa dos equipos de los mencionados anteriormente:



Figura No. 16. Mezcladores de emulsiones

CAPÍTULO III

3. ELABORACIÓN DE LAS EMULSIONES Y EQUIPOS

Para la investigación técnica experimental de la emulsión diésel-etanol a diferentes porcentajes, con respectivos cálculos del BHL de las sustancias a utilizar se procedió a realizar formulaciones con el aditivo adecuado para mantener estable las emulsiones, posteriormente se obtuvo las propiedades fisicoquímicas de las emulsiones respectivamente, la densidad, viscosidad, tamaño de partícula y poder calorífico, esto se realizó en los laboratorios de Coloideoquímica y nanotecnología de la Universidad Central del Ecuador, las pruebas de los parámetros mecánicos y térmicos de las emulsiones, así: fuerza, tiempo, temperatura, consumo de combustible, opacidad y otros, en el banco de pruebas PLINT TE-46 del laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. La información obtenida de las pruebas mencionadas se utiliza para el análisis y discusión de resultados en el siguiente capítulo.

3.1. Valoración de la estabilidad de las mezclas

En investigaciones posteriores, aseguran que las mezclas de etanol con el combustible diésel son miscibles con porcentajes mínimos menores al 3%, una vez sobrepasado el porcentaje ya mencionado se requiere de un aditivo para mantener estables, esto a la vez es directamente influenciado por la temperatura. Por lo tanto realizar un aditivo que mantenga estable la mezcla diésel-etanol y no se vea influenciado por la temperatura, es la parte principal para las mezclas a diferentes porcentajes.

A continuación, se describe el procedimiento que se efectuó para la elaboración del aditivo, de las mezclas y respectivamente la valoración de la estabilidad de las mismas.

3.2. Método para la elaboración del aditivo

Para la elaboración de las mezclas de diésel-etanol al 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% de etanol, se preparó un aditivo en general con la siguiente composición basado en el BHL (Balance Hidrofílico Lipofílico) de las sustancias químicas.

Con los valores del BHL de las sustancias que funcionaran como aditivo en las emulsiones se obtiene los siguientes valores:

Tabla No. 14.
BHL Tensioactivos

Producto	BHL
Tween 80	15
Ácido Oleico	1

El valor BHL utilizado para la investigación es 4, donde la sustancia A: Tween 80 y B: ácido oleico, se obtiene:

$$\text{Sustancia \%}_A = \frac{(4 - 1) \times 100\%}{15 - 1}$$

$$\%_A = 21.42\%$$

$$\text{Sustancia \%}_B = 100\% - 21.42\%$$

$$\%_B = 78.57\%$$

El compuesto total de nuestro aditivo ya calculado será de 100% y este será añadido a las emulsiones en porcentajes diferentes para cada muestra de la investigación.

3.3. Método para la elaboración de las emulsiones

La elaboración de las emulsiones se realizó mediante el método de BHL (Balance Hidrofílico Lipofílico) y con pruebas de ensayo y error. Para los

ensayos correspondientes se utilizó sustancias químicas adquiridas en “H & H Químicos” y proporcionadas en el laboratorio de “Coloideoquímica de la UCE”, seguidamente se realizó en tubos de ensayo en muestras de 10g, se observó su estabilidad en lapsos de doce horas durante tres semanas. Después de varios ensayos y observación, se eligió las que presentaron mejor la estabilidad a temperatura del laboratorio 20⁰C y presión de la ciudad de Quito, seguidamente se elaboró en cantidades mayores para realizar las pruebas respectivas en el motor y obtener datos, para análisis posteriores.

3.4. Equipos para elaboración de las emulsiones

Para el desarrollo de la presente investigación se inició con equipos de medición en cantidades mínimas, en la elaboración de las emulsiones de 10g, seguidamente con el análisis de las propiedades fisicoquímicas de las emulsiones de combustible diésel-etanol y posteriormente con equipos de medición incluidos en el banco motor, para determinar los parámetros térmicos y mecánicos así como el porcentaje de la opacidad.

3.4.1. Balanza electrónica

La balanza electrónica utiliza un sensor para conocer el valor del peso colocado en el platillo y este a través de señales que serán decodificadas por un procesador y el valor se visualizara en una pequeña pantalla LCD.



Figura No. 17. Balanza electrónica Denver instrument

3.4.2. Balanza granataria

La balanza granataria de laboratorio, se utiliza en mediciones de mayor volumen que se basa en la diferencia del peso en masa y el peso en volumen para los laboratorios que realicen la medición de una sustancia en mayor cantidad.



Figura No. 18. Balanza granataria OHAUS
Fuente (Pucuji, 2016)

3.4.3. Mezclador

Equipo de agitación y mezclado para la elaboración de sustancias líquidas mediante trabajo mecánico, y la regulación de su velocidad con una perilla analógica de selección en rpm.

3.4.4. Mezclador Vortex

Equipo mezclador de encendido manual o automático, con velocidad variable de 100 hasta 1000 rpm y control analógico, que permite realizar la mezcla de sustancias mediante la turbulencia interna dentro del recipiente, para la presente investigación se utilizó tubos de ensayo en muestras de 10g.



Figura No. 19. Mezclador Vortex mixer

3.4.5. Mezclador Silverson L4R

Se utiliza para la elaboración de mezclar a mayores volúmenes con mayor velocidad de agitación que permite homogenizar, estabilidad, eficiencia en prácticas de laboratorio con una capacidades de mezclado desde 1 ml hasta 12 litros, ofreciendo mejor manejo en el proceso de emulsionado (Silverson, 2016).



Figura No. 20. Mezclador Silverson L4R

3.5. Procedimiento de elaboración de las emulsiones 10g de muestra

Para las muestras diésel-etanol en cantidades de 10g en peso se utilizaron los equipos: balanza electrónica Denver instrument y el mezclador Vortex mixer mencionados anteriormente, las sustancias diésel y etanol 99.5% de pureza, nuestro aditivo compuesto por Tween 80 y ácido oleico con el siguiente proceso:

- Colocar un recipiente vacío dentro de la celda de vidrio.
- Pulsar el botón tarar de la balanza electrónica.
- Colocar la sustancia en el recipiente verificando la cantidad de masa a medir en la pantalla LCD.
- Cerrar las compuertas de la celda de vidrio para obtener la medida exacta sin interferencia de corrientes de aire.
- Registrar los datos.

Importante: No colocar las sustancias químicas a medir directamente sobre el platillo de la balanza. (Harris, D., 2007, pág. 26).

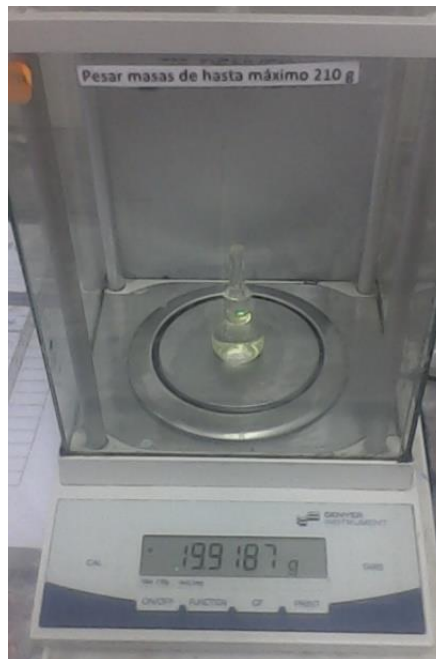


Figura No. 21. Pesos de las sustancias

- Seleccionar el tipo de encendido (manual o automático).
- Seleccionar la velocidad en rpm para realizar la agitación de la sustancia líquidas a ser mezcladas.
- Sujetar firmemente el tubo de ensayo en la parte superior.
- Colocar en la base del mezclador y presionar durante el trabajo de agitación en tiempos de 2 minutos, observar los cambios que se generan en las emulsiones durante todo el proceso de agitación.
- Apagar el equipo mezclador.



Figura No. 22. Agitación de la emulsión

- Almacenar las emulsiones realizadas en gradillas para su observación posterior.



Figura No. 23. Gradilla y tubos de ensayo

3.6. Preparación del combustible reformulado

Una vez determinado el porcentaje correcto para mantener estables las mezclas a diferentes temperaturas, se procedió a la preparación en mayor volumen las mezclas diésel-etanol para determinar las características

fisicoquímicas y posteriormente las propiedades térmicas y mecánicas de las emulsiones.

3.6.1. Procedimiento de elaboración de las emulsiones 1galon de muestra

- Calcular el volumen correspondiente al porcentaje de cada muestra.



Figura No. 24, Volumen de diésel a mezclar

- Conectar el equipo a la fuente de alimentación 110V.
 Seleccionar la altura correcta para ubicar el recipiente en el mezclador.
- Colocar las sustancias líquidas en el recipiente.
- Seleccionar la altura para la agitación correcta de los líquidos a ser mezclados.
- Girar la perilla en sentido horario, a la vez seleccionar las rpm.
- Mezclar el etanol y el aditivo en sus porcentajes correspondientes a 1000 rpm.
- Añadir la mezcla etanol-aditivo en el volumen de diésel correspondiente con rpm inicial de 1000-5000 rpm.



Figura No. 25. Agitación diésel-etanol-aditivo

- Observar el proceso de mezclado durante 3 minutos a 8000 rpm.



Figura No. 26. Mezclado a 8000 rpm

- Proceder almacenar las mezclas en galones para sus respectivos análisis en el motor posteriormente.
- Observar el proceso de mezclado durante 3 minutos a 8000 rpm.
- Proceder almacenar las mezclas en galones para sus respectivos análisis en el motor posteriormente.



Figura No. 27. Mezclas 2%-7.5%-10%-12.5% de etanol

3.7. Propiedades fisicoquímicas

3.7.1. Picnómetro

Instrumento de medición de volumen para determinar la masa de sustancias líquidas, a través de cálculos hallar la densidad. Se utilizó un picnómetro de 10ml a temperatura ambiente de la ciudad de Quito en el laboratorio de Coloideoquímica de la Universidad Central del Ecuador.

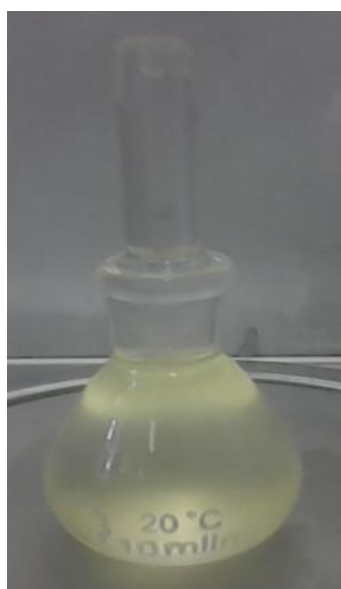


Figura No. 28. Picnómetro de 10ml

3.7.2. Procedimiento para determinar la densidad de las emulsiones

- Registrar la temperatura ambiente del laboratorio (20 °C).
- Encerar la balanza electrónica Denver Instrument.
- Pesar el picnómetro vacío.
- Pesar el picnómetro con agua destilada.



Figura No. 29. Masa de agua

- Pesar el picnómetro con la muestra de combustible.

Importante: Al manipular el picnómetro, existe intercambio de temperatura entre nuestro cuerpo y el instrumento, es aconsejable dejar reposar el picnómetro con la emulsión a la temperatura del laboratorio aproximadamente 10 minutos.



Figura No. 30. Masa de la emulsión 5% etanol

- Registrar los datos de la masa de la emulsión.
- Calcular la densidad de las emulsiones diésel-etanol con los datos registrados.

3.7.3. Poder calorífico

3.7.4. Procedimiento para el cálculo de la capacidad calorífica del equipo

- Valor del ácido benzoico con poder calorífico de 26454 J/g.



Figura No. 31. Acido benzoico
Fuente (Ávila & Túnala, 2014, p. 90)

- Pesar 0.8 gr de muestra de ácido benzoico.
- Cortar un hilo de fusible de 6 cm, fijar el hilo en los electrodos, asegurarse que el cable se encuentre en contacto mínimo con la sustancia.

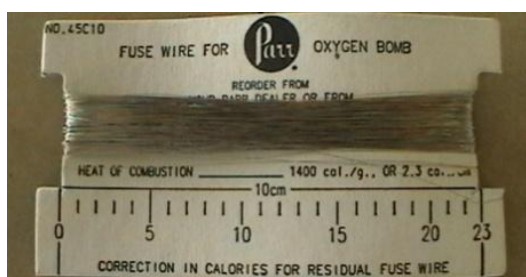


Figura No. 32. Alambre de fusible
Fuente (Ávila & Túnala, 2014, p. 89)

- Calcular la capacidad calorífica del equipo con los datos generados en el experimento.

3.7.5. Procedimiento para determinar el poder calorífico de las emulsiones

- Pesar 0.8 gr de muestra a quemar en el crisol.



Figura No. 33. Crisol y emulsiones

- Añadir 2000ml de agua destilada en la camisa externa de la bomba calorimétrica.



Figura No. 34. Camisa externa

- Colocar el crisol con la muestra en el soporte y el hilo de fusible (6cm) en los electrodos, fijar correctamente para que exista una combustión completa de la muestra.



Figura No. 35. Elementos de la bomba

- Llenar la bomba armada con oxígeno a 17.5 bar de presión, mediante la válvula de llenado.



Figura No. 36. Tanque de oxígeno

- Colocar la bomba armada dentro de la camisa, posteriormente colocar la camisa externa en el calorímetro y conectar los electrodos en la bomba.



Figura No. 37. Instalación del mechero

- Colocar la tapa del calorímetro y encender el equipo hasta estabilizar las temperaturas de la camisa externa y camisa interna manteniéndolas en equilibrio.



Figura No. 38. Calorímetro

- Presionar el pulsador de combustión para iniciar la prueba, observar el incremento de la temperatura alcanzada en el termómetro de la camisa interna y presionar la agitación del termómetro en tiempos de 30 segundos durante el incremento hasta llegar al máximo, con tres valores similares ha terminado la prueba.



Figura No. 39. Prueba de correcto armado en la bomba calorimétrica

- Registrar datos
- Abrir la tapa del calorímetro y retirar la bomba de combustión y mediante la válvula de despresurización quitar la presión del sistema de la bomba.
- Abrir la bomba cuidadosamente, medir el hilo fusible sobrante, con papel absorbente limpiar el agua generada por los productos de combustión.



Figura No. 40. Bomba

- Pesarse el papel absorbente con el agua generada, para cálculos posteriores.



Figura No. 41. Emulsiones y balanza electrónica

- Registrar datos.
- Calcular el poder calorífico superior e inferior con los datos generados durante la prueba.

3.8. Viscosidad

3.8.1. Procedimiento para la viscosidad cinemática

- Encender el equipo para el baño térmico, regular su temperatura para iniciar las pruebas con las emulsiones, la temperatura de pruebas se estableció según la norma 2482 del INEN, a 40 °C.



Figura No. 42. Interface del equipo y baño térmico Huber

- Introducir 10 cm³ de la emulsión de prueba en el viscosímetro Ostwald, colocarlo en el sujetador e insertarlo en el baño térmico por 5 minutos hasta que la muestra se estabilice con la temperatura del baño térmico.



Figura No. 43. Sujetador y viscosímetro Ostwald

- Generar succión por vacío o presión para desplazar la emulsión al nivel superior del brazo capilar del instrumento alrededor de 10 mm antes de la marca superior y registrar el tiempo.



Figura No. 44. Succión para iniciar la prueba

- Iniciar el cronómetro cuando el líquido pase por la marca superior del tiempo, iniciar el conteo del cronómetro.



Figura No. 45. Viscosímetro en prueba

- Observar cuando el líquido atraviese las marca inferior del tiempo y parar el cronómetro.
- Registrar datos.
- Calcular la viscosidad con los datos registrados en la prueba.

3.9. Horiba SZ-100 (DLS)

SZ-100 de Horiba es un equipo que analiza, la caracterización de propiedades físicas de las emulsiones, variando la configuración se puede determinar el de tamaño de partícula, medir el potencial zeta, entre otros. El análisis para determinar el tamaño de partícula de las emulsiones en un estudio se las realiza por dispersión de luz dinámica, según las propiedades físicas de la muestra, el rango puede ser de 0.3 nm – 8 μ m. Los límites son influenciados por la concentración, cuan fuertemente dispersa luz la muestra, y la presencia de grosor.



Figura No. 46. HORIBA SZ-100 (DLS)

3.9.1. Procedimiento para determinar el tamaño de partícula

- Insertar las pilas AAA, en el equipo de refracción, y encenderlo,
- Colocar en el lente del equipo de refracción una cantidad mínima de agua destilada, pulsar el botón START, después que marque el índice de refracción del agua destilada en la pantalla presionar el botón ZERO, para tarar el equipo.



Figura No. 47. Medidor del índice de refracción

- Secar el lente del lector y añadir la emulsión que se va a determinar el tamaño de partícula.
- Pulsar el botón START.
- Registrar el valor de la emulsión.

- Iniciar el programa HORIBA SZ-100, en la computadora, configurar las condiciones de la emulsión y datos a obtener. (Instrucción de laboratorista).
- Añadir en la celda de vidrio la cantidad de 3 ml de la emulsión, limpiar y secar minuciosamente la parte externa de la celda.

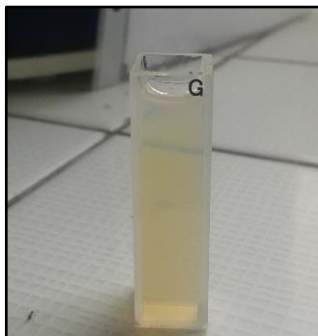


Figura No. 48. Celda de vidrio equipo HORIBA SZ-100
Fuente (Pucuji, 2016, pág. 95)

- Presionar el botón gris del equipo para abrir la compuerta, e insertar con precaución la celda de vidrio con la emulsión y cerrar la compuerta para iniciar el análisis.



Figura No. 49. HORIBA- SZ-100 compuerta abierta

- Iniciar el análisis de la emulsión desde el programa, tiempo aproximado para las pruebas por triplicado (10 minutos).
- Guardar archivos del análisis.

15%etanol diesel_2483.nsz	
Measurement Results	
Date	lunes, 05 de junio de 2017 11:21:24
Measurement Type	Particle Size
Sample Name	15%etanol diesel
Scattering Angle	173
Temperature of the Holder	25.0 °C
Dispersion Medium Viscosity	21.300 mPa·s
Transmission Intensity before Meas.	43
Distribution Form	Standard
Distribution Form(Dispersity)	Monodisperse
Representation of Result	Scattering Light Intensity
Count Rate	1300 kCPS
Calculation Results	
Mean Size (Z-average)	1455.6 nm
PI	904.456
Cumulant Operators	
Z-average	1455.6 nm
PI	904.456
Molecular Weight Measurement	
Molecular Weight	$6.215 \times 10^{-11} \text{ kg}$
Parameters for Molecular Weight Calculation	$\eta = 1.002 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{mol}$ and $R = 1.000 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{mol}$

Figura No. 50. Interfaz del análisis

3.10. Propiedades térmicas-mecánicas

3.10.1. Banco motor PLINT TE-46

Las pruebas se las realizó en el laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus matriz Sangolquí. En el banco motor PLINT TE-46 que cuenta con el motor PETERS AA-1 mono cilíndrico de inyección directa, para realizar el análisis de las emulsiones con respecto a los parámetros mecánicos y térmicos del motor.



Figura No. 51. Banco de pruebas PLINT TE-46

Tabla No. 15.
Características del banco de pruebas PLINT TE-46

Detalle	Característica
Banco de pruebas	PLINT TE-46
Motor	PETTERS AA-1
Diámetro	70 mm
Carrera	57 mm
Número de cilindros	1
Relación de compresión r_c	17:1
Potencia nominal	4 B.H.P a 1800 rpm
Velocidad máxima	3600 rpm
Velocidad mínima	1500 rpm
Brazo de palanca de dinamómetro	265 mm

Fuente: Laboratorio de motores de combustión interna, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí, 2017

3.10.2. Prueba a velocidad variable y aceleración constante

Se utiliza en los ensayos del banco de pruebas PLINT TE-46 del laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas campus Sangolquí, en las pruebas el motor PETTERS AA-1 trabajó a 3100 rpm, seguidamente se fue disminuyendo la velocidad en lapsos de 200 rpm hasta reducir a 2300 rpm que sería el último valor de la velocidad en las pruebas.

3.10.3. Procedimiento para las pruebas mecánicas y térmicas

- Instalar el depósito alterno en el banco, añadir la emulsión de combustible que se va a realizar la prueba en el depósito alterno (rojo).



Figura No. 52. Depósito alterno

- Cerrar la válvula del tanque principal de combustible, cambiar las conexiones de manguera del depósito principal al depósito alternativo que contiene la emulsión de combustible para la prueba.



Figura No. 53. Conexión de mangueras

- Encender el tablero y la computadora, iniciar el programa para la toma de datos de prueba, tomar el valor referencial de la carga del dinamómetro para cálculos posteriores.



Figura No. 54. Interfaz del banco y tablero de encendido

- Purgar el sistema de inyección del motor para prevenir fallos en el motor y errores en el registro de datos.



Figura No. 55. Motor Petter AA-1

- Ajustar el banco motor sin resistencias para iniciar el arranque, cambiar el modo del dinamómetro de generador a motor, proceder a girar la perilla de START en sentido horario para el arranque motor del dinamómetro hasta alcanzar 2500-3500 rpm.



Figura No. 56. Tablero de control

- Desacoplar el volante de arranque, inmediatamente cambiar el modo del dinamómetro de motor a generador, observar que el voltaje no sobrepase los 220v, caso contrario generar carga al motor.
- Regular la velocidad a 3500 rpm para iniciar las pruebas con la condición de arranque en frio, sin carga en el dinamómetro.
- Encerar el cronómetro del banco, observar que el combustible pase por el punto A de la probeta e iniciar el cronómetro y el registro de los valores que se indican para las condiciones de prueba.



Figura No. 57. Registro de datos

- Detener el cronómetro cuando el combustible llegue al punto B de la probeta.



Figura No. 58. Registro del tiempo

- Disminuir las rpm, en intervalos de 200 rpm para nuestra investigación y aumentar la carga del dinamómetro si así lo requiere para mantenerse en las condiciones de prueba siguiente.



Figura No. 59. Visualizador de las RPM

- Repetir el procedimiento para cada emulsión de combustible hasta registrar los datos suficientes para los cálculos respectivos.
- Seguidamente retirar la carga del dinamómetro, reducir a ralentí la aceleración del motor.
- Finalmente apagar el motor.

3.11. Medidor de opacidad NDO-6000

El equipo permite medir la opacidad de los gases de escape del motor de combustión interna, además la temperatura de gases de escape y las RPM del motor, las unidades con las que trabaja para este parámetro son: m^{-1} y %, las especificaciones del equipo se observa en la tabla 16.



Figura No. 60. Opacómetro NDO-6000

Tabla No. 16.

Especificaciones opacómetro NDO-6000

Característica	Detalle
Rango de medida smoke	0.0~100.0%
Rango de medida (k)	0.00~21.42 m^{-1}
Resolución medida smoke	0.1%
Resolución de medida (k)	0.01 m^{-1}
Precisión	$\pm 1\%$
Tiempo de respuesta	0.5 Segundos (90% más)
Tiempo de calentamiento	10 minutos
Fuente eléctrica	220V / 110V AC 50/60 Hz

Fuente: (Nextech)

3.11.1. Prueba de opacidad

Determina la turbidez del humo que emiten los motores de combustión interna por el tubo de escape a diferentes condiciones de trabajo, a través de la sonda ingresa el humo hasta llegar a la cámara de medición del opacómetro y registrar el porcentaje, las rpm y la temperatura del humo.

3.11.2. Procedimiento para determinar la opacidad

- Conectar el equipo a la fuente de alimentación 110V.
- Encender el equipo en la parte posterior del mismo.
- Mantener el opacímetro en un área libre de humo durante 6 minutos para encerrar el equipo.



Figura No. 61. Encerrar el opacímetro

- Insertar la sonda del opacímetro en el conducto de los gases de escape del motor.



Figura No. 62. Sonda en posición

- Presionar la tecla HOLD, para registrar los valores del porcentaje de opacidad.

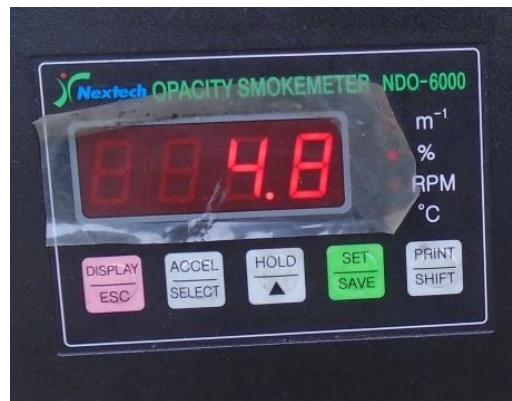


Figura No. 63. Interfaz del opacómetro

- Valorar las medidas de opacidad tomadas por el equipo, para registrar una nueva medida, presionar nuevamente la tecla HOLD, y dirigirse al paso 3 nuevamente.
- Reducir la velocidad a 1500rpm para la medición de la opacidad.



Figura No. 64. Registro de la opacidad

- Retirar la sonda del opacómetro del conducto de los gases de escape del motor después de culminar las mediciones.
- Finalmente apagar el equipo.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

En el presente capítulo de la investigación se evalúa la información extraída en cada proceso de caracterización de las emulsiones, así como las pruebas respectivas en el banco de pruebas PLINT TE-46, para el análisis y comparación con el diésel neto y las respectivas emulsiones de 2%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% de etanol químicamente puro (99.5%). Las propiedades para la caracterización de las emulsiones fueron: densidad, viscosidad, poder calorífico y tamaño de partículas, así también en el motor PETERS AA-1 las propiedades mecánicas-térmicas y opacidad de los gases de escape. A continuación, se presenta la obtención de cada una de las pruebas así como los resultados.

Tabla No. 17.
Obtención de datos en las pruebas

Parámetro	Equipo/Instrumento	Lugar
Densidad	Picnómetro	“Universidad Central del Ecuador” Laboratorio de Coloideoquímica
Viscosidad	Baño térmico Huber/Viscosímetro Ostwald	“Universidad Central del Ecuador” Laboratorio de Coloideoquímica
Tamaño de partícula	HORIBA SZ-100 (DLS)	“Universidad Central del Ecuador” Laboratorio de Investigación de nanotecnología
Poder calorífico	Bomba calorimétrica adiabática	“Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE” campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna
Torque	Banco de pruebas PLINT TE-46	“Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE” campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna
Potencia	Banco de pruebas PLINT TE-46	“Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE” campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna
Consumo de combustible	Banco de pruebas PLINT TE-46	“Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE” campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna
Opacidad	Opacímetro NDO-6000	“Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE” campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna

4.1. Porcentajes de formulación

Para la elaboración de las emulsiones diésel-etanol a diferentes porcentajes se realizó cálculos con el BHL de cada tensioactivo, así llegar al valor adecuado en la estabilización, para nuestra investigación se utilizó Ácido oleico y Tween 80 en porcentajes ya descrito en el capítulo III, que es la mezcla para hacer su función de aditivo principal para realizar la mezcla, este se utilizó en diferentes porcentajes para cada muestra de las emulsiones.

4.1.1. Emulsión diésel-etanol 2%

Para la formulación que contiene 2% de etanol, no es necesario la utilización del aditivo para mantener estable la mezcla, se estimó un tiempo de observación de aproximadamente trece horas, y se observó que no existe la separación de fases.

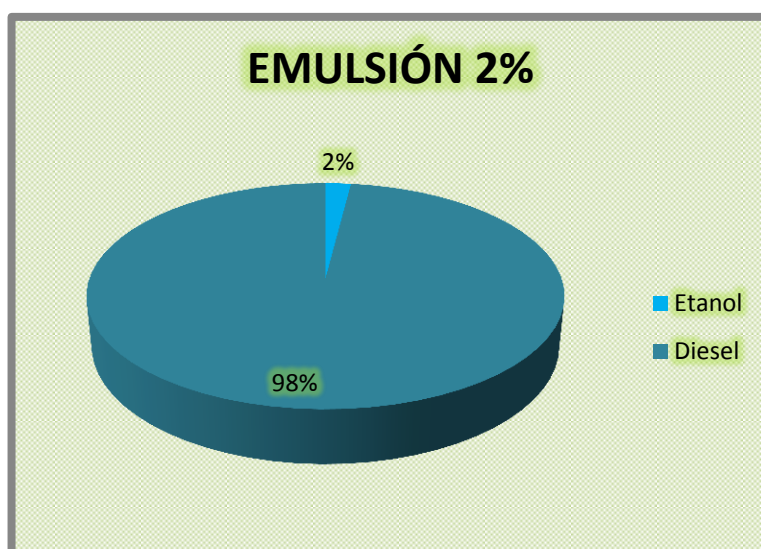


Figura No. 65. Porcentaje emulsión Diésel-Etanol 2%

4.1.2. Emulsión diésel-etanol 5%

La formulación del 5% de etanol, es necesario 1% de aditivo para la estabilidad de la emulsión, a temperatura ambiente (20 °C) y pruebas de laboratorio (45 °C), tomando en cuenta el tiempo de observación, sin existir separación de fases.

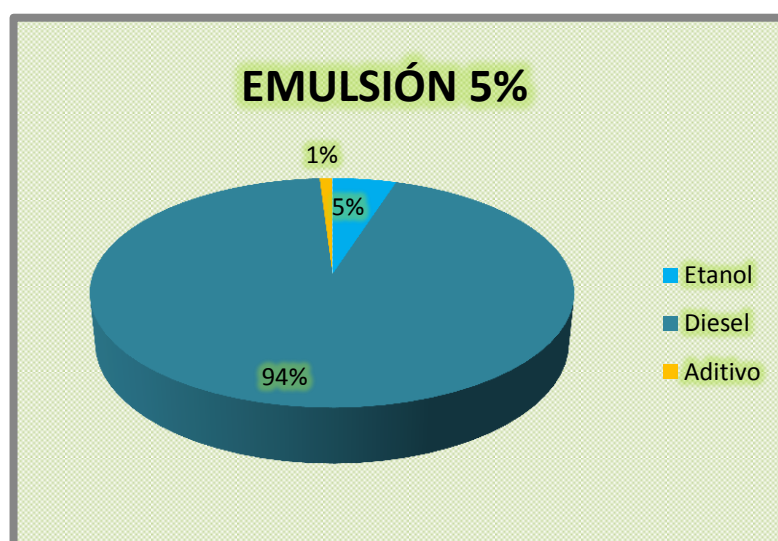


Figura No. 66. Porcentaje emulsión Diésel-Etanol 5%

4.1.3. Emulsión diésel-etanol 7.5%

En la formulación del 7.5% de etanol, es necesario 1.2% de aditivo para obtener buenos resultados de estabilidad, a temperatura ambiente (20 °C) y pruebas de laboratorio (45 °C) sin existir separación de fases.

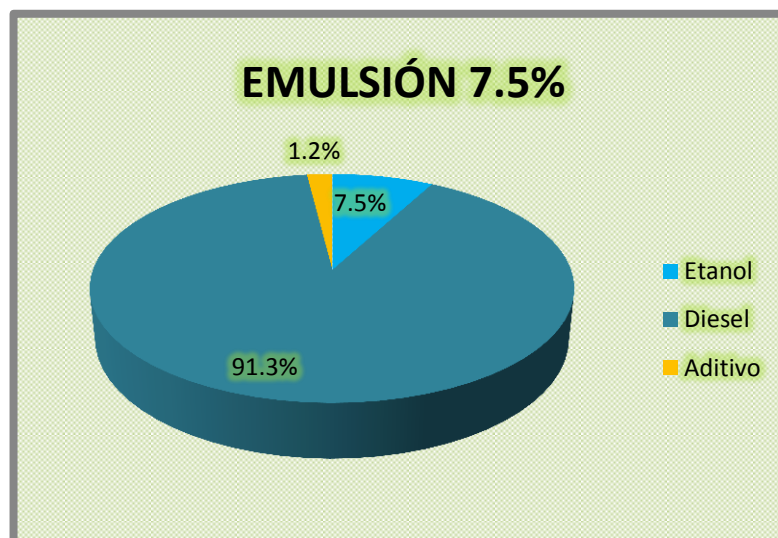


Figura No. 67. Porcentaje emulsión Diésel-Etanol 7.5%

4.1.4. Emulsión diésel-etanol 10%

Para la formulación de la emulsión 10% de etanol, es necesario 2% de aditivo para mantener estable la emulsión, a temperatura ambiente (20 °C) y pruebas de laboratorio (45 °C) y se observó que no existe la separación de fases.

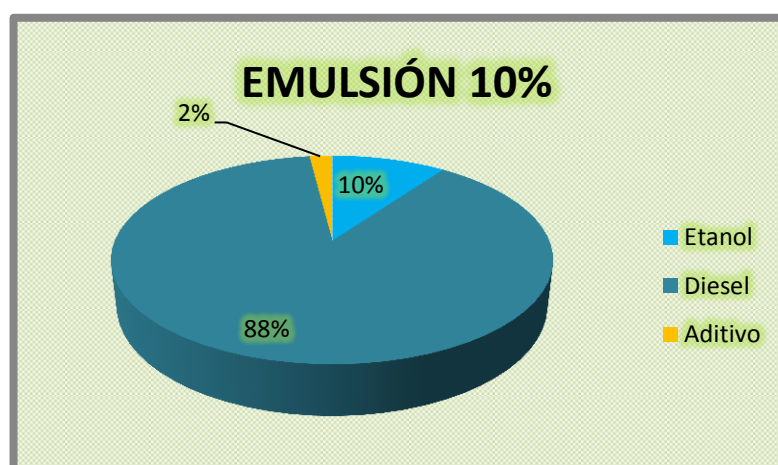


Figura No. 68. Porcentaje emulsión Diésel-Etanol 10%

4.1.5. Emulsión diésel-etanol 12.5%

En la formulación del 12.5% de etanol, es necesario 2.5% de aditivo para la estabilidad, a temperatura ambiente (20 °C) y pruebas de laboratorio (45 °C) sin existir separación de fases en la emulsión.

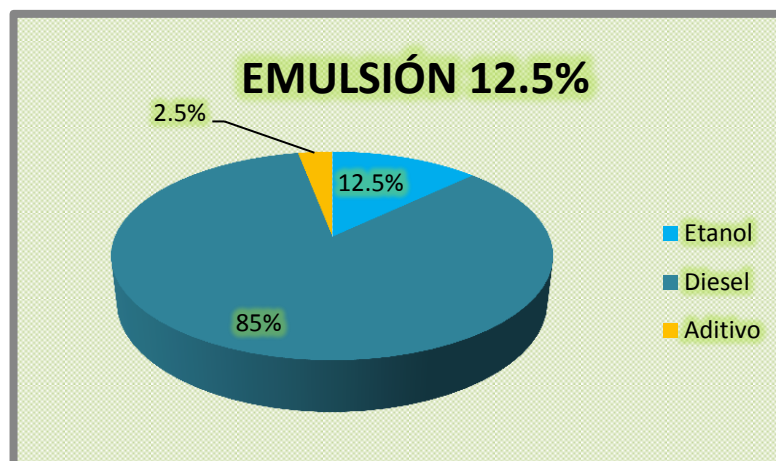


Figura No. 69. Porcentaje emulsión Diésel-Etanol 12.5%

4.1.6. Emulsión diésel-etanol 15%

La formulación de la emulsión 15% de etanol, es necesario 3% de aditivo para la estabilidad, a temperatura ambiente (20 °C) y pruebas de laboratorio (45 °C) sin existir separación de fases.

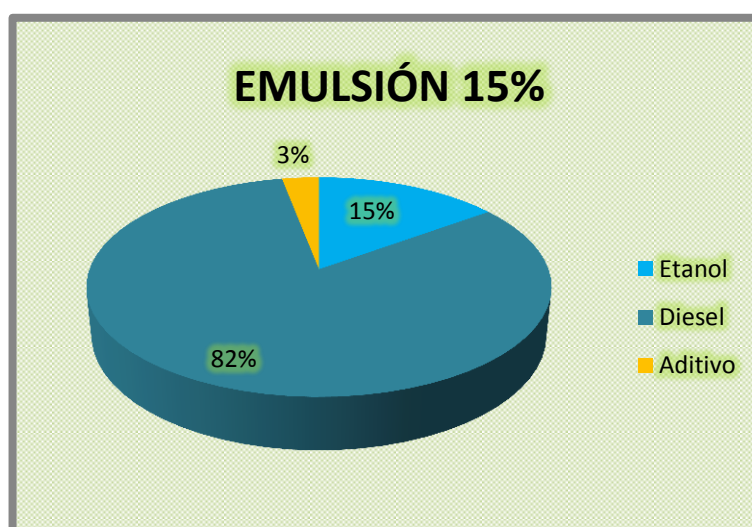


Figura No. 70. Porcentaje emulsión Diésel-Etanol 15%

4.2. Análisis de la apariencia física de las emulsiones

Se presenta la apariencia física de las emulsiones a diferentes concentraciones de etanol, con una coloración amarillenta translúcida al momento de realizar las emulsiones, se lo envaso en galones de 3.85Lt y tapándolos correctamente para evitar el contacto con el ambiente como se observa en la figura 71.



Figura No. 71. Apariencia física a diferente volumen

Se observó cambios de coloración en cada una de las emulsiones después de realizar las pruebas en el motor PETTERS AA-1, más notorio fue en la emulsión 15% de etanol, esto fue afectado por la humedad existente en el laboratorio de motores de combustión interna.



Figura No. 72. Apariencia 15% etanol

Tabla No. 18.
Características emulsiones diésel-etanol

Muestra	Tiempo de observación (Semanas)	Estabilidad a 45°C (Cualitativo)	Tamaño de partícula (nm)	Aspecto Cualitativo
Diésel-Etanol 2%	5	Estable	7.8	Translucido
Diésel-Etanol 5%	5	Estable	10.8	Translucido
Diésel-Etanol 7.5%	5	Estable	12.9	Translucido-amarillento
Diésel-Etanol 10%	5	Estable	15.6	Translucido
Diésel-Etanol 12.5%	5	Estable	20.8	Translucido-amarillento
Diésel-Etanol 15%	5	Estable	25.2	Translucido-amarillento

La estabilidad de las emulsiones, permite identificar el aspecto físico de cada una de las emulsiones, manteniéndose estables después de las pruebas en una estufa a 45 °C, observando así su cambio de coloración a transparente, con respecto al tamaño de partícula a medida que aumenta el porcentaje de etanol, el tamaño aumenta, pero manteniéndose en un rango adecuado para determinar que son de micro emulsiones, un aspecto negativo que se observó en las emulsiones es la evaporación a temperaturas igual o mayores a 50 °C.

4.3. Densidad

En el laboratorio de Coloideoquímica de la Universidad Central del Ecuador se realizaron los experimentos para obtener los datos y mediante cálculos conocer la densidad, a continuación, se presentan los resultados:

4.3.1. Cálculos de la densidad

Cálculos de la densidad para la emulsión diésel-etanol 5%

Datos:

- d_{20} = densidad relativa a 20 °C

$$m_1 = (21.474 - 11.501)g = 9.973 \text{ g}$$

$$m_2 = 11.501 \text{ g}$$

$$m_3 = 19.905 \text{ g}$$

Cálculo de densidad relativa de la muestra a temperatura determinada:

$$d_{20^\circ\text{C}} = \frac{(19.905 - 11.501)g}{(21.474 - 11.501) \text{ g}}$$

$$d_{20^\circ\text{C}} = \frac{8.404g}{9.973 \text{ g}}$$

$$d_{20^\circ\text{C}} = 0.842$$

Cálculo de la densidad del agua a temperatura determinada:

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}}^{t1} = 0.99989 + 5.3322 \times 10^{-5} \times (20 \text{ C}^\circ) - 7.5899 \times 10^{-6} \times (20 \text{ C}^\circ)^2$$

$$+ 3.6719 \times 10^{-8} \times (20 \text{ C}^\circ)^3$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}}^{t1} = 0.999 \text{ g/cm}^3$$

Cálculo de la densidad absoluta de la muestra a temperatura determinada:

$$\rho^{t1} = 0.842 * 0.999 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho^{t1} = 0.841 \text{ g/cm}^3$$

Tabla No. 19.

Densidad del combustible reformulado

Emulsión	Masa de la emulsión m ₃	Masa de agua (g)	Densidad absoluta	
	(g)		g/cm ³	kg/m ³
Diésel	19.918	9.973	0.843	843
Diésel-Etanol 2%	19.904		0.842	842
Diésel-Etanol 5%	19.905		0.842	842
Diésel-Etanol 7.5%	19.897		0.841	841
Diésel-Etanol 10%	19.884		0.840	840
Diésel-Etanol 12.5%	19.863		0.838	838
Diésel-Etanol 15%	19.844		0.836	836

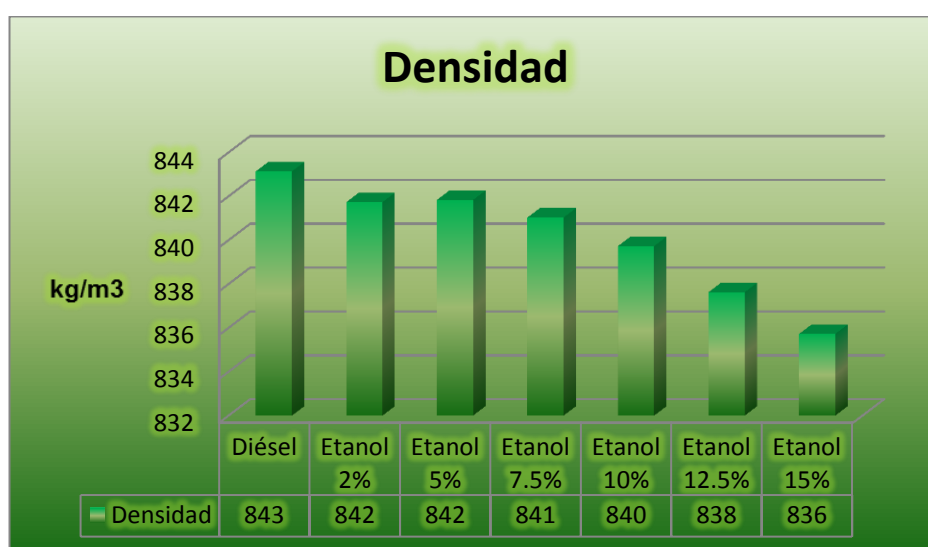


Figura No. 73. Densidad diésel y emulsiones

Se observa como la densidad de las emulsiones tiende a disminuir a medida que se aumenta el porcentaje de etanol, esto se debe a la diferencia de las densidades, 850 kg/m³ la densidad del diésel y la del etanol 789 kg/m³, por tal razón cambia las características de las emulsiones con el porcentaje de etanol y este con respecto al diésel neto.

4.4. Viscosidad

La viscosidad se obtuvo con el viscosímetro Ostwald de los laboratorios de la Universidad Central del Ecuador, basándose en la Norma NTE INEN 2482, a través de ensayos para registrar los datos y cálculos se registraron los siguientes resultados:

Calibrado el viscosímetro se obtuvo:

Tabla No. 20.
Calibración del viscosímetro

Detalle	Valor
Constante del viscosímetro	$5 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}^2$
Temperatura de prueba	40 °C

4.4.1. Cálculos de la viscosidad

Cálculos de la viscosidad para la emulsión Diésel-etanol 5% los datos experimentales:

Tiempo cronometrado en la prueba:

$$t = 71.09 \text{ s}$$

Cálculo de la viscosidad cinemática con la ecuación:

$$V_c = C \times t$$

$$V_c = 5 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}^2 \times 71.09 \text{ s}$$

$$V_c = 3.554 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Tabla No. 21.
Viscosidad del combustible reformulado

<i>VISCOSIDAD</i>				
Emulsión	Tiempo	Constante del viscosímetro	Viscosidad a 40 °C	
	s		m ² /s	mm ² /s
Diésel	73,01	0,000000005	3,6505E-07	3,651
Diésel-Etanol 2%	70,17		3,5085E-07	3,509
Diésel-Etanol 5%	71,09		3,5545E-07	3,555
Diésel-Etanol 7.5%	67,72		3,386E-07	3,386
Diésel-Etanol 10%	59,37		2,9685E-07	2,969
Diésel-Etanol 12.5%	65,04		3,252E-07	3,252
Diésel-Etanol 15%	58,44		2,922E-07	2,922

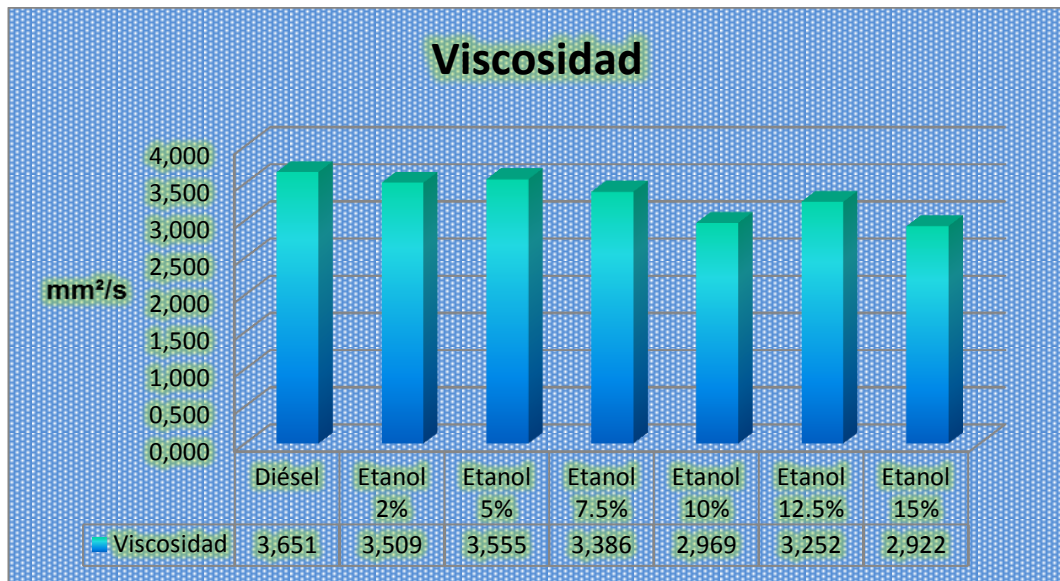


Figura No. 74. Viscosidad diésel y emulsiones

Con respecto a la viscosidad, se observa que sucede lo mismo que la densidad, tiende a bajar a medida que se le añade etanol, pero con una mínima diferencia a la viscosidad del diésel neto, existe variaciones en los porcentajes de 5% y 12.5% de etanol, las mismas que no permiten que se lineal los valores de la viscosidad.

4.5. Poder calorífico

El poder calorífico de las emulsiones se las realizo en un calorímetro del laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para realizar los cálculos respectivos se trabajó con la corrección del calorímetro, obteniendo los siguientes valores de las pruebas realizadas.

Corrección del calorímetro:

$$C = 11551.97 \frac{J}{^{\circ}C}$$

4.5.1. Cálculos respectivos del poder calorífico superior

Para la emulsión de diésel-etanol 5% con los siguientes datos se obtiene:

Masa de combustible:

$$m_f = 0.8 \text{ g}$$

Corrección de alambre fusible:

$$e_1 = 11.3 \frac{\text{J}}{\text{cm}} \times 5 \text{ cm}$$

$$e_1 = 56.5 \text{ J}$$

Elevación de temperatura:

$$T_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_f = 24.07 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 3.07 \text{ }^\circ\text{C}$$

Poder calorífico superior:

$$\text{PCS} = \frac{C \times \Delta T - e_1}{m_f}$$

$$\text{PCS} = \frac{11551.97 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}} \times 3.07^\circ\text{C} - 56.5 \text{ J}}{0.8 \text{ g}}$$

$$\text{PCS} = 44260,06 \frac{\text{J}}{\text{g}}$$

4.5.2. Cálculos respectivos del poder calorífico inferior

Con los valores obtenidos del poder calorífico superior de las emulsiones respectivamente se obtiene mediante cálculos el poder calorífico inferior de

las emulsiones, con el valor de la cantidad de agua generada por los productos de la combustión dentro de la bomba calorimétrica.

Para la emulsión de diésel-etanol 5% con el valor registrado del poder calorífico superior y el calor latente de vaporización del agua:

$$\Delta u_{\text{vap}}^0 = 2305.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

La cantidad de agua que se genera por la combustión de la emulsión diésel-etanol 5% es:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 0.95 \text{ g}$$

$$\text{PCI} = \text{PCS} - \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{m_f} \times \Delta u_{\text{vap}}^0$$

$$\text{PCI}_V = 44260,06 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - \frac{0.95 \text{ g}}{0.8 \text{ g}} \times 2305.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{PCI}_V = 41522.75 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Tabla No. 22.
Poder calorífico del combustible reformulado

Emulsión	Elevación de temperatura (ΔT)	Masa de agua por combustión	Poder calorífico superior (PCS)	Poder calorífico inferior (PCI)	Poder calorífico neto (Q)
	°C				
Diésel	3,14	0,92	45270,86	42619,99	43945
Etanol 2%	3,08	0,94	44404,46	41695,97	43050
Etanol 5%	3,07	0,95	44260,06	41522,75	42891
Etanol 7.5%	2,96	0,89	42671,66	40107,24	41389
Etanol 10%	2,92	0,93	42094,07	39414,39	40754
Etanol 12.5%	3,18	0,94	45848,46	43139,96	44494
Etanol 15%	3,18	0,97	45848,46	43053,52	44451



Figura No. 75. Poder calorífico diésel y emulsiones

Los valores obtenidos del poder calorífico permite corroborar que al agregar etanol al diésel, este disminuye, así lo asegura (Castillo P., 2009), se observa que tiende a disminuir hasta la emulsión del 10% de etanol, para las emulsiones que contiene 12.5% y 15% de etanol aumenta el poder calorífico, con una diferencia de 1.2% con respecto al diésel neto.

4.6. Parámetros del motor de combustión interna diésel

Para obtener datos de los parámetros del motor PETTER AA-1 se utilizó equipos de medición, software del banco de pruebas y fórmulas para realizar los cálculos respectivos que se presentaron en el capítulo II

4.6.1. Datos registrados en las pruebas con las emulsiones

Las pruebas de funcionamiento con las respectivas emulsiones se las realizó en el laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en el banco de pruebas PLINT TE-46, que cuenta con un motor PETERS AA-1 mono cilíndrico de inyección directa, refrigerado por aire, los valores registrados en las pruebas con cada una de las emulsiones se realizó a velocidad variable y aceleración constante, en

arranque en frío con un rango entre 3100 y 2300 rpm de su velocidad, variando su velocidad en lapsos de 200 rpm, obteniendo los siguientes resultados:

4.6.2. Contador de vueltas

Tabla No. 23.
Contador de vueltas registrado en las pruebas

RPM	NUMERO DE VUELTAS (#)						
	Diésel	Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	2361	2456	2649	2379	2369	2445	2787
2900	2363	2495	2520	2401	2409	2473	2718
2700	2340	2572	2590	2492	2406	2530	2725
2500	2363	3232	2563	2495	2422	2568	2788
2300	2309	3101	2475	2675	2460	2743	2831

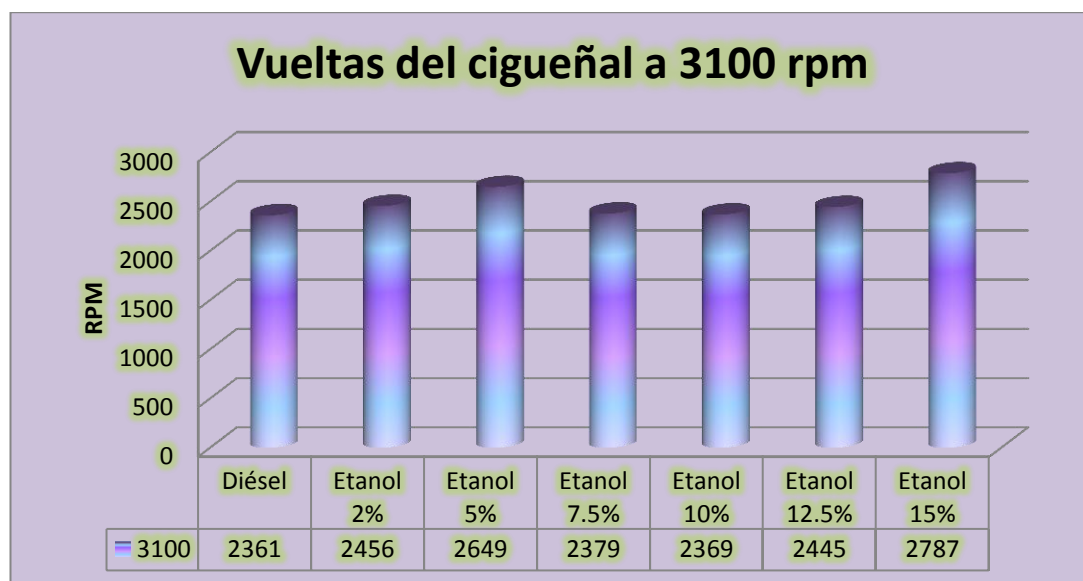


Figura No. 76. Vueltas del cigüeñal a 3100 rpm de las emulsiones

El contador de vueltas registra los valores más altos con las emulsiones del 5% y 15%, a diferencia del diésel neto que tiene un valor de 2519 vueltas a 3100 rpm, y el menor valor se presenta para la emulsión 10% como se observa en la figura 76.

4.6.3. Tiempo de consumo de 25cc de las emulsiones

Tabla No. 24.

Tiempo de consumo registrado en las pruebas

TIEMPO (t)							
RPM	Diésel	Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	45.8	47.4	51.1	46	45.8	47.4	53.1
2900	48.9	51.6	52	49.5	49.8	51	56.1
2700	52	57.1	57.6	55.4	53.3	56.3	59.9
2500	56.7	77.9	61.5	59.8	58.2	61.6	66.8
2300	60.2	80.1	64.2	69.7	64.1	73.1	73.9

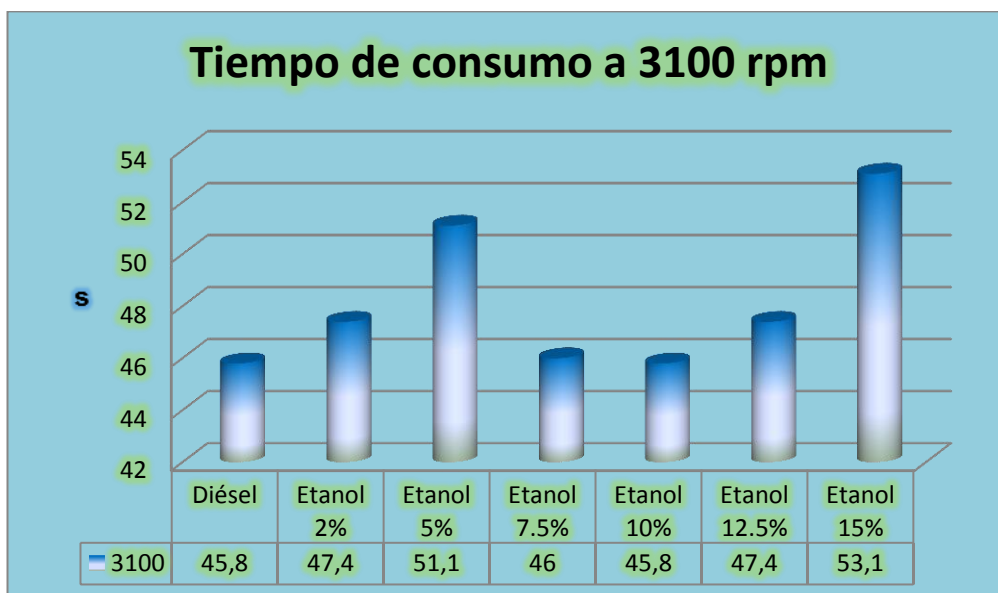


Figura No. 77. Tiempo de consumo a 3100 rpm de las emulsiones

Los tiempos registrados en consumir el motor 25 cc de las emulsiones a 3100 rpm, se observa que la emulsión del 15%, registra el valor más alto de 53.1 segundos y la emulsión del 10% presenta un valor mínimo de 45.8 segundos, así como el diésel neto tiene el mismo tiempo registrado.

4.6.4. Temperatura de los gases de escape

Tabla No. 25.
Temperatura de los gases de escape registrado

<i>TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE (°C)</i>							
RPM	Diésel	E - 2%	E - 5%	E - 7.5%	E - 10%	E - 12.5%	E - 15%
3100	96	59	84	96	42	52	31
2900	99	74	86	99	61	69	60
2700	103	87	90	103	76	84	77
2500	105	97	100	105	86	88	88
2300	107	97	102	107	95	95	97

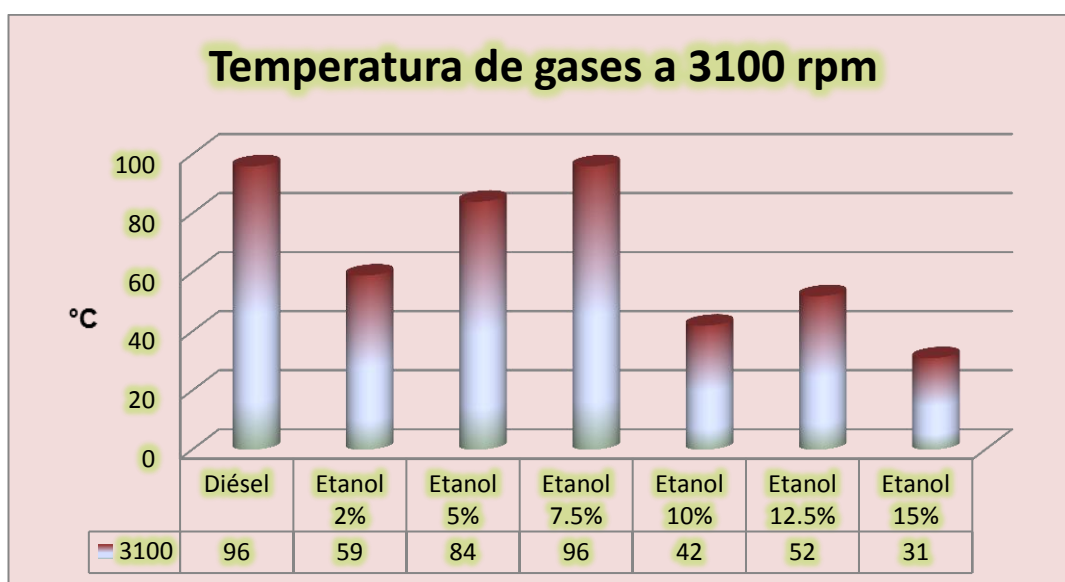


Figura No. 78. Temperatura de los gases de escape a 3100 rpm

Se observa en la figura 78 los valores de la temperatura de los gases de escape del motor a 3100 rpm, obteniendo la temperatura máxima en el diésel y la emulsión 7.5%, la temperatura mínima es de 31°C correspondiente a la emulsión del 15% de etanol.

4.6.5. Fuerza

Tabla No. 26.
Fuerza registrada en las pruebas

<i>FUERZA (N)</i>							
RPM	Diésel	Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	27	26	27	26	27	25	25,6
2900	25	23	25	24	25	26	23
2700	27	27	26	23	23	27	33
2500	28	24	25	24	23	24	24
2300	26,6	23	26	25	26,6	24	22

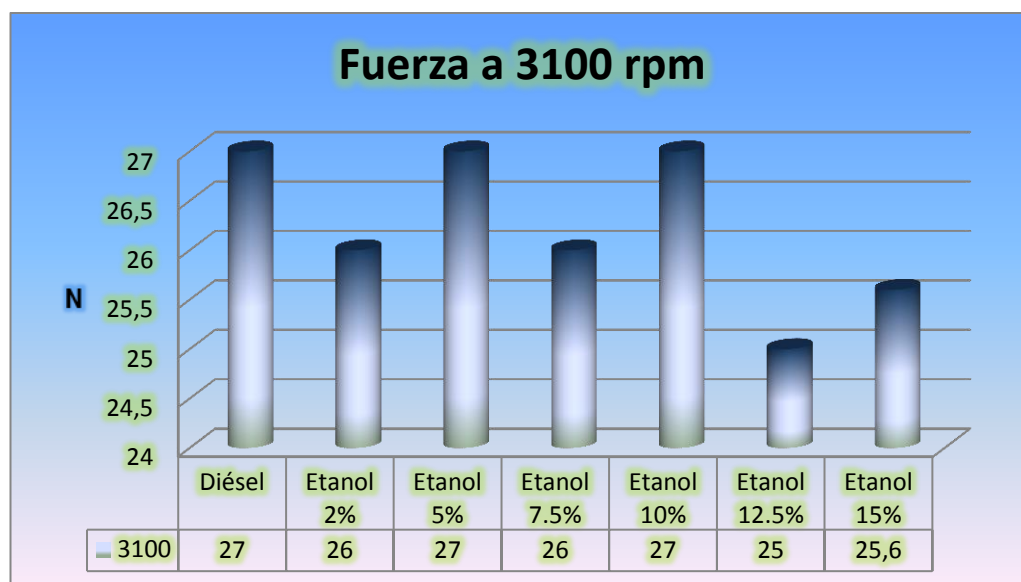


Figura No. 79. Fuerza del motor a 3100 rpm

La fuerza generada por el motor PETTER AA1 a 3100 rpm con las respectivas emulsiones, presentan una fuerza igual con el diésel neto las emulsiones del 5% y 10%, mientras que las concentraciones de 2%, 7.5%, 12.5% y 15% tiende a disminuir notoriamente.

4.6.6. Consumo másico de aire

Tabla No. 27.

Consumo másico de aire registrado en las pruebas

RPM	CONSUMO MASICO DE AIRE m^3 (Kg/s)						
	Diésel	Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	26	30	28	30	31	30	32
2900	23	26	24	26	27	26	27
2700	20	22	21	23	23	23	23
2500	17	18	19	18	19	18	19
2300	14	17	16	15	15	15	15

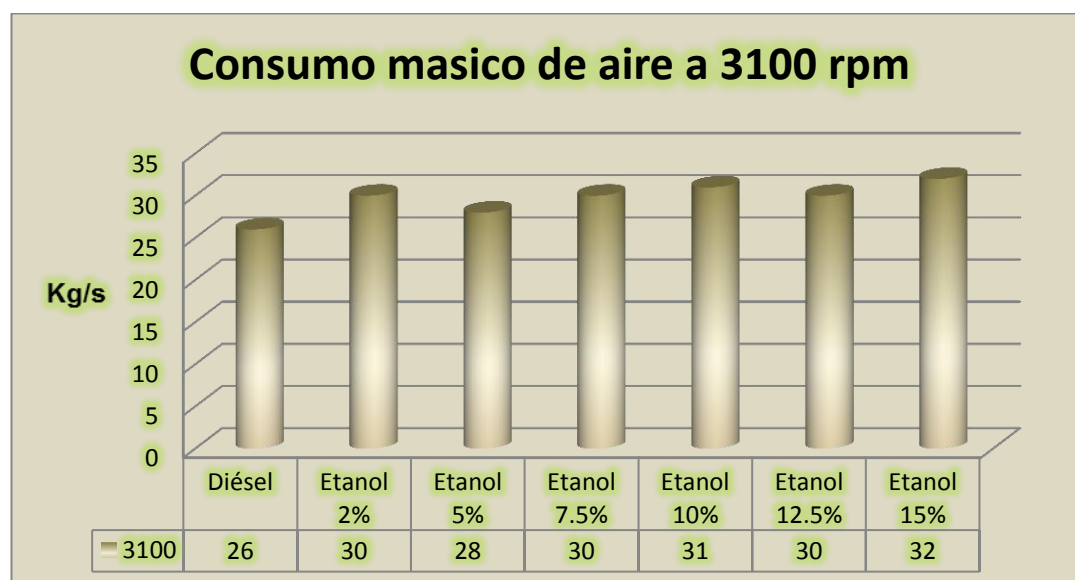


Figura No. 80. Consumo másico de aire a 3100 rpm

Se observa en la figura 80 que el consumo másico va aumentando a medida que aumenta el porcentaje de etanol, obteniendo el valor máximo la emulsión 15% de etanol y el valor mínimo para el diésel neto.

4.6.7. Velocidad real calculada

Para obtener la velocidad exacta del motor a diferentes revoluciones, se emplea la siguiente ecuación:

$$\bar{N} = \frac{\# \text{ vueltas}}{t} \cdot 60$$

Dónde:

- #= Vueltas del cigüeñal
- t= Tiempo (s)
- \bar{N} = Velocidad real (rpm)

Ejemplo de cálculos para la emulsión 15% a 3100 rpm.

$$\bar{N} = \frac{2787}{53.1} \cdot 60$$

$$\bar{N} = 3149 \text{ rpm}$$

Los valores obtenidos de la velocidad real para cada emulsión, son similares a los valores teóricos, en la tabla se presentan la velocidad real calculada.

Tabla No. 28.
Velocidad real de las emulsiones

RPM	Diésel	VELOCIDAD REAL \bar{N}					
		Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	3093	3109	3110	3103	3103	3095	3149
2900	2899	2901	2908	2910	2902	2909	2907
2700	2700	2703	2698	2699	2708	2696	2730
2500	2501	2489	2500	2503	2497	2501	2504
2300	2301	2323	2313	2303	2303	2251	2299

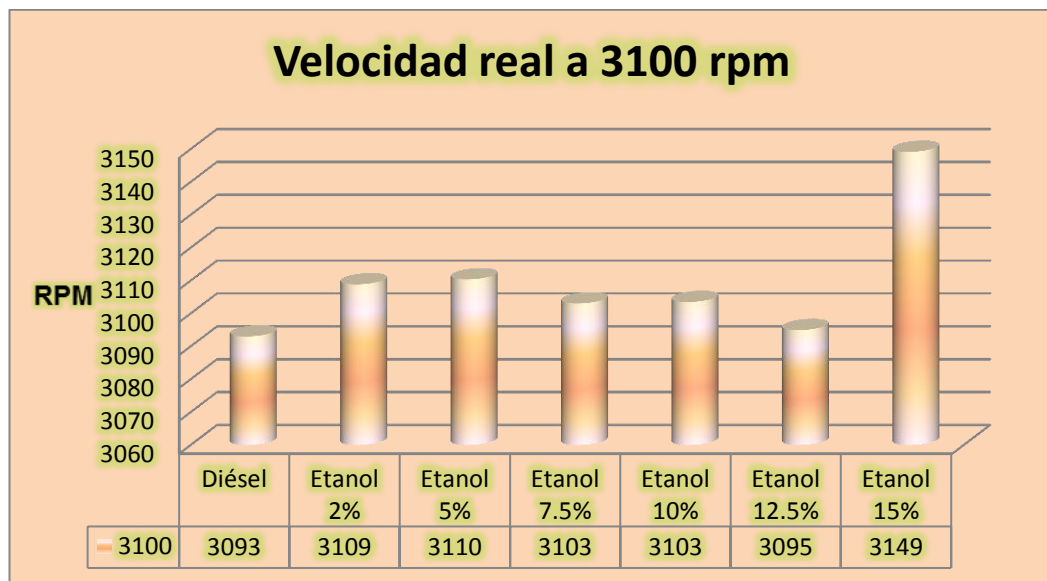


Figura No. 81. Velocidad real del motor a 3100 rpm

Los datos obtenidos a través de cálculos, determinan que existe una mínima diferencia entre el valor teórico y su valor real, observando en la figura el valor real máximo es de 3149, correspondiente a la emulsión 15%.

4.6.8. Velocidad angular

Para obtener la velocidad angular del motor a diferentes revoluciones, se emplea la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{2\pi\bar{N}}{60}$$

Dónde:

- ω = Velocidad angular (rad/s)
- \bar{N} = Velocidad real (rpm)

Ejemplo de cálculos para la emulsión 15% a 3100 rpm.

$$\bar{N} = \frac{2\pi * 3149}{60}$$

$$\bar{N} = 330 \text{ rpm}$$

Tabla No. 29.
Velocidad angular calculada

RPM	VELOCIDAD ANGULAR ω (rad/s)						
	Diésel	Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	324	326	326	325	325	324	330
2900	304	304	304	305	304	305	304
2700	283	283	283	283	284	282	286
2500	262	261	262	262	261	262	262
2300	241	243	242	241	241	236	241

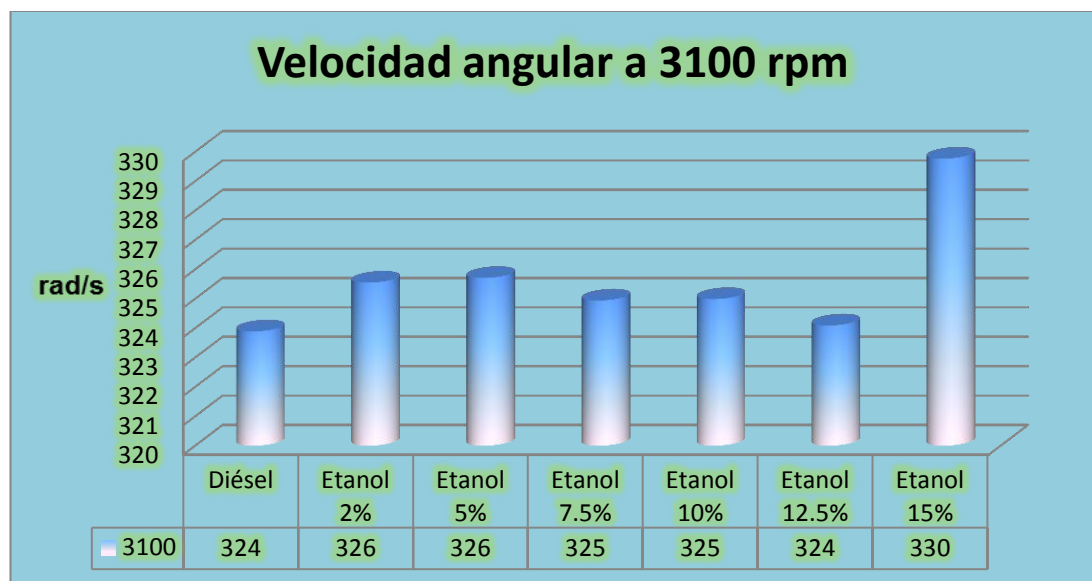


Figura No. 82. Velocidad angular a 3100 rpm

Con respecto a la velocidad angular se observa que la emulsión 12.5% de etanol presenta el mismo valor que el diésel neto, y para el valor máximo le corresponde a la emulsión 15% de etanol con 330 rad/s.

4.7. Cálculos de los parámetros mecánicos y térmicos

4.7.1. Torque

Para el cálculo del torque con la emulsión del 15% de etanol, aceleración constante al 100% y la velocidad variable entre 200 rpm. El brazo de palanca del dinamómetro del banco de pruebas PLINT TE-46 es de 265mm, obteniendo los siguientes valores que se presentan en la tabla 30.

Se realiza los siguientes cálculos:

$$\tau = F \times Bp$$

$$\tau = 33 \text{ N} \times 0.265 \text{ m}$$

$$\tau = 8.75 \text{ Nm}$$

Tabla No. 30.
Torque calculado

<i>TORQUE τ (Nm)</i>							
RPM	Diésel	Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	7,16	6,89	7,16	6,89	7,16	6,63	6,78
2900	6,63	6,10	6,63	6,36	6,63	6,89	6,10
2700	7,16	7,16	6,89	6,10	6,10	7,16	8,75
2500	7,42	6,36	6,63	6,36	6,10	6,36	6,36
2300	7,05	6,10	6,89	6,63	7,05	6,36	5,83

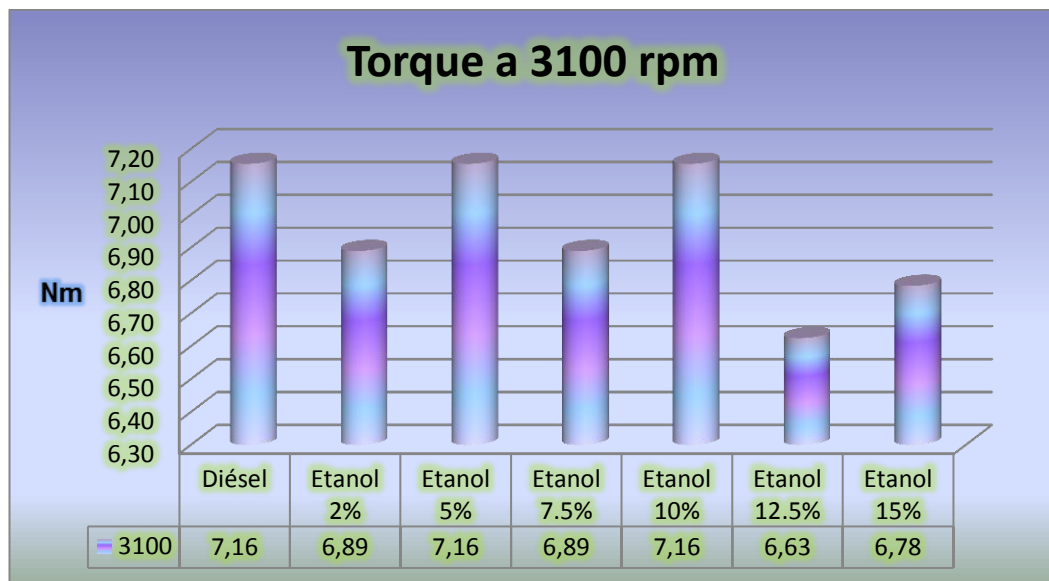


Figura No. 83. Torque de las emulsiones a 3100 rpm

El torque registrado en la figura 81, se observa que las emulsiones de 5% y 10% de etanol es similar al diésel neto, y un torque mínimo registra la emulsión de 12.5%, los valores tienen una diferencia mínima con respecto al máximo y mínimo.

4.7.2. Potencia al freno

Una vez obtenido el valor del torque generado por el motor a diferentes revoluciones se procede a calcular la potencia al freno con la ecuación respectiva, obteniendo así los siguientes resultados:

$$P_f = \tau * \omega$$

$$\omega = 2\pi n$$

$$P_f = 8.75 * 286 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_f = 2502.5 \text{ W} * \frac{1\text{KW}}{1000\text{W}}$$

$$P_f = 2.50 \text{ KW}$$

Tabla No. 31.
Potencia calculada de las emulsiones

RPM	POTENCIA AL FRENO P_f (KW)						
	Diésel	Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	2,32	2,24	2,33	2,24	2,33	2,15	2,24
2900	2,01	1,85	2,02	1,94	2,01	2,10	1,86
2700	2,02	2,02	1,95	1,72	1,73	2,02	2,50
2500	1,94	1,66	1,73	1,67	1,59	1,67	1,67
2300	1,70	1,48	1,67	1,60	1,70	1,50	1,40

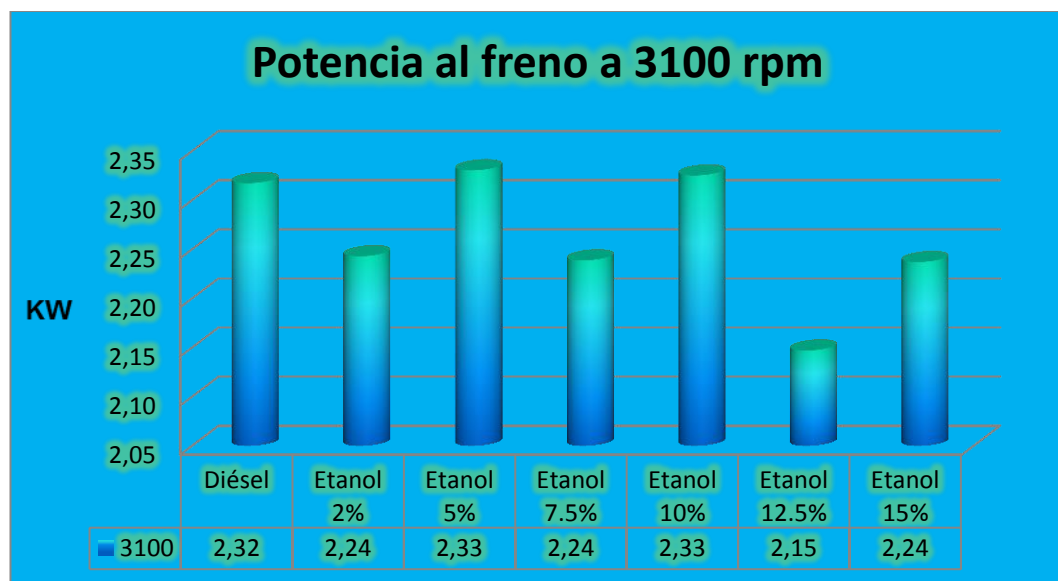


Figura No. 84. Potencia a 3100 rpm de prueba

La potencia a 3100 rpm demuestra que las emulsiones de 5% y 10%, les corresponde los valores máximos de potencia y la emulsión de 12.5% así como el diésel les corresponde los valores mínimos, la diferencia entre el máximo y mínimo es de 0.17 equivalente al 9% de diferencia del diésel neto.

4.7.3. Caudal de combustible

El banco de pruebas PLINT TE-46 cuenta con una probeta graduada, en la cual se registró el tiempo que el motor consume 25 cm³ de las emulsiones.

Para el cálculo del caudal de combustible se tomó como ejemplo los datos de la emulsión 15% de etanol a 3100 rpm, empleando la ecuación respectiva:

$$\dot{V}_C = \frac{V}{t}$$

Donde:

- \dot{V}_C = caudal de combustible
- V = volumen de muestra
- t = tiempo registrado

$$\dot{V}_C = \frac{25 \text{ cm}^3}{53.1 \text{ s}}$$

$$\dot{V}_C = 0.471 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Tabla No. 32.
Caudal de combustible calculado

CAUDAL DE COMBUSTIBLE \dot{V}_c (cm ³ /s)							
RPM	Diésel	Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	0,55	0,53	0,49	0,54	0,55	0,53	0,47
2900	0,51	0,48	0,48	0,51	0,50	0,49	0,45
2700	0,48	0,44	0,43	0,45	0,47	0,44	0,42
2500	0,44	0,32	0,41	0,42	0,43	0,41	0,37
2300	0,42	0,31	0,39	0,36	0,39	0,34	0,34

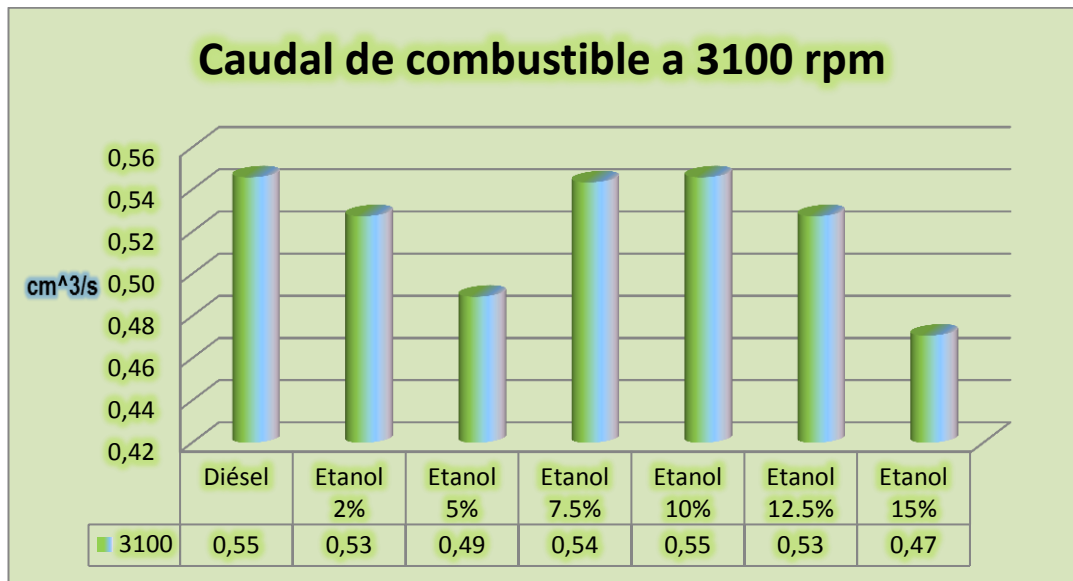


Figura No. 85. Caudal de combustible a 3100 rpm

La figura 84 representa el consumo de combustible que el motor utilizó a 3100 rpm, observando que la emulsión del 10% de etanol representa el valor máximo 0.546 cm³/s y la emulsión 15% representa el valor mínimo 0.471 cm³/s, en comparación con el diésel neto, cuatro de las seis emulsiones sobrepasan el nivel de consumo del diésel.

4.7.4. Consumo másico de combustible

Para el cálculo respectivo de consumo másico de combustible se tomó como ejemplo los datos de la emulsión 15% a 3100 rpm, con los datos de la densidad que se encuentran en la tabla 19 y empleando la ecuación

$$\dot{m}_C = \dot{V}_C * \rho$$

Donde:

- \dot{V}_C = consumo volumétrico
- ρ = densidad

$$\dot{m}_C = 0.471 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}} \times 0.836 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\dot{m}_C = 0.394 \text{ g/h}$$

Tabla No. 33.
Consumo másico calculado

CONSUMO MASICO DE COMBUSTIBLE \dot{m}_c (g/h)							
RPM	Diésel	Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	0,46	0,44	0,41	0,46	0,46	0,44	0,39
2900	0,43	0,41	0,40	0,42	0,42	0,41	0,37
2700	0,41	0,37	0,37	0,38	0,39	0,37	0,35
2500	0,37	0,27	0,34	0,35	0,36	0,34	0,31
2300	0,35	0,26	0,33	0,30	0,33	0,29	0,28

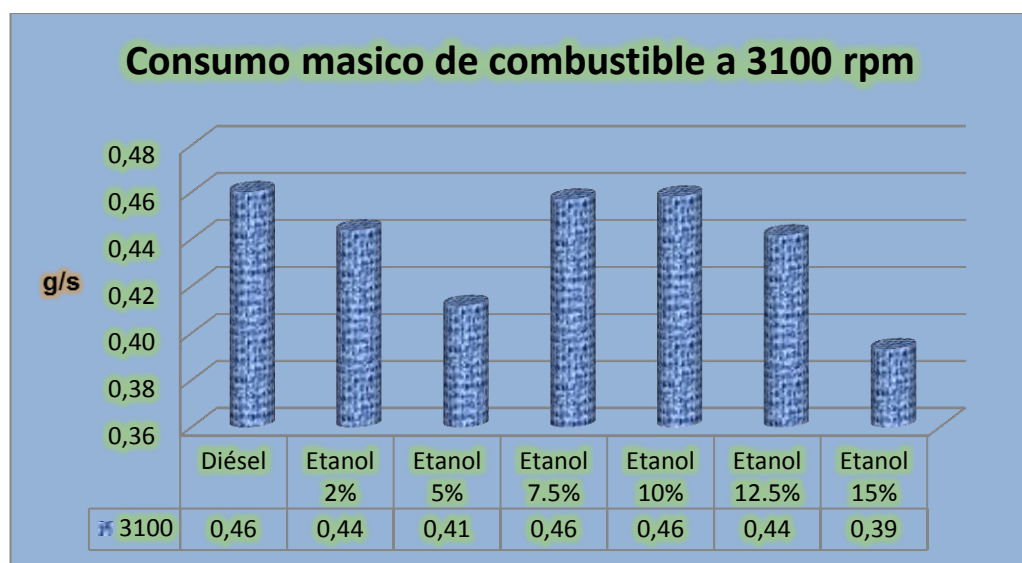


Figura No. 86. Consumo másico de combustible a 3100 rpm

Con respecto al consumo másico de combustible a 3100 rpm, presenta similares características que el consumo volumétrico de combustible, la emulsión del 10% representa el máximo valor, al igual que el 15% representa el mínimo valor.

4.7.5. Consumo volumétrico de aire teórico

Tabla No. 34.
Volumen de aire teórico calculado

CONSUMO VOLUMETRICO DE AIRE V'_D (m^3/min)							
RPM	Diésel	Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	0,0086	0,0087	0,0087	0,0087	0,0087	0,0086	0,0088
2900	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081
2700	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0076	0,0075	0,0076
2500	0,0070	0,0069	0,0070	0,0070	0,0070	0,0070	0,0070
2300	0,0064	0,0065	0,0065	0,0064	0,0064	0,0063	0,0064

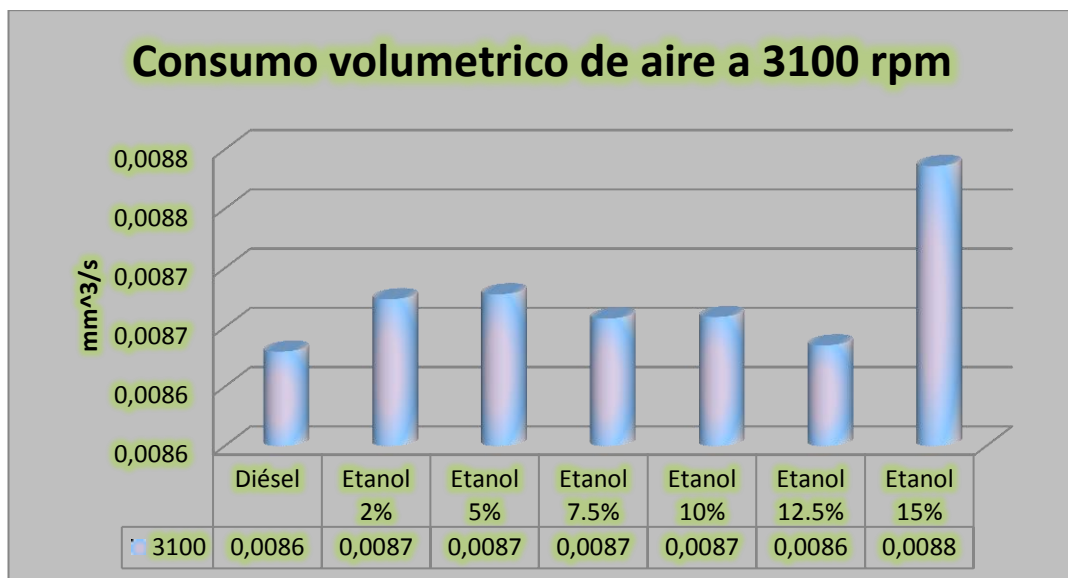


Figura No. 87. Consumo volumétrico de aire teórico a 3100 rpm

Los valores obtenidos del consumo volumétrico se observa que la emulsión 15% de etanol representa el valor máximo de 0.0230 mm^3/s y el valor mínimo les corresponde a la emulsión 12.5% de etanol y similar para el diésel neto.

4.7.6. Consumo específico de combustible

Para el cálculo respectivo del consumo específico de combustible se tomó como ejemplo los datos de la emulsión 15% a 3100 rpm, con los datos de la potencia que se encuentran en la tabla 36 y empleando la ecuación:

Se realiza el siguiente cálculo:

$$CEC = \frac{\dot{m}_c}{P_f}$$

$$CEC = \frac{0.394 \text{ g/s}}{2.24 \text{ kW}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$CEC = 0.18 \frac{\text{g}}{\text{kW} - \text{h}}$$

Tabla No. 35.
Consumo específico calculado

<i>CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE CEC (g/kW-h)</i>							
RPM	Diésel	Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	0,20	0,20	0,18	0,20	0,20	0,21	0,18
2900	0,21	0,22	0,20	0,22	0,21	0,20	0,20
2700	0,20	0,18	0,19	0,22	0,23	0,18	0,14
2500	0,19	0,16	0,20	0,21	0,23	0,20	0,19
2300	0,21	0,18	0,20	0,19	0,19	0,19	0,20

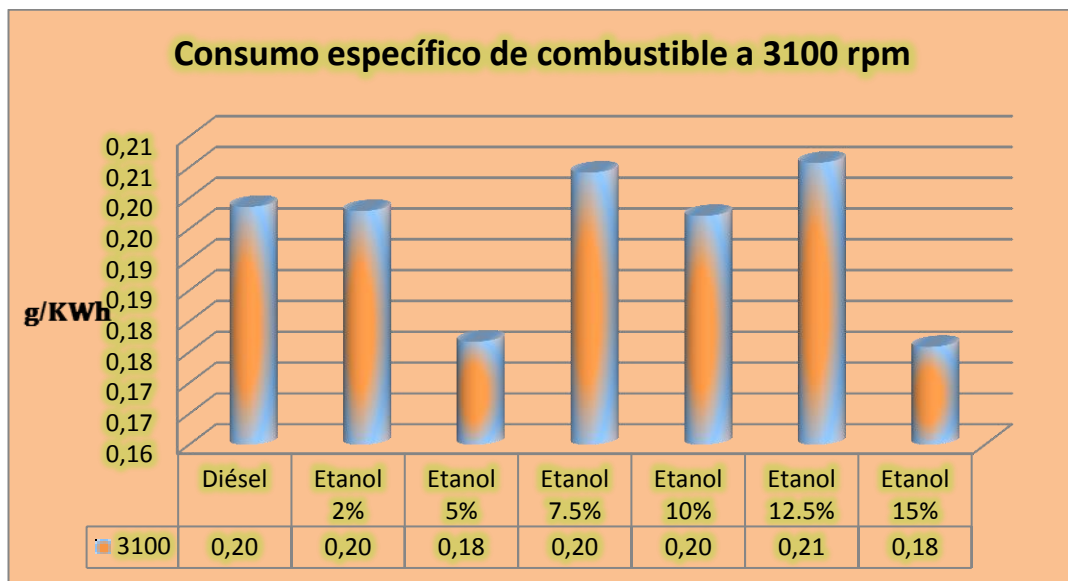


Figura No. 88. Consumo específico de combustible a 3100 rpm

Los valores obtenidos en la figura 88 determinan un aumento con la emulsión 12.5% de etanol de 923 g/kW-h y una disminución con la emulsión 5% de etanol que tiene 782,9 g/kW-h, a diferencia del diésel neto que tiene un valor de 902.1 g/kW-h.

4.7.7. Presión media efectiva

Para realizar el cálculo respectivo de la presión media efectiva se tomó como ejemplo los datos de la emulsión 15% de etanol a 3100 rpm, con los datos de la potencia que se encuentran en la tabla 36, el número de ciclos del cigüeñal y la cilindrada total del motor PETER AA-1 se procede a realizar los siguientes cálculos:

Cálculo de la sección del pistón empleando la ecuación 1:

$$A_p = \frac{\pi \times \theta^2}{4}$$

$$A_p = \frac{\pi \times (7\text{cm})^2}{4}$$

$$A_p = 38.48 \text{ cm}^2$$

Cálculo de la cilindrada total empleando la ecuación

$$V_T = A_p \times S \times i$$

$$V_T = 38.48\text{cm}^2 \times 5.7\text{cm} \times 1$$

$$V_T = 219.34 \text{ cm}^3$$

Cálculo de la presión media efectiva empleando la ecuación:

- RPM= 3100/60
- RPS= 51.6

$$p_{me} = \frac{P_f}{\frac{1}{2} \times RPS \times V_T \times \frac{1\text{m}^3}{1000000\text{cm}^3}}$$

$$p_{me} = \frac{2.24 \text{ kW}}{\frac{1}{2} \times 51.6 \frac{\text{rev}}{\text{s}} \times 219.34\text{cm}^3 \times \frac{1\text{m}^3}{1000000\text{cm}^3}}$$

$$p_{me} = \frac{1.80 \text{ kW}}{5.658 \times 10^{(-3)} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$p_{me} = 318.13 \text{ kPa}$$

$$p_{me} = 0.401 \text{ MPa}$$

Tabla No. 36.
Presión media efectiva calculada

<i>PRESIÓN MEDIA EFECTIVA PME (MPa)</i>							
RPM	Diésel	Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	0,41	0,40	0,41	0,40	0,41	0,38	0,40
2900	0,36	0,33	0,36	0,34	0,36	0,37	0,33
2700	0,36	0,36	0,34	0,30	0,31	0,36	0,44
2500	0,34	0,29	0,31	0,29	0,28	0,29	0,29
2300	0,30	0,26	0,29	0,28	0,30	0,27	0,25

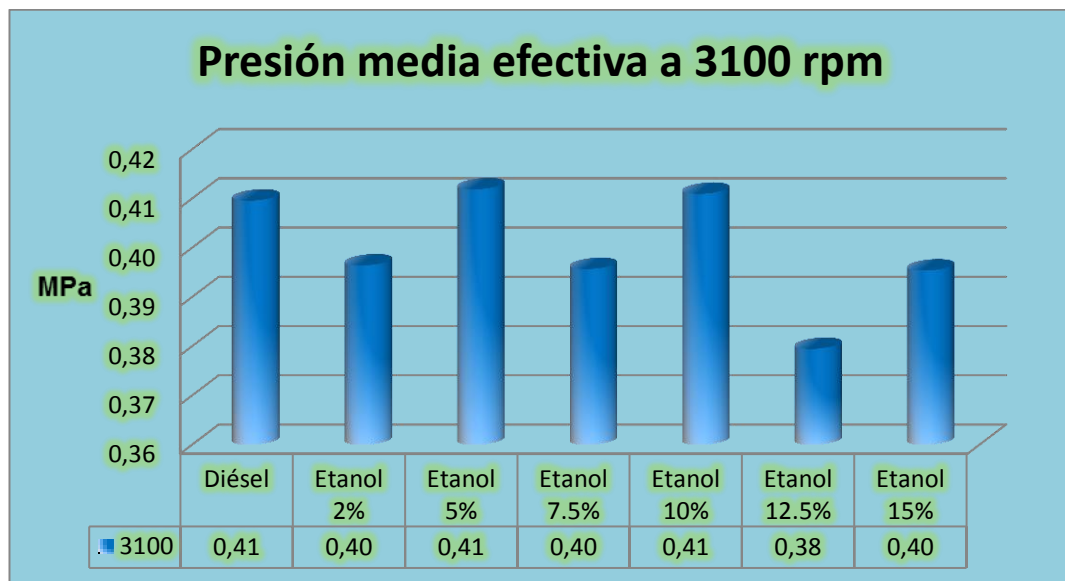


Figura No. 89. Presión media efectiva de las emulsiones a 3100 rpm

La relación que existe con la potencia, influye en el aumento de la presión media efectiva, en comparación con el diésel neto todas las emulsiones superan el valor de la PME del diésel neto, excepto la emulsión del 12.5% que presenta el mismo valor al diésel, observando el valor máximo de 0.334 MPa y el mínimo de 303 MPa con una diferencia de 0.031 equivalente a una diferencia del 10%.

4.7.8. Eficiencia térmica

Para realizar el cálculo respectivo de la eficiencia térmica se tomó como ejemplo los datos de la emulsión 15% de etanol a 3100 rpm, con los datos del consumo específico de combustible que se encuentran en la tabla 35.

Cálculo de la eficiencia térmica generada con el uso de la emulsión 15% de etanol:

$$n_T = \frac{1}{CEC \times Q_{Neto}}$$

$$n_T = \frac{1}{\left(\frac{0.18 \frac{\text{g}}{\text{kwh}}}{3600}\right) \times 44451 \text{ J/g}}$$

$$n_T = 0.464 \times 100\%$$

$$n_T = 46 \%$$

Tabla No. 37.
Eficiencia térmica calculada

<i>EFICIENCIA TÉRMICA n_T</i>							
RPM	Diésel	Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	41	42	47	43	45	39	46
2900	38	38	42	40	42	41	40
2700	41	46	45	39	39	44	58
2500	43	51	43	41	39	40	43
2300	40	47	43	46	46	42	40

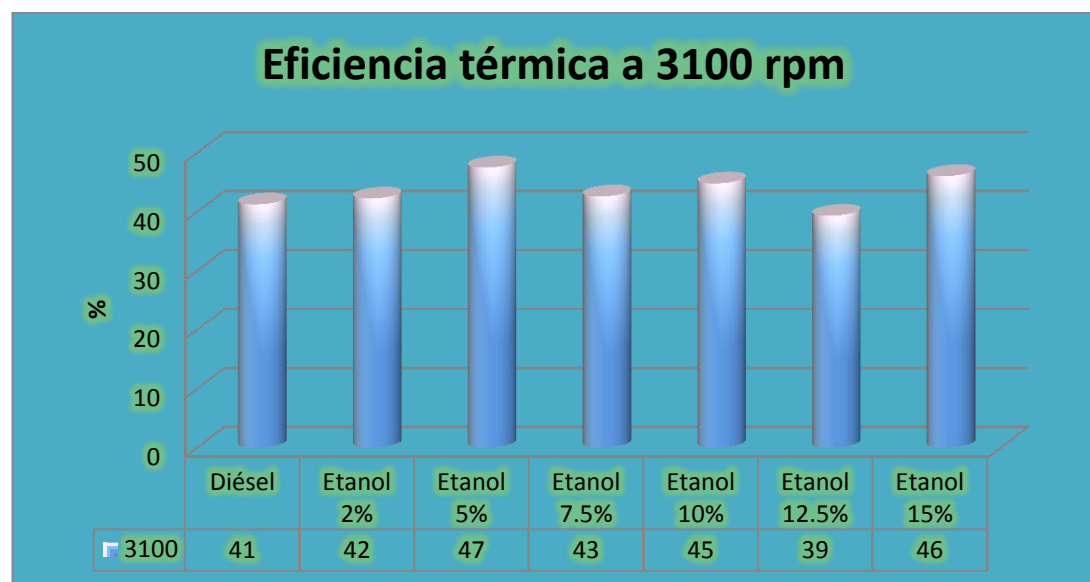


Figura No. 90. Eficiencia térmica de las emulsiones a 3100 rpm

La figura 90 demuestra los valores obtenidos de la eficiencia térmica del motor PETTER AA-1 a 3100 rpm, el valor máximo de 47% corresponde a la emulsión de 5% de etanol y los valores mínimos corresponden al diésel neto y la emulsión 12.5%.

4.7.9. Eficiencia volumétrica

Para realizar el cálculo respectivo de la eficiencia volumétrica se tomó como ejemplo los datos de la emulsión 15% de etanol a 3100 rpm, con los datos del consumo másico de aire, el consumo volumétrico y la densidad de aire de la ciudad de Quito, para la investigación.

Cálculo de la eficiencia volumétrica generada con el uso de la emulsión 15% de etanol:

$$n_V = \frac{\dot{m}_a}{VD * \rho_a}$$

Donde:

- n_V = eficiencia volumétrica
- ρ_a = densidad del aire ciudad de Quito 0.876 kg/m³
- VD = consumo volumétrico de aire
- \dot{m}_a = consumo másico de aire

$$n_V = \frac{\frac{32kg}{1h} * \frac{1h}{60min}}{\frac{0.0088m^3}{min} * \frac{0.867kg}{m^3}}$$

$$n_V = 70.01 \%$$

Tabla No. 38.
Eficiencia volumétrica calculada

EFICIENCIA VOLUMETRICA							
RPM	Diésel	Etanol 2%	Etanol 5%	Etanol 7.5%	Etanol 10%	Etanol 12.5%	Etanol 15%
3100	58	66	62	67	69	67	70
2900	55	62	57	62	64	62	64
2700	51	56	54	59	59	59	58
2500	47	50	52	50	52	50	52
2300	42	50	48	45	45	46	45

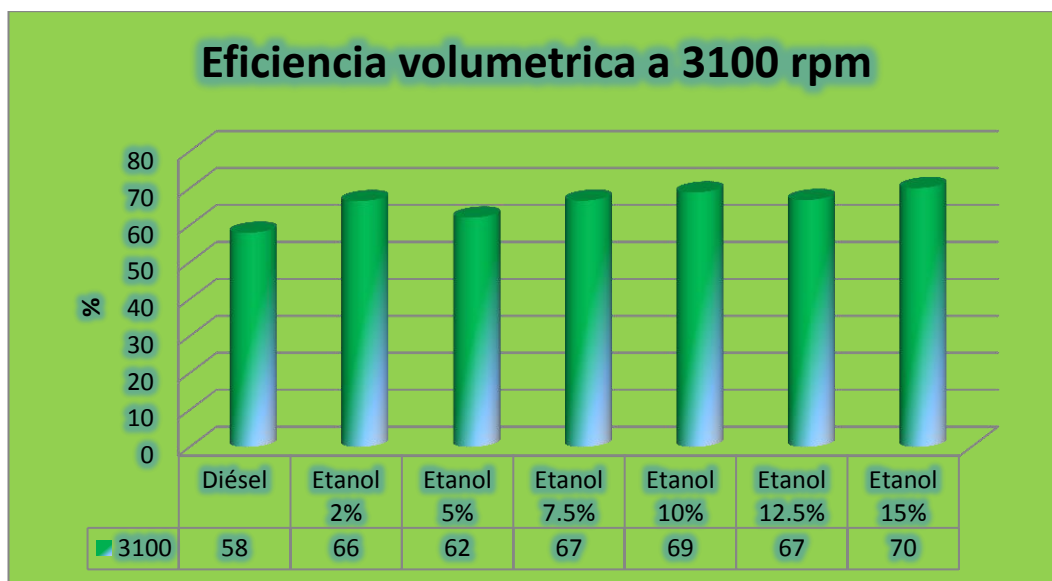


Figura No. 91. Eficiencia volumétrica a 3100 rpm

La eficiencia volumétrica en cada una de las emulsiones aumento con respecto al diésel neto, con una diferencia del 12%, entre el valor mínimo y el valor máximo.

4.7.10. Opacidad de los gases de escape

Los datos registrados durante las pruebas realizadas en el banco de pruebas PLINT TE-46 se encuentran en la tabla.

Tabla No. 39.

Opacidad de los gases de escape de las emulsiones

	Coeficiente de absorción luminosa (k)	
	m^{-1}	%
Diésel	1.71	52.1
Diésel-Etanol 2%	1.10	50.9
Diésel-Etanol 5%	1.11	48.8
Diésel-Etanol 7.5%	0.99	41.6
Diésel-Etanol 10%	0.90	38.3
Diésel-Etanol 12.5%	0.86	33.1
Diésel-Etanol 15%	0.74	27.4

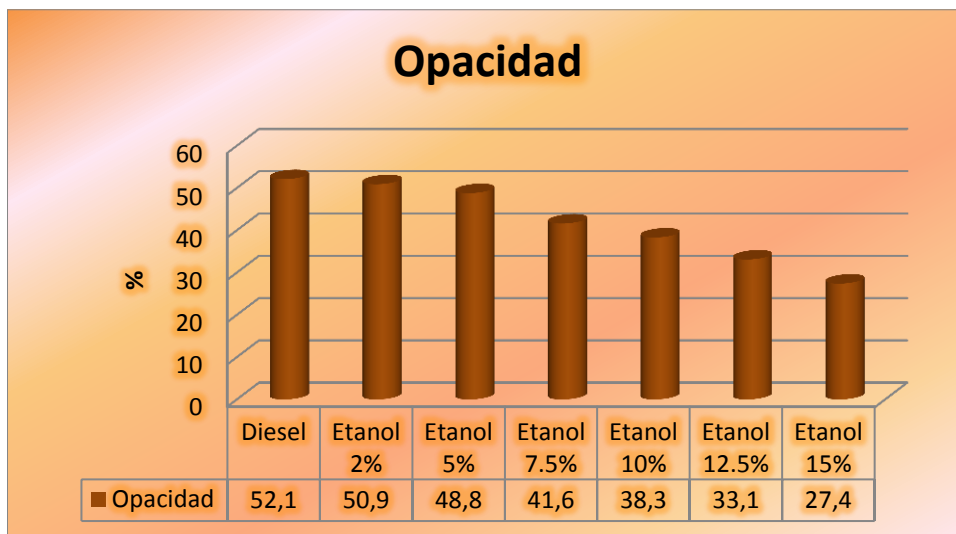


Figura No. 92. Opacidad de las emulsiones

Se observa como los porcentajes de la opacidad tiende a disminuir a medida que se aumenta la concentración de etanol en cada una de las emulsiones, el diésel neto presenta el valor máximo de 52.1% hasta el valor mínimo de 27.4% de la emulsión 15% de etanol, los resultados son buenos pero se tendrá que tomar en cuenta las consecuencias que generaría en tiempo prolongado el uso de etanol en el motor.

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO

A continuación se presentan los costos de elaboración de las emulsiones, para el respectivo análisis de factibilidad de realizar las emulsiones en comparación del diésel neto así como: el costo de los productos químicos utilizados, los costos de generación de energía con las emulsiones de combustible respectivamente, a través de la investigación se determinó conclusiones y recomendaciones que permitan conocer la viabilidad y así realizar nuevas investigaciones con respecto a combustibles reformulados con etanol.

5.1. Recursos humanos

Son las personas que aportaron con sus conocimientos para realizar las experimentaciones respectivas de la investigación.

Tabla No. 40.

Recursos humanos

Orden	Descripción	Cargo	Función
1	Fabrizio Chicaiza	Estudiante	Investigador
2	Ing. Germán Erazo	Docente tiempo completo de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga	Tutor, Investigador y asesor del proyecto
3	Ing. Alberto Naranjo	Laboratorista de motores de combustión interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	Colaborador científico (Pruebas en el motor)
4	Químico Pablo Bonilla	Director de la carrera de Química de la Universidad Central del Ecuador	Colaborador científico (Preparación de las emulsiones)
5	Ing. Diego Pucuji	Ingeniero Automotriz ESPE	Colaborador científico

5.2. Recursos materiales

Los recursos materiales son los elementos que se utilizaron para realizar el proyecto de investigación.

Tabla No. 41.

Recursos materiales

Orden	Ítems
1	Ácido oleico
2	Tween 80
3	Etanol 99.5%
4	Diésel
5	Tubos de ensayo

5.3. Recursos técnicos

Los recursos técnicos son los equipos que se utilizó para realizar el proyecto de investigación.

Tabla No. 42.

Recursos técnicos

Orden	Ítems
1	Computador personal
2	Balanza electrónico
3	Mezcladores
4	Calorímetro
5	Banco motor de pruebas PLINT TE-46
6	Opacímetro

5.4. Recursos financieros

Los recursos financieros es el presupuesto para realizar el proyecto de investigación, es financiado directamente por el investigador, a continuación, se detalla el costo de la elaboración de las emulsiones, seguidamente de las pruebas y gastos adicionales.

Tabla No. 43.**Costos de la elaboración de las emulsiones**

Orden	Ítems	Cantidad	Precio unitario	total
1	Ácido oleico	1 kg	14.50	14.50
2	Tween 80	1 kg	64	64
3	Diésel	9 gal	1.37	12.33
4	Etanol 99.5% pureza	2 kg	16	32
Total				122.83

El costo para elaborar la cantidad necesaria de las emulsiones para realizar las pruebas en el banco motor PLINT TE-46, incluido los ensayos de prueba y error para determinar su estabilidad y las respectivas pruebas fisicoquímicas de las emulsiones se observa en la tabla.

Tabla No. 44.**Costos de las pruebas fisicoquímicas de las emulsiones**

Orden	Ítems	Cantidad	Precio unitario	total
1	Poder calorífico	7	40	280
2	Densidad	7	20	140
3	Viscosidad	7	20	140
4	Tamaño de partícula DLS	7	30	210
Total				770

El costo de la caracterización de las emulsiones es de \$ 770, se determinó las propiedades básicas de las emulsiones así como la del diésel neto, se observa que el costo más alto, es la determinación del poder calorífico, esto se debe a los materiales, el tiempo y el equipo, que se emplea para obtener esta propiedad.

Tabla No. 45.**Costos de las pruebas térmicas y mecánicas en el motor**

Orden	Ítems	Cantidad	Precio unitario	total
1	Dinamómetro	7	50	350
2	Opacidad	7	30	210
Total				560

Las pruebas tienen un costo de \$ 560, para obtener los datos de la fuerza que presenta el motor con cada emulsión y el nivel de opacidad de los gases de escape.

Tabla No. 46.**Costos de los insumos del proyecto de investigación**

Orden	Ítems	Cantidad	Precio unitario	total
1	Uso del computador	400	0.50	200
2	Impresiones	400	0.10	40
3	copias	100	0.05	5
4	Transporte	50	1.50	75
Total				320

Los gastos de los insumos durante todo el proyecto de investigación, tiene un costo de \$ 320, es el mínimo valor en comparación con las tablas de los recursos financieros.

Tabla No. 47.**Costo total de los recursos del proyecto de investigación**

Orden	Ítems	total
1	Recursos humanos	320
2	Recursos materiales	122.83
3	Recursos técnicos	1330
Total		1772.83

El costo total para realizar el proyecto de investigación enfocado en la reformulación del diésel con etanol es de \$1772.83, saber que las emulsiones son beneficiosas para el ambiente, ya que reducen los niveles de contaminación, el costo de elaboración es superior al diésel neto, el precio del etanol es un factor que influye en el aumento del precio de las emulsiones.

5.5. Costos de producción para la formulación de emulsiones Diésel-etanol

5.5.1. Costo de 100 kilogramos de la emulsión

A través de los precios de los productos, se puede obtener el valor de la elaboración de una muestra de 100kg como se presenta a continuación:

5.5.2. Cálculo del costo de diésel por kilogramo:

$$\text{kg de diésel por gal} = 1 \text{ gal} \times \frac{3.85 \text{ l}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{843 \text{ kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{kg de diésel que contiene un gal} = 3.25 \text{ kg}$$

$$\text{Costo de diésel por kg} = \frac{1.37 \text{ USD}}{3.25 \text{ kg}}$$

$$\text{Costo de diésel por kg} = 0.42 \text{ USD/kg}$$

5.5.3. Cálculo del costo de etanol por kilogramo:

$$\text{kg de CH}_3\text{CH}_2\text{OH por gal} = 1 \text{ gal} \times \frac{3.85 \text{ l}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{789 \text{ kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{kg de etanol en un gal} = 3.04 \text{ kg}$$

$$\text{Costo de etanol por kg} = \frac{16 \text{ USD}}{3.04 \text{ kg}}$$

$$\text{Costo de etanol por kg} = 5.26 \text{ USD/kg}$$

Tabla No. 48.

Costo por 100 kilogramo de la emulsión 5% etanol

Orden	Ítems	Cantidad	Precio unitario	Porcentaje	total
1	Ácido oleico	1 kg	14.50	0.78	11.31
2	Tween 80	1 kg	64	0.21	13.44
3	Diésel	1 kg	0.42	94	39.48
4	Etanol 99.5% puro	1 kg	5.26	5	26.30
Total					90.53

$$\text{Costo emulsión diésel – etanol 5\% por kg} = 0.91 \text{ \$/kg}$$

Tabla No. 49.

Costo por kilogramo de las emulsiones

Ítems	Precio total (USD) Kilogramo
Diésel	0.42 \$
Diésel – Etanol 2%	0.52 \$
Diésel – Etanol 5%	0.91 \$
Diésel – Etanol 7.5%	1.07 \$
Diésel – Etanol 10%	1.38 \$
Diésel – Etanol 12.5%	1.63 \$
Diésel – Etanol 15%	1.88 \$

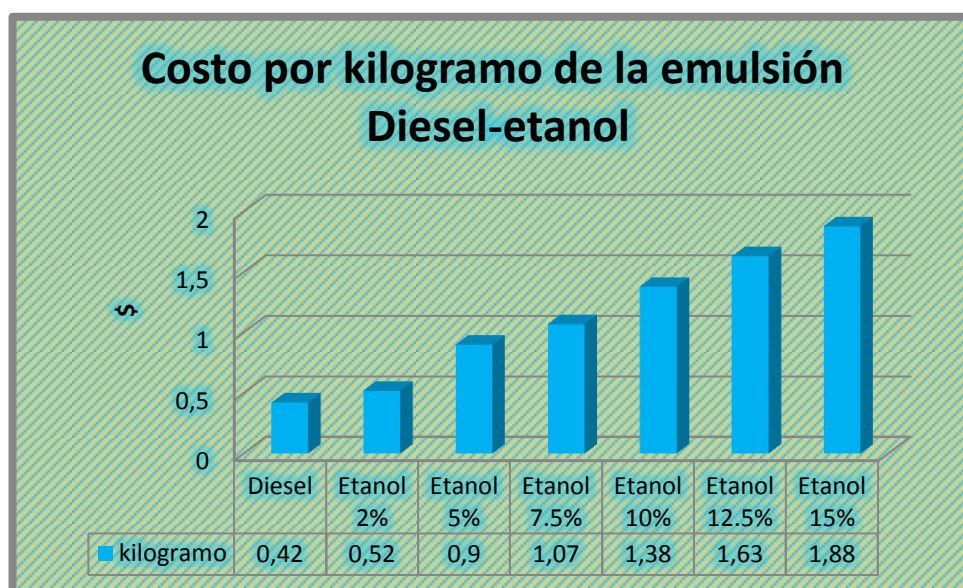


Figura No. 93. Costo de la formulación del combustible por kilogramo

5.5.4. Costo de un galón de la emulsión

Con el precio del kilogramo de cada emulsión y su densidad, se obtiene el valor de la elaboración de un galón como se presenta a continuación:

Costo emulsión diésel – etanol 2% por gal

$$= \frac{0.52 \text{ USD}}{\text{kg}} \times \frac{842 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{3.85 \text{ l}}{1 \text{ gal}}$$

Costo de la emulsión diésel – etanol 2% gal = 1.69 USD/gal

Tabla No. 50.

Costo por galón de las emulsiones

Ítems	Precio total (USD) Galón
Diésel	1.37 \$
Diésel – Etanol 2%	1.69 \$
Diésel – Etanol 5%	2.91 \$
Diésel – Etanol 7.5%	3.46 \$
Diésel – Etanol 10%	4.61 \$
Diésel – Etanol 12.5%	5.25 \$
Diésel – Etanol 15%	6.10 \$

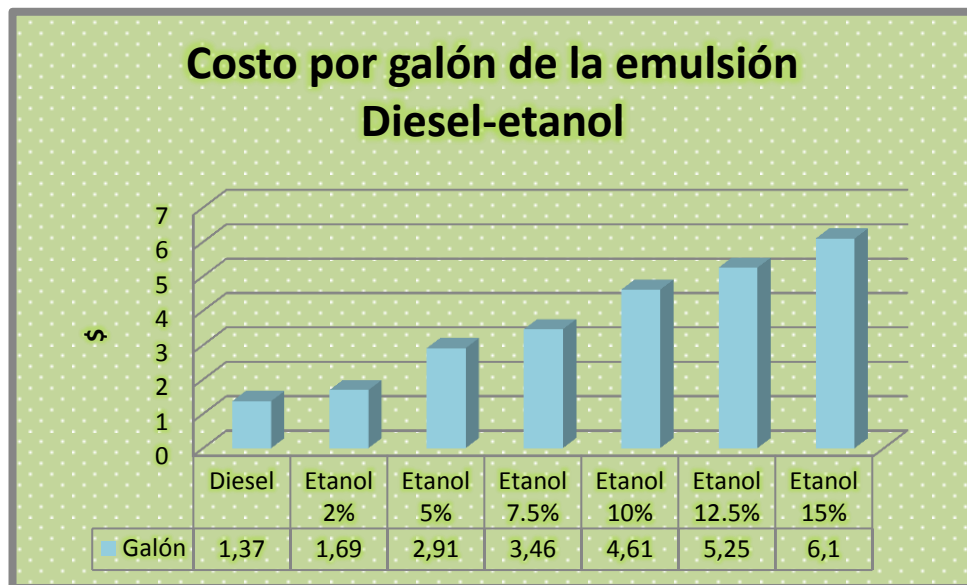


Figura No. 94. Costo de la formulación del combustible por galón

El costo para la elaboración de las emulsiones es mayor en comparación con el diésel neto como se observa en la figura, el precio se eleva debido al costo de los productos químicos que se utiliza para la estabilidad de la misma, y el precio del etanol con un grado de pureza del 99.5%, a medida que aumenta el porcentaje de concentración en el combustible reformulado el valor tiende a subir, el precio de la emulsión 15% es de \$6.10 con una diferencia de \$4.73 del diésel neto.

5.6. Costos de la generación de energía con las emulsiones

El costo de la generación de energía es un factor que se debe tomar en cuenta al momento de elaborar nuevos combustibles reformulados, donde interviene la potencia que entrega el motor y se tomó como dato el menor consumo específico de combustible de cada emulsión en las pruebas realizadas en el motor PLINT TE-46.

Para el cálculo del costo para generación de energía se emplea la ecuación:

$$\text{Costo generación} \left(\frac{\text{USD}}{\text{kW-h}} \right) =$$

$$\text{costo de muestra} \left(\frac{\text{USD}}{\text{g}} \right) \times \text{consumo específico de combustible} \left(\frac{\text{g}}{\text{kW-h}} \right)$$

Ecuación 28. Costo de energía

5.1.1. Cálculo para la generación de energía con diésel neto

$$\text{Costo generación} = 0.42 \left(\frac{\text{USD}}{\text{kg}} \right) \times \left(\frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} \right) \times 778.6 \left(\frac{\text{g}}{\text{kW-h}} \right)$$

$$\text{Costo generación} = 0.327 \frac{\text{USD}}{\text{kW-h}}$$

Tabla No. 51.

Costo de la generación de energía de las emulsiones

Ítems	Precio total (USD/KWh)
Diésel	0.327
Diésel – Etanol 2%	0.419
Diésel – Etanol 5%	0.705
Diésel – Etanol 7.5%	0.906
Diésel – Etanol 10%	1.177
Diésel – Etanol 12.5%	1.323
Diésel – Etanol 15%	1.481

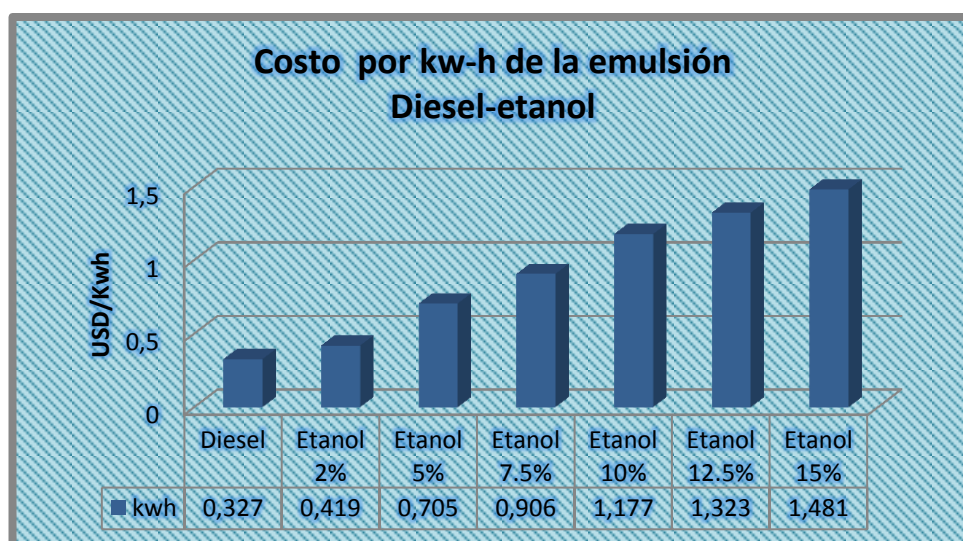


Figura No. 95. Costo para generación de energía de las emulsiones

El costo de la generación de energía, nuevamente se ve reflejada por el costo de los productos químicos, utilizados para homogenizar el combustible, el diésel neto tiene un costo de 0.327 kW-h y el valor más alto corresponde a la emulsión 15% con un costo de 1.481 kW-h entre los dos combustibles se tiene una diferencia de 1.154 kW-h, esto representa en 78% el costo del diésel neto.

CONCLUSIONES

Se manifiesta las conclusiones que generó el proyecto de investigación, así como las recomendaciones que permitan seguir con investigaciones en combustibles reformulados con tensioactivos.

- Se determinó el potencial energético de la emulsión diésel-etanol y parámetros mecánicos y térmicos en el motor de combustión interna a diésel.
- Se investigó en fuentes bibliográficas confiables, con respecto a tensioactivos que permitan realizar formulaciones de emulsiones diésel-etanol a diferentes concentraciones.
- Se obtuvo un aditivo efectivo, para mantener homogenizado las emulsiones diésel-etanol, elaborado con Ácido oleico y Tween 80, utilizando el BHL se determinó el porcentaje correcto, 78.57% y 21.43% respectivamente.
- La formulación de diésel con etanol, a partir del 3% de etanol fue necesario del aditivo para mantener estables las emulsiones de 5% - 7.5% - 10% - 12.5% y 15%, a temperatura ambiente (20 °C) y pruebas de laboratorio (45 °C), la emulsión 2% de etanol no necesito del aditivo para su estabilidad.
- Se caracterizó cada una de las emulsiones, obteniendo: densidad, viscosidad, poder calorífico y tamaño de partícula, para realizar un análisis con respecto al diésel neto en sus propiedades fisicoquímicas.
- Se observó que, a medida que aumenta el porcentaje de etanol la densidad Y viscosidad de las emulsiones tiende a disminuir, siendo para la densidad 843 g/cm³ para el diésel neto y 836 g/cm³ para la

emulsión 15%, el, excepto con la viscosidad donde, existe variaciones en los porcentajes de 5% y 12.5% de etanol, para el poder calorífico disminuye hasta la emulsión del 10% de etanol, las dos restantes aumentan en comparación con el diésel neto.

- Se determinó los parámetros mecánicos y térmicos del motor a diésel PETERS AA-1 en el banco de pruebas PLNT TE-46, con las emulsiones 2% - 5% - 7.5% - 10% - 12.5% y 15% de etanol, así también con el diésel neto.
- Se realizó las pruebas en el motor, con el protocolo de arranque en frío, ya que se presentaron problemas de funcionamiento en el motor cuando llega a su temperatura óptima de trabajo, esto debido a que el banco de pruebas PLINT TE-46 cuenta con el motor PETERS AA-1 mono cilíndrico.
- Se realizaron pruebas extras de estabilidad y funcionamiento en el motor a diésel DEUTZ multicilindros, con las emulsiones 10% y 15% de etanol, alcanzando su temperatura óptima de funcionamiento y obteniendo buenos resultados.
- Los resultados de torque, potencia y opacidad de los gases, en el motor PETERS AA-1 determinaron que las emulsiones 5% y 10% de etanol, obtienen un valor de 7.16 Nm igual que el diésel neto en su torque a 3100 rpm, para la potencia el diésel 2.02kw y la emulsión 15% de etanol tiene 2.50kw a 2700 rpm y los porcentajes de opacidad tienden a disminuir desde 52.1% para el diésel neto hasta 27.4% para la emulsión 15% de etanol, así se cumple uno de los objetivos de la investigación.
- Se determinó los costos de la formulación por galón, para comparar con el diésel neto, concluyendo que su precio es influenciado por los costos de los tensioactivos que se utilizaron para la elaboración del aditivo para

la estabilización, así también por el precio del etanol químicamente puro 99.5%.

- Con respecto al consumo energético la diferencia entre el diésel neto de 0.327 USD/KW-h y la emulsión 15% de etanol es 1.48 USD/KW-h, el precio supera cinco veces el valor del diésel neto, así económicamente no es viable.
- Se concluye que al formular diésel con etanol no es necesario realizar cambios en el motor ni en los sistemas de funcionamiento, y es beneficioso para el medio ambiente, ya que reduce notoriamente los niveles de opacidad de los gases de escape.

RECOMENDACIONES

- Es necesario la indagación de información actualizada y pertinente para empezar la investigación.
- Calibrar los equipos antes de iniciar la medición para obtener valores confiables en cada una de las pruebas a realizar.
- Utilizar equipos de protección, visual como respiratorio por el uso de una sustancia química de fuerte olor e inflamable como es el etanol.
- Lavar minuciosamente los materiales de vidrio calibrados, para posteriores utilidades sin dejar residuos que alteren en el proceso de medición.
- Realizar las pruebas de rendimiento térmico y mecánico en motores multicilindros, de preferencia en vehículos para obtener mejores valores y compararlo con el diésel comercial.
- Indagar el uso excesivo de los combustibles reformulados con etanol en los elementos mecánicos y sistemas del motor en función de las horas de trabajo.
- Se recomienda continuar con investigaciones basadas en la emulsión diésel-etanol, para determinar el porcentaje máximo que pueda mezclarse y no realizar modificaciones en el motor a diésel.
- Desarrollar proyectos de investigación que promuevan el cuidado del medio ambiente, basándose en la utilización de energías renovables de fácil producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burgos, D., & Villacis, Y. (2016). *Caracterización de la mezcla combustible diesel a partir de aceite de frituras, en concentración 5% - 10% - 15% - 20% - 30% para determinar los parámetros térmicos y mecánicos del motor (tesis de pregrado)*. Latacunga.
- Bosch, R. (2005). *Técnica de gases de escape para motores Diesel*. Alemania: BOSCH.
- Erazo, G. (2013). *Evaluación del potencial energético del aceite de piñon en el motor Isuzu serie DMax como fuente alternativa de energía en la ciudad de Latacunga. Utilización como biocombustible en motores diesel en proporsión para reducir la polución*. Latacunga.
- Guzmán, A., & Clavón, M. (2011). *Estudio de las emisiones de gases contaminantes de un motor de ciclo diesel, usando combustible microemulsionado con agua*. Quito: UPN.
- Pucuji, D. (2016). *Investigación del potencial energético de la emulsión diésel-agua al 5-10-15 y 20 % con el uso de surfactante para determinar su influencia en los parámetros mecánicos y térmicos del motor de combustión interna (tesis de pregrado)*. Latacunga.
- Asas, J. (2017). *Caracterización y utilización del aceite obtenido de las semillas de girasol para determinar los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna ciclo diesel en proporciones de 2%, 5%, 10%, 15%, 25% y 50% cuando se lo utiliza como biocombustible (tesis de pregrado)*. Latacunga.
- Jóvaj, M. (1982). *Motor de automovil*. Moscu: MIR.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos* (Sexta ed.). México, D.F.: Pearson.

- Nextech. (s.f.). *Automotive Opacity Smoke Meter NDO-6000 Operation Manual*. Nextech.
- Harris, D. (2007). *Análisis químico cuantitativo* (Sexta ed.). Barcelona: Reverté.
- Payri, F., & Desantes, J. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. València: Editorial UPV.
- Rajput, R. (2011). *Ingeniería Termodinámica*. México, D.F.: CENGAGE Learning.
- Ralbovsky, E. (2000). *Motores Diésel*. Madrid: PARANINFO.
- Romo, L. (1993). *Emulsiones Fundamentos Fisicoquímicos Formulación y Aplicaciones*. Quito: Editorial Universitaria.
- Avila, A., & Tunala, J., (2014). *Reciclaje de aceite vegetal de frituras para uso como biocombustible en motores diesel en diferentes proporciones (tesis de pregrado)*. Latacunga.
- Alternative petroleum technologies [APT]. (2013). *Emulsiones Diesel Oil*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2016, de Alternative petroleum technologies, Obtenido de: <http://www.altpetrol.com/es/2b-pd-doe.html>
- Ecured. (2017). *Ácido oleico*. Recuperado el 25 de Mayo de 2017, Obtenido de: http://www.ecured.cu/%C3%81cido_oleico
- Ecured. (2017). *Etanol*. Recuperado el 5 de Junio de 2017, Obtenido de: <http://www.ecured.cu/etanol>
- Ariztimuño, R., Gonzalez, A., & Risueño, (2014). *Energética de hidrógeno*. Recuperado el 5 de Mayo de 2017, Obtenido de: https://www.ecured.cu/Motor_di%C3%A9sel.

- Melo, E., Piloto, R., Goyos, L., Verhelst, S., & Sierens, R. (2016). *Academia*. Recuperado el 11 de Marzo de 2017, de La emulsificación de los aceites vegetales y las grasas animales como combustible para motores diesel. una visión general, Obtenido de: http://www.academia.edu/20992591/La_emulsificaci%C3%B3n_de_los_aceites_vegetales_y_las_grasas_animales_como_combustible_para_motores_diesel._Una_visi%C3%B3n_general_Emulsification_of_vegetable_oils_and_animal_fats_as_fuel_for_diesel_engines
- Oliva i Herrera, M. (Recuperado el: 7 de Mayo de 2016). *Tecnología farmacéutica i*. Obtenido de: <http://ocw.ub.edu/farmacia/tecnologia-farmaceutica-i/fitxers/temes/T.21-Emulsions.pdf>
- Silverson. (2016). *Silverson*. Recuperado el 3 de Abril de 2017, de Mezcladores de Laboratorio, Obtenido de: www.silverson.es/es/productos/mezcladores-de-laboratorio/opciones-de-mezcladores
- Ecuador. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. (2015). *iner.gob.ec*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2016, de [iner.gob.ec](http://www.iner.gob.ec/), Obtenido de: <http://www.iner.gob.ec/>

INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS:

- Holmberg, K., Jönsson, B., Kronberg, B., & Lindman, B. (2003). *Surfactants and polymers in aqueous solution* (Segunda ed.). Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd.
- Melo, E., Piloto, R., Goyos, L., Ferrer, N., & Errasti, M. (2013). Investigación experimental de las prestaciones de un motor monocilíndrico usando combustible diesel emulsionado. *Ingeniería Energética*, 11-20.

- Raheman, H., & Kumari, S. (2014). Performance and emissions of emulsified biodiesel operated diesel engine. *International Conference on Biological Civil and Environmental Engineering*, 110-117.
- Lapuerta, M., Armas, O., & García-Contreras, R. (2009). Effect of Ethanol on Blending Stability and Diesel Engine Emissions. *Energy & Fuels*, volumen 23, 4343-4354.
- Gerdes, K.R., & Suppes, G.J. (2001). Miscibility of Ethanol in Diesel Fuels. *Ind. Eng. Chem. Res.*, volumen 40, 949-956.
- Castillo, P., Mendoza, A., & Caballero P. (2009). Analysis of Physicochemical Properties of Mexican Gasoline and Diesel Reformulated with Ethanol, 10-13.
- Merritt, P.M., Ulmet, V., McCormick, R.L., Mitchell, W.E.; Baumgard, K.J. (2005). *Regulated and Unregulated Exhaust Emissions Comparison for Three Tier II Non-Road Diesel Engines Operating on Ethanol-Diesel Blends*. SAE paper, 01-2193.
- Tutak, W., Jamrozik, A., Pyrc, M., & Sobiepański, M. (2017). A comparative study of co-combustion process of diesel-ethanol and biodiesel-ethanol blends in the direct injection diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 117, 155-163.
- Lapuerta, M., Rodríguez-Fernández, J., Fernández-Rodríguez, D., & Patiño-Camino, R. (2017). Modeling viscosity of butanol and ethanol blends with diesel and biodiesel fuels. *Fuel*, 199, 332-338
- Jamrozik, A. (2017). The effect of the alcohol content in the fuel mixture on the performance and emissions of a direct injection diesel engine fueled with diesel-methanol and diesel-ethanol blends. *Energy Conversion and Management*, 148, 461-476.

- Saleh, H. E., & Selim, M. Y. (2017). Improving the performance and emission characteristics of a diesel engine fueled by jojoba methyl ester-diesel-ethanol ternary blends. *Fuel*, 207, 690-701.
- Qi, D. H., Yang, K., Zhang, D., & Chen, B. (2017). Combustion and emission characteristics of diesel-tung oil-ethanol blended fuels used in a CRDI diesel engine with different injection strategies. *Applied Thermal Engineering*, 111, 927-935.

NORMAS:

- Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1986). *Productos de petróleo determinación de la viscosidad cinemática y dinámica en líquidos transparentes y opacos*. Quito: INEN.
- Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1984). *Leche. Determinación de la densidad relativa*. Quito: INEN.
- Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). *Biodiesel requisitos*. Quito: INEN.
- Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2000). *Gestión ambiental. aire. vehículos automotores. determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diesel mediante la prueba estática. método de aceleración libre*. Quito: INEN.
- Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2002). *Gestión ambiental. aire. vehículos automotores. límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diesel*. Quito: INEN.

ANEXOS



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

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: **OSCAR FABRICIO CHICAIZA YUGCHA**

En la ciudad de Latacunga, a los **15 días del mes de agosto del 2017.**



 Ing. Germán Erazo

DIRECTOR DEL PROYECTO


Aprobado por:





 Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA



 Dr. Freddy Jaramillo Checa
SECRETARIO ACADEMICO

