



**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: “ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE
EMISIONES DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIÉSEL –
SURFACTANTES DEL AGUA EN EL MOTOR MZR-D 2.5”**

**AUTORES: HERNÁN ISRAEL CARRILLO PROAÑO
CRISTIAN PATRICIO TACO DÁVILA**

DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO

LATACUNGA

2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE EMISIONES DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIÉSEL – SURFACTANTES DEL AGUA EN EL MOTOR MZR-D 2.5**” realizado por los señores **HERNÁN ISRAEL CARRILLO PROAÑO** y **CRISTIAN PATRICIO TACO DÁVILA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **HERNÁN ISRAEL CARRILLO PROAÑO** y **CRISTIAN PATRICIO TACO DÁVILA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 27 de febrero del 2018

Ing. Washington Germán Erazo Laverde

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **HERNÁN ISRAEL CARRILLO PROAÑO** con cédula de ciudadanía N° 1804653911 y **CRISTIAN PATRICIO TACO DÁVILA** con cédula de identidad N° 1720507142 declaro que este trabajo de titulación **“ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE EMISIONES DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIÉSEL – SURFACTANTES DEL AGUA EN EL MOTOR MZR-D 2.5”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

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

Latacunga, 27 de febrero del 2018

Hernán Israel Carrillo Proaño

C.C.: 1804653911

Cristian Patricio Taco Dávila

C.C.: 1720507142



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

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **HERNÁN ISRAEL CARRILLO PROAÑO** y **CRISTIAN PATRICIO TACO DÁVILA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación “**ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE EMISIONES DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIÉSEL – SURFACTANTES DEL AGUA EN EL MOTOR MZR-D 2.5**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 27 de febrero del 2018

Hernán Israel Carrillo Proaño

C.C.: 1804653911

Cristian Patricio Taco Dávila

C.C.: 1720507142

DEDICATORIA

A Dios por tan grandes bendiciones derramadas en esta etapa de mi vida, quien ha estado en los momentos más difíciles, y me ha guiado para tomar las mejores decisiones, acompañándome paso a paso para cumplir este logro tan anhelado. A la Virgen María por estar en cada momento de mi vida guiándome para cumplir mis sueños y bendiciéndome en el día a día.

A mi familia por el apoyo incondicional en todos los momentos, especialmente a mi padre Onofre Carrillo y a mi madre Eva Proaño, quienes son las personas que me han guiado para ser un hombre de bien mediante su ejemplo de superación, enseñanzas y amor.

A mi esposa María Elena y a mi hijo Sebastián Israel que con su amor, su apoyo incondicional y sus palabras de aliento me han llenado de valor para lograr las metas que me he propuesto.

A mis amigos que me han acompañado durante la vida universitaria, por estar siempre en los buenos y malos momentos, por ser parte de anécdotas, por todo eso les deseo éxitos en su vida y que todo lo que anhelan se les cumplan.

Israel

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado con mucho amor a mis padres Mónica Dávila y Mario Taco que siempre me apoyaron en todo momento, que han sido mi guía y mi fortaleza, haciendo un esfuerzo para darme un buen futuro.

A mi hermana Scarleth Taco que es mi vida, mi inspiración, mi confidente, que con sus locuras y su cariño siempre me levanta el ánimo, es el motivo de seguir adelante siendo un ejemplo para ella.

A mi madrina Mayra Dávila y mi abuelo Ramberti Dávila que han estado pendiente siempre en mi vida personal y estudiantil.

A mi familia en general que supieron darme su ayuda, sabiduría y palabras de aliento siempre estuvieron conmigo en este camino.

Cristian

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la Virgen María por bendecirme cumpliendo estas metas que son de mucha importancia para mi vida.

A mis padres Onofre Carrillo y Eva Proaño por apoyarme en todos mis sueños, por la dedicación y valores impartidos desde tempranas edades para formarme como un buen ser humano.

A mi esposa María Elena y a mi hijo Sebastián Israel, por ser la fuente de energía para perseverar a alcanzar mis metas.

A mis hermanos Xavier, Rosi y Jimmy por el apoyo incondicional y siempre estar pendientes de cumpla con mis propósitos.

A Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga por todos los conocimientos impartidos por parte de sus docentes.

A mi compañero de tesis Cristian que es un buen amigo y ha sido parte de los buenos y malos momentos en nuestra vida universitaria.

Un agradecimiento especial al Ing. Germán Erazo, director de esta investigación y docente en varias materias durante la carrera, por su calidad profesional y humanística.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por bendecirme en cada paso de mi camino y con su fe no darme por vencido para culminar la meta anhelada.

A mis padres Mónica Dávila y Mario Taco que gracias a su esfuerzo, consejos y enseñanzas me ayudaron a cumplir con mis metas.

A mi querida hermana Scarleth Taco que siempre ha estado levantándome el ánimo en los momentos difíciles y siempre está ahí cuando la necesito.

A mi familia que son quienes siempre están en los buenos y malos momentos.

Al Ingeniero Germán Erazo, director de este proyecto de investigación por sus enseñanzas como un gran profesional y amigo.

A mi amigo Israel con el cual este proyecto de investigación pudo ser posible.

Como no agradecer a mis amigos Leonel, Rubén, Byron, Stalin, a la manada de Lobos, al Combo y demás personas que cerca o a la distancia fueron una parte importante en el trayecto de este sueño como compañeros, amigos y hermanos. Y como olvidar a Sandy que con cariño y ánimos me motivo a concluir con este proyecto.

Cristian

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA	I
CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE ECUACIONES	XX
RESUMEN	XXI
ABSTRACT	XXII
CAPÍTULO I	
1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Descripción del Proyecto.....	5
1.4. Justificación e importancia	7
1.5. Objetivos	8
1.5.1. Objetivo General	8
1.5.2. Objetivos Específicos	8
1.6. Metas	9
1.7. Hipótesis	9

1.8.	Variables de la investigación	9
1.8.1.	Variable independiente	9
1.8.2.	Variable dependiente	9
1.8.3.	Operacionalización de las variables	9
a.	Variable independiente	10
b.	Variable dependiente	11
1.9.	Metodología de desarrollo del proyecto.....	12
1.9.1.	Método de análisis de contenido	12
1.9.2.	Método deductivo:.....	12
1.9.3.	Método inductivo	12
1.9.4.	Método experimental.....	12
1.9.5.	Método de observación directa	13
1.9.6.	Método de medición	13
1.9.7.	Método de matematización	13
1.9.8.	Método analítico.....	13
1.9.9.	Método comparativo.....	14
1.9.10.	Método síntesis	14

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	18
2.1.	Motor diésel	18
2.1.1.	Combustión en los motores diésel	18
2.1.2.	Principio de funcionamiento del motor diésel	18
2.2.	Ciclo termodinámico.....	18
2.2.1.	Ciclo diésel teórico	19
2.2.2.	Ciclo real	21
2.3.	Sistema de alimentación de motores diésel	22
2.3.1.	Sistema de alimentación common rail	23
a.	Características de la inyección common rail.....	23
b.	Funcionamiento	24
2.3.2.	Sistema de control electrónico	25
a.	La unidad de control del motor (ECM).....	25
b.	Sensores.....	25
c.	Actuadores	26
d.	Partes del sistema de alimentación common rail.....	27
e.	Circuito de baja presión.....	28
f.	Circuito de alta presión	29
2.4.	Diésel.....	30
2.4.1.	Combustibles para motores diésel de automóviles.....	30
2.4.2.	Clasificación del diésel en Ecuador	30

2.4.3.	Características del combustible diésel	32
2.5.	Surfactantes	33
2.5.1.	Concepto de surfactante	33
2.5.2.	Características de los surfactantes	33
2.5.3.	Clases de surfactantes	34
2.5.4.	Aplicaciones de surfactantes	34
2.5.5.	Tensoactivos para emulsiones	36
2.5.6.	Nonil fenol 6 moles	36
a.	Características del producto	37
b.	Aplicaciones	37
2.5.7.	Ácido oleico	37
a.	Características del producto	38
2.5.8.	Kolliphor EL	38
a.	Características del producto	39
2.6.	Emulsiones	39
2.6.1.	Tipos de emulsiones	40
a.	Emulsiones simples	40
b.	Emulsiones dobles	40
2.6.2.	Proceso de emulsión	40
2.7.	Termografía	41
2.7.1.	Principios de la termografía	41
a.	Radiación infrarroja	41
b.	Transferencia de calor	42
2.7.2.	Cámaras termográficas	45
a.	Mediciones termográficas	45

CAPÍTULO III

3.	EQUIPOS Y FORMULACIÓN DE EMULSIONES	47
3.1.	Equipos	47
3.1.1.	Balanza electrónica Boeco BPS 51 plus	47
a.	Funciones	48
b.	Especificaciones	48
3.1.2.	Mezclador electromagnético Boeco MSH 420	49
a.	Especificaciones	49
3.1.3.	Mezclador mecánico proctor silex	50
a.	Características:	50
3.1.4.	Picnómetro	51
a.	Utilización	51
b.	Cálculos	52
3.1.5.	Viscosímetro Cannon-Fenske, líquidos opacos, serie 100	53
a.	Proceso de medida	53
b.	Cálculos	54

c.	Características del viscosímetro.....	54
3.1.6.	Calorímetro adiabático	55
3.1.7.	Analizador de gases Brain Bee AGS-688.....	56
a.	Características del equipo	57
b.	Características de los indicadores del analizador de gases	57
3.1.8.	MGT-300 EVO RPM COUNTER	58
a.	Características del equipo	58
b.	Campos de medición	59
3.1.9.	Opacímetro Cartek.....	59
a.	Funcionamiento del opacímetro	60
b.	Características del opacímetro	60
3.1.10.	Cámara termográfica Fluke TIS60	61
a.	Características del equipo	61
3.1.11.	Mazda BT-50 CRDi	62
a.	Características de la Mazda BT-50 CRDi.....	62
3.2.	Formulación de emulsiones	63
3.2.1.	Proceso de elaboración de emulsiones.....	64
3.2.4.	Obtención de las mezclas diésel – surfactantes del agua	68
a.	Mezcla 5% Agua	68
b.	Mezcla 10% Agua	69
c.	Mezcla 15% Agua	71
d.	Mezcla 20%	73
3.2.5.	Análisis de las emulsiones	74
3.3.	Pruebas.....	75
3.3.1.	Picnómetro.....	75
a.	Procedimiento para obtener la densidad	75
b.	Cálculos de densidad para las emulsiones	77
c.	Análisis de la densidad de las emulsiones	79
d.	Certificado de ensayo de densidades.....	80
3.3.2.	Viscosímetro	81
a.	Procedimiento para obtener la densidad	82
b.	Cálculos de viscosidad para las emulsiones	84
c.	Análisis gráfico de las viscosidades de las emulsiones	86
d.	Certificado del ensayo de viscosidades.....	87
3.3.3.	Poder calorífico	87
a.	Procedimiento para obtener el poder calorífico	88
b.	Cálculos de poder calorífico para las emulsiones.....	91
c.	Análisis gráfico del poder calorífico de las emulsiones	94
d.	Certificado de ensayo de poder calorífico.	95

CAPÍTULO IV

4.	EXPERIMENTACIÓN TERMOGRÁFICA Y EMISIONES DE LAS MEZCLAS DIÉSEL – SURFACTANTES DEL AGUA	96
4.1.	Emisiones de gases	96
4.1.1.	Procedimiento de prueba	96
4.1.2.	Prueba de emisiones de gases a 26° C	99
a.	Tabulación de prueba a 26° C	99
b.	Análisis de resultados prueba a 26° C	99
4.1.3.	Prueba de emisiones de gases a 60° C	101
a.	Tabulación de prueba a 60° C	101
b.	Análisis de resultados prueba a 60° C	101
4.1.4.	Prueba de emisiones de gases a 80°C	102
a.	Tabulación de prueba a 80° C	102
b.	Análisis de prueba de gases a 80°	102
4.1.5.	Prueba de emisiones de gases a ralentí	103
a.	Tabulación de prueba a 750 rpm.....	103
b.	Análisis de prueba de gases a ralentí	104
4.1.6.	Prueba de emisiones de gases a 2000 rpm	105
a.	Tabulación de prueba a 2000 rpm.....	105
b.	Análisis de prueba de gases a 2000 rpm	105
4.1.7.	Prueba de emisiones de gases a 3000 rpm	106
a.	Tabulación de prueba a 3000 rpm.....	106
b.	Análisis de prueba de gases a 3000 rpm	107
4.2.	Opacidad	108
4.2.1.	Procedimiento de pruebas de opacidad	108
4.3.	Termografía	112
4.3.1.	Procedimiento de pruebas termográficas	112
4.3.2.	Análisis de datos termográficos.....	115
a.	Análisis termográfico en riel	115
b.	Análisis termográfico en inyector 1	116
c.	Análisis termográfico en inyector 2	117
d.	Análisis termográfico en inyector 3.....	118
e.	Análisis termográfico en inyector 4.....	119
f.	Análisis termográfico en múltiple de escape.....	120
g.	Análisis termográfico en el catalizador	121

CAPÍTULO V

5.	MARCO ADMINISTRATIVO	123
5.1.	Factibilidad de la investigación	123

5.1.1. Recursos materiales	123
5.1.2. Talento humano	124
5.1.3. Recursos Financieros	124
CONCLUSIONES.....	127
RECOMENDACIONES.....	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
ANEXOS	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la variable independiente.....	10
Tabla 2. Operacionalización de la variable dependiente	11
Tabla 3. Metodología de desarrollo del proyecto.....	14
Tabla 4. Propiedades características del diésel	32
Tabla 5. Tipos de surfactantes.....	34
Tabla 6. Campos de aplicación de los tensoactivos en la industria	35
Tabla 7. Especificaciones del nonil fenol 6 moles	37
Tabla 8. Especificaciones del ácido oleico	38
Tabla 9. Especificaciones del Kolliphor EL.....	39
Tabla 10. Características de la balanza	48
Tabla 11. Características agitador electromagnético.....	49
Tabla 12. Características agitador mecánico	51
Tabla 13. Especificaciones Viscosímetro Cannon – Fenske Serie 100	54
Tabla 14. Características del analizador de gases AGS-688	57
Tabla 15. Indicadores del analizador de gases AGS-688.....	57
Tabla 16. Especificaciones contador de RPM MGT-300 EVO.....	58
Tabla 17. Rangos de medición MGT-300 EVO	59
Tabla 18. Especificaciones opacímetro Cartek	60
Tabla 19. Especificaciones de la cámara termográfica Fluke TiS60.....	61
Tabla 20. Especificaciones Mazda BT-50 CRDi.....	62
Tabla 21. Proceso de obtención de emulsiones.....	64
Tabla 22. Características de las emulsiones diésel – agua.....	75
Tabla 23. Procedimiento de obtención de densidades	76
Tabla 24. Procedimiento para la viscosidad.....	82
Tabla 25. Procedimiento para la determinar el poder calorífico.....	88
Tabla 26. Cálculo del poder calorífico del diésel	92
Tabla 27. Cálculo del poder calorífico de la emulsión al 5% agua.....	92
Tabla 28. Cálculo del poder calorífico de la emulsión al 10% agua.....	93
Tabla 29. Cálculo del poder calorífico de la emulsión al 15% agua.....	93
Tabla 30. Cálculo del poder calorífico de la emulsión al 20% agua.....	94
Tabla 31. Procedimiento de análisis de gases	96
Tabla 32. Emisiones de gases – temperatura 26 °C	99
Tabla 33. Emisiones de gases – temperatura 60 °C	101
Tabla 34. Emisiones de gases – temperatura 80 °C	102
Tabla 35. Emisiones de gases – 750 rpm	104
Tabla 36. Emisiones de gases – 2000 rpm	105
Tabla 37. Emisiones de gases – 3000 rpm	107
Tabla 38. Procedimiento de pruebas con el opacímetro	109
Tabla 39. Opacidad de cada emulsión	111
Tabla 40. Procedimiento termográfico en el vehículo.....	113
Tabla 41. Temperaturas del riel obtenidas en pruebas termográficas	115
Tabla 42. Temperaturas del inyector 1 obtenidas en pruebas termográficas ..	116
Tabla 43. Temperaturas del inyector 2 obtenidas en pruebas termográficas ..	117

Tabla 44. Temperaturas del inyector 3 obtenidas en pruebas termográficas .	119
Tabla 45. Temperaturas del inyector 4 obtenidas en pruebas termográficas .	120
Tabla 46. Temperaturas del múltiple de escape obtenidas en pruebas termográficas	121
Tabla 47. Temperaturas del catalizador obtenidas en pruebas termográficas	122
Tabla 48. Recursos materiales	123
Tabla 49. Talento Humano.....	124
Tabla 50. Gastos en la obtención en emulsiones	125
Tabla 51. Gastos tecnológicos	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Árbol de planteamiento del problema	4
Figura 2.	Diagrama de distribución real de un motor Otto de cuatro tiempos, a la izquierda el teórico y a la derecha el real	19
Figura 3.	Fase de combustión y expansión en el ciclo teórico de un motor diésel.....	21
Figura 4.	Diagrama ciclo teórico Diésel	21
Figura 5.	Ciclo real	22
Figura 6.	Partes del sistema de inyección por bomba rotativa.....	23
Figura 7.	Sistema de inyección common rail	24
Figura 8.	Sistema common rail Bosch.....	25
Figura 9.	Unidad de mando y sensores del sistema CRDi	26
Figura 10.	Actuadores del sistema CRDi	27
Figura 11.	Partes el sistema common rail	28
Figura 12.	Circuito de baja presión	29
Figura 13.	Circuito de alta presión	29
Figura 14.	Requisitos INEN para el diésel.....	31
Figura 15.	Nonil fenol 6 moles.....	36
Figura 17.	Ácido oleico	38
Figura 18.	Kolliphor EL	39
Figura 19.	Emulsiones agua-aceite (A/O), aceite- agua (O/A).....	41
Figura 20.	Modelo termodinámico clásico y modelo de transferencia de calor de un motor de un automóvil común	43
Figura 21.	(izq.) Mano apoyada sobre un papel. (Der.) Huella térmica impresa momentáneamente debida a la mano	44
Figura 22.	Cámara termográfica	45
Figura 23.	Balanza electrónica Boeco BPS 51 Plus	48
Figura 24.	Agitador electromagnético Boeco MSH 420.....	49
Figura 25.	Mezclador mecánico	50
Figura 26.	Picnómetro.....	51
Figura 27.	Viscosímetro Cannon - Fenske	53
Figura 28.	Calorímetro Adiabático.....	55
Figura 29.	Analizador de emisiones Brain Bee AGS-688	56
Figura 30.	Contador de RPM MGT-300 EVO	58
Figura 31.	Accesorios MGT-300 EVO	59
Figura 32.	Opacímetro Cartek.....	60
Figura 33.	Mazda BT-50 CRDi.....	62
Figura 34.	Porcentaje de sustancia a emulsionar.....	64
Figura 35.	Masar sustancias emulsionantes	65
Figura 36.	Mezcla tensoactiva.....	65
Figura 37.	Añadir sustancias emulsionantes	65
Figura 38.	Mezcla de las sustancia a emulsionar	65
Figura 39.	Envasado de emulsiones	66

Figura 40.	Comportamiento de las emulsiones	66
Figura 41.	Tensoactivo emulsionante.....	67
Figura 42.	Emulsión 5% Agua.....	69
Figura 43.	Emulsión 10% Agua.....	71
Figura 44.	Emulsión 15% Agua.....	72
Figura 45.	Emulsión 20% Agua.....	74
Figura 46.	Muestras de emulsiones	74
Figura 47.	Limpieza picnómetro	76
Figura 48.	Limpieza picnómetro	76
Figura 49.	Volumen del picnómetro	76
Figura 50.	Llenado del combustible en el picnómetro	76
Figura 51.	Secado del picnómetro	77
Figura 52.	Masar el picnómetro lleno de la emulsión	77
Figura 53.	Cálculo de la densidad.....	77
Figura 54.	Variación de densidad de las emulsiones	80
Figura 55.	Certificado de las pruebas de densidad	81
Figura 56.	Viscosímetro Cannon – Fenske Serie 100	82
Figura 57.	Viscosímetro limpio.....	82
Figura 58.	Sistema para mantener la temperatura estable.....	83
Figura 59.	Llenado del bulbo del viscosímetro	83
Figura 60.	Colocación de los tapones en el viscosímetro.....	83
Figura 61.	Colocación del viscosímetro en el soporte universal	84
Figura 62.	Tiempo de llenado del bulbo C.....	84
Figura 63.	Cálculo de la viscosidad de emulsiones.....	84
Figura 64.	Variación de la viscosidad de las emulsiones.	86
Figura 65.	Certificado de viscosidad de las emulsiones	87
Figura 66.	Componentes de la bomba calorimétrica	88
Figura 67.	Ácido Benzoico	88
Figura 68.	Masar la muestra de combustible.....	89
Figura 69.	Armado de la bomba de combustión.....	89
Figura 70.	Presurizar la bomba de combustión	89
Figura 71.	Colocación la bomba de combustión.....	89
Figura 72.	Llenar las camisas con agua destilada.....	90
Figura 73.	Colocación la tapa del calorímetro	90
Figura 74.	Activación del interruptor de combustión.....	90
Figura 75.	Visualización de la temperatura	90
Figura 76.	Despresurización y desarme de la bomba calorimétrica	91
Figura 77.	Verificación de la combustión.....	91
Figura 78.	Cálculo del poder calorífico.....	91
Figura 79.	Variación del poder calorífico de emulsiones	94
Figura 80.	Certificado del poder calorífico de las emulsiones.....	95
Figura 81.	Analizador de gases.....	96
Figura 82.	Contador de RPM	97
Figura 83.	Encerado sonda landa	97
Figura 84.	Test Continuo.....	97

Figura 85. Datos del vehículo	97
Figura 86. Motor en funcionamiento.....	98
Figura 87. Sonda lambda en escape del vehículo.....	98
Figura 88. Datos de prueba de emisiones a ralentí	98
Figura 89. Informe generado.....	98
Figura 90. Filtro.....	99
Figura 91. Emisiones de CO, CO ₂ Y O ₂ a 26 °C	100
Figura 92. Emisiones de NO y HC a 26 °C.....	100
Figura 93. Emisiones de CO, CO ₂ Y O ₂ a 60 °C	101
Figura 94. Emisiones de NO y HC a 60 °C.....	102
Figura 95. Emisiones de CO, CO ₂ Y O ₂ a 80 °C.....	103
Figura 96. Emisiones de NO y HC a 80 °C.....	103
Figura 97. Emisiones de CO, CO ₂ Y O ₂ a 750 rpm	104
Figura 98. Emisiones de NO y HC a 750 rpm	105
Figura 99. Emisiones de CO, CO ₂ Y O ₂ a 2000 rpm	106
Figura 100. Emisiones de NO y HC a 2000 rpm	106
Figura 101. Emisiones de CO, CO ₂ Y O ₂ a 3000 rpm	107
Figura 102. Emisiones de NO y HC a 3000 rpm	108
Figura 103. Opacímetro	109
Figura 104. Contador de RPM	109
Figura 105. Software de opacidad	109
Figura 106. Opacímetro calibrando.....	110
Figura 107. Camioneta y opacímetro	110
Figura 108. Sonda de opacímetro.....	110
Figura 109. Indicaciones del opacímetro.....	110
Figura 110. Informe generado de opacidad	111
Figura 111. Variación de opacidad.....	112
Figura 112. Zonas de termografía.....	113
Figura 113. Taípe en riel de combustible	113
Figura 114. Cámara termográfica	113
Figura 115. Luxómetro.....	114
Figura 116. Recubrimiento.....	114
Figura 117. Vehículo prendido	114
Figura 118. Visualización en la cámara termográfica	114
Figura 119. Smartview	115
Figura 120. Informe de Smartview	115
Figura 121. Variación de temperaturas en el riel.....	116
Figura 122. Variación de temperatura en inyector 1.....	117
Figura 123. Variación de temperaturas en inyector 2.....	118
Figura 124. Análisis termográfico en inyector 3.....	119
Figura 125. Variación de temperatura en inyector 4.....	120
Figura 126. Variación de temperatura del múltiple de escape	121
Figura 127. Variación de temperaturas del catalizador	122
Figura 128. Valor de surfactantes	125

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Densidad	52
Ecuación 2. Viscosidad	54
Ecuación 3. Porcentaje de tensoactivo emulsionante	66
Ecuación 4. Cálculo ácido oleico.....	67
Ecuación 5. Cálculo nonil fenol	67
Ecuación 6. Cálculo diésel emulsión 5% agua	68
Ecuación 7. Cálculo tensoactivo emulsión 5% agua	68
Ecuación 8. Cálculo tensoactivo estabilizante emulsión 5% agua.....	69
Ecuación 9. Cálculo agua emulsión 5% agua	69
Ecuación 10. Cálculo diésel emulsión 10% agua	70
Ecuación 11. Cálculo tensoactivo emulsión 10% agua	70
Ecuación 12. Cálculo tensoactivo estabilizante emulsión 10% agua.....	70
Ecuación 13. Cálculo agua emulsión 10% agua	71
Ecuación 14. Cálculo diésel emulsión 15% agua	71
Ecuación 15. Cálculo tensoactivo emulsión 15% agua	72
Ecuación 16. Cálculo tensoactivo estabilizante emulsión 15% agua.....	72
Ecuación 17. Cálculo agua emulsión 15% agua	72
Ecuación 18. Cálculo diésel emulsión 20% agua	73
Ecuación 19. Cálculo tensoactivo emulsión 20% agua	73
Ecuación 20. Cálculo tensoactivo estabilizante emulsión 20% agua.....	73
Ecuación 21. Cálculo agua emulsión 20% agua	74

RESUMEN

En esta investigación se realiza un análisis termográfico y de control de emisiones de gases en un motor MZR-D 2.5, funcionando con diésel comercial y emulsiones diésel – agua al 5%, 10%, 15% y 20% con el uso de surfactantes. Los combustibles de la investigación fueron sometidos a pruebas de laboratorio de densidad y viscosidad obteniendo un incremento mayor según el porcentaje de agua y de poder calorífico obteniendo un decrecimiento según el porcentaje de agua tenga el combustible. El control de emisiones de gases generó índices bajos de CO dentro de la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 2 207:2002. Las pruebas de opacidad con el uso de emulsiones fueron satisfactorias ya que ninguno pasó el límite que es de 15%. Las pruebas termográficas realizadas en el riel, inyectores, múltiple de escape y catalizador registraron que las emulsiones de combustible inciden en la temperatura del motor de igual forma mientras aumenta el porcentaje de agua de cada emulsión, los puntos en los que existe más variación de temperaturas es en el riel y en múltiple de escape siendo este último en las pruebas de aceleración a 2000 rpm y 3000 rpm. Se concluyó que el uso de emulsiones es factible como un biocombustible, pero su formulación es muy elevada debido a los surfactantes que usa.

PALABRAS CLAVE:

- **MOTORES DIÉSEL**
- **EMULSIÓN DE COMBUSTIBLES**
- **TENSOACTIVOS**
- **TERMOGRAFÍA**
- **EMISIONES DE GASES**

ABSTRACT

This research makes a thermographic analysis and emissions control for exhaust gases from a MZR-D 2.5 engine which uses commercial diesel and diesel-water emulsions at 5%, 10%, 15% and 20% with surfactants. The studied fuels were taken under density and viscosity tests in the laboratory, achieving higher values with higher water content; when it came to the heat content a decrease was observed as the water increases. The exhaust gas emissions control generated low values for CO within the Ecuadorian Technical Norm INEN 2 207:2002. Opacity tests for the emulsions were satisfactory as no sample went beyond the limit, 15%. Thermographic tests carried on the rail, injectors, escape manifold and catalyzer registered the emulsion incidence in the engine's temperature as the water content is higher; the points in which the temperatures vary the most are the rail and the escape manifold being this last one in the acceleration tests at 2000 rpm and 3000 rpm. It was concluded that the use of such emulsions is viable as a biofuel given that they don't change temperatures dramatically between fuels in the thermographically analyzed zones but their formulation is expensive due to the surfactants required when compared with commercially available diesel.

KEYWORDS:

- **DIESEL ENGINES**
- **FUEL EMULSION**
- **TENSOACTIVES**
- **THERMOGRAPHY**
- **GAS EMISSIONS**

CAPÍTULO I

Se especifica los antecedentes y el problema de la investigación para establecer la justificación e importancia del proyecto permitiendo desarrollar objetivos, para realizar el análisis termográfico y de emisiones para conocer la influencia de las emulsiones diésel – surfactantes del agua a diferentes proporciones en el motor MZR-D 2.5, aportando esta investigación para conocer la viabilidad del combustible alternativo.

1. Marco Metodológico de la Investigación

1.1. Antecedentes

En el campo automotriz se busca realizar la mayor parte de análisis e investigaciones posibles con el fin de solucionar problemas o brindar alguna información con la finalidad de proyectar un aporte de información en el área.

En los motores de combustión interna que funcionan con combustible diésel generan altas emisiones de gases combustionados contaminantes para lo cual se busca el desarrollo de combustibles alternativos y emulsiones del mismo.

El empleo tensoactivos en el combustible incide térmicamente en el motor por lo cual en la actualidad se emplean nuevas técnicas de medición como lo es la termografía, (Royo, 2012) alude: “En la cámara de combustión tienen lugar muchas reacciones químicas paralelas. La formación de NOx, CO y HC está directamente correlacionada con la temperatura” (p. 413).

(Lagüela, 2011) “La termografía es la técnica de producir una imagen de la radiación infrarroja que todos los cuerpos emiten debido a sus condiciones térmicas. Esta técnica tiene un desarrollo creciente, con una amplia variedad de aplicaciones, tales como inspección de edificios, tanto nuevas como históricas,

estructuras lineales, mantenimiento eléctrico y mecánico, energías renovables, el seguimiento de procesos, la medicina humana y veterinaria, y la detección de animales” (p. 308).

(Royo, 2012) manifiesta que: “La termografía por infrarrojos en comparación con otras técnicas de medición convencionales tales como termopares o termoresistencias, presenta la ventaja de proporcionar una respuesta instantánea sobre la variación de temperatura del elemento en estudio” (p. 413).

Existen equipos para las mediciones térmicas de equipos o máquinas de manera rápida y precisa como la cámara termográfica, (Flores, 2014) señala: “Una cámara termográfica detecta la energía radiante sobre un rango de longitudes de onda emitido por el objeto de interés y mediante la ley de radiación de Planck relaciona esta energía con la temperatura del objeto y transforma la radiometría medida en un color visible o una imagen gris” (p. 92).

El motor diésel emite altas concentraciones de NO_x, PM y CO en los gases resultantes de su combustión. El uso de emulsión agua en diésel como sustituto diésel ha impuesto un interés significativo debido a sus beneficios para el rendimiento del motor y las emisiones de escape beneficiando de esta manera al medio ambiente.

Según (Baskar, 2016), las emulsiones de diésel reducen las partículas de NO_x ya que tiene influencia en la reducción de temperatura en el punto de inflamación en el ciclo diésel.

(Nadeem, 2006) menciona que la comparación realizada en banco de pruebas diésel (motor FORD, XLD 418), de la concentración de NO_x que se emite del escape del motor usando diésel puro y combustibles emulsionados con 15 % de agua con el uso de surfactantes convencionales a un régimen de 1000 rpm tiene una variación de 50 ppm, a 3000 rpm ya hay una diferencia de 100 ppm y a 5000 rpm existe una nueva reducción considerable de 250 ppm que representa al 35,7 % ppm de disminución de NO_x. En cambio, con la emulsión

de combustible - agua al 10 y 5 % se tiene una reducción de 21,42 y 7,14 % de ppm de NOx respectivamente siendo la combustión del 15 % de agua el más óptimo.

La investigación realizada por (Pucuji, 2016) expresa que los gases emitidos por la combustión de la emulsión de diésel – agua al 5,10,15 y 20% en un banco de pruebas PLINT TE-16 dió como resultado que la emulsión con 5 % de agua desprende menor cantidad de NOx con 184,5 ppm.

El nivel de gases contaminantes generados por el diésel y por las emulsiones de combustible, estableciendo que todas las emulsiones generan menor cantidad de NOx, la emulsión diésel con el 5% de agua emite menor cantidad de NOx siendo de 184.5 ppm, frente a 472 ppm, emitidas por el diésel neto, ambas mediciones realizadas a la potencia máxima alcanzada por la prueba.

(Nur, 2016) indica que la emulsión de Diésel Euro 2 (EDE2) compuestas con un porcentaje de agua del 6,5% mostraron mejora en el consumo de combustible del motor en un 7,39% con respecto al Diésel Euro (DE5) en el vehículo Isuzu NHR; la temperatura de escape de la emulsión EDE2 muestra una temperatura más baja en comparación con los dos diésel DE5 y Diésel Euro 2 (DE2); el NOx de las emisiones de la emulsión EDE2 no fueron inferiores a DE5; sin embargo, las emisiones de NOx del EDE2 se observaron significativamente menor que su base diésel, DE2 con una diferencia de 23%.

(Nadeem, 2006), en su investigación también cita que la reducción de PM por el motor usando diésel puro y combustibles emulsionados, se pudo verificar que el PM más bajo fue producido por el motor cuando fue operado usando combustible emulsionado que contenía 15% de contenido de agua con GS seguido por el combustible emulsionado con 15% de contenido de agua con CS, respectivamente. El gasóleo puro produjo 0,033 g / h de PM, siendo como 0,0204, 0,0190, 0,015, 0,012 y 0,0105, 0,0095 g / h para combustible emulsionado que contiene 5%, 10%, 15% de agua con CS y GS, respectivamente.

1.2. Planteamiento del problema

La contaminación ambiental mundial se incrementa a medida que del crecimiento del parque automotor producido por la transportación especialmente de vehículos de encendido por compresión, industrias entre otros; los gases producidos por los procesos de combustión interna ineficientes y la baja calidad de combustibles, especialmente el diésel contribuye de manera significativa a la degradación ambiental, efectos como el calentamiento global y enfermedades respiratorias.

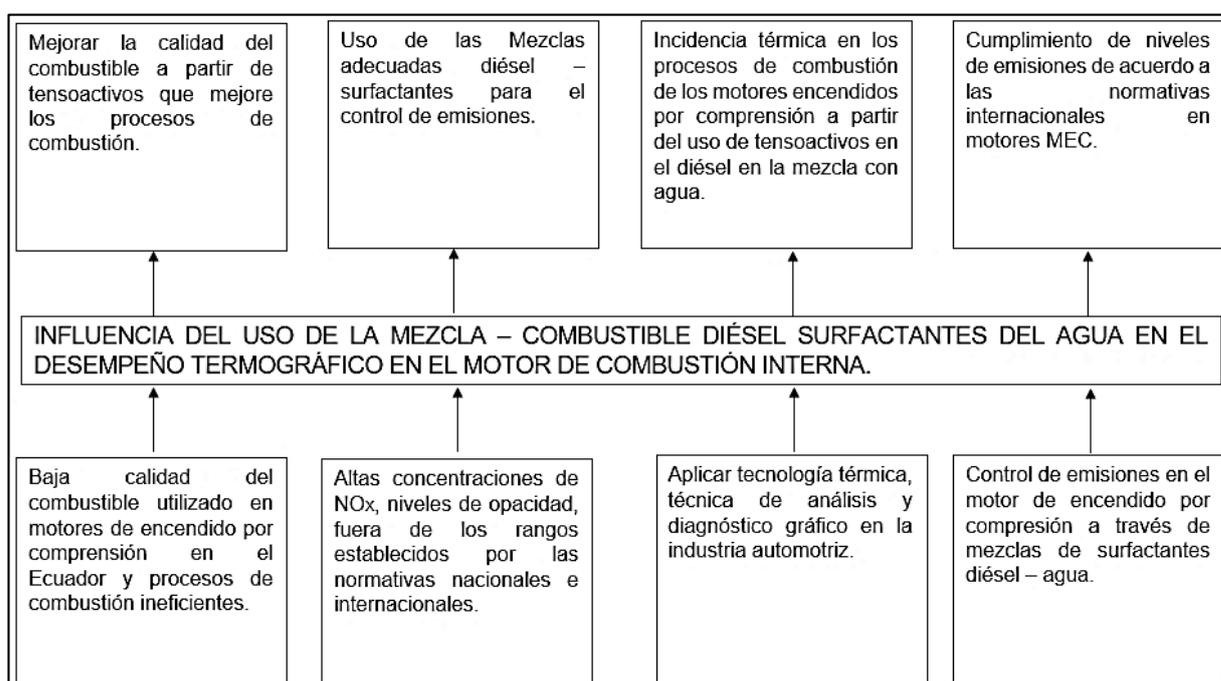


Figura 1. Árbol de planteamiento del problema

La investigación se fundamenta con el fin de obtener un diésel - surfactante ideal para usarlo en un motor de combustión interna MEC que disminuya los niveles de emisiones especialmente direccionado a los óxidos nitrosos y opacidad; determinando la relación térmica en la combustión del motor MZR-D 2.5.

El uso de tensoactivos en mezclas diésel – agua para solventar una problemática nacional; en relación a la baja calidad del combustible diésel, y de cómo esto afecta a la combustión de este tipo de motores y por ende a la emisión de gases efecto invernadero determinado por normativas nacionales e internacionales que cumplan con los niveles permisibles de emisiones de CO, CO₂, NO_x, HC y opacidad permitidas.

Un agente constante de la problemática ambiental generada por los automotores de combustión interna por compresión es las emisiones de NO_x y los niveles de opacidad; de tal manera que es menester de la industria y centros de capacitación e investigaciones en la rama automotriz realizar estudios e investigaciones para mejorar la calidad del diésel de tal forma de contrarrestar la producción de estos agentes contaminantes, en tal virtud la investigación busca una mezcla y proporción óptima diésel – surfactante que sea capaz de generar resultados ambientales en pro de la disminución de agentes post combustión que inciden negativamente en la atmósfera.

La tecnología automotriz es esencial para el desarrollo de esta industria, por lo que el análisis y diagnóstico térmico se obtuvo datos termográficos de los procesos de combustión de los motores encendidos por compresión a partir de la emulsión del diésel con la presencia de tensoactivos bajo la normativa de la Euro V e NTE INEN dentro de sus campos de aplicación.

1.3. Descripción del Proyecto

La investigación "Análisis termográfico y control de emisiones de la mezcla combustible diésel – surfactantes del agua en el motor MZR-D 2.5" se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

Se recopiló información bibliográfica que sustente el desarrollo de la investigación en relación al uso de los tensoactivos en mezclas diésel – agua en diferentes proporciones considerando su procedencia considerando únicamente fuentes confiables como son base de datos digitales (Science Direct, Springer, Ebook library), textos, tesis, manuales, fichas técnicas, normas.

Posteriormente se elaboró mezclas diésel – surfactante, considerando como agente químico al Nonil Fenol, Ácido Oleico, Kolliphor EL, con emulsiones al 5%, 10%, 15% y 20%.

Consecuentemente se realizaron pruebas de densidad, viscosidad y poder calorífico de cada emulsión realizada en el laboratorio de corrosión perteneciente a la carrera de petroquímica de la universidad.

Se realizó el análisis termográfico con el uso de diésel comercial y emulsiones diésel - agua a las proporciones ya mencionadas con el uso de tensoactivos en el riel de combustible, los inyectores, múltiple de escape y catalizador, obteniendo diferentes puntos de temperatura que se presentan mediante gráficas emitidas de la cámara termográfica.

A continuación, se efectuó pruebas de emisiones de gases CO, CO₂, HC, O₂, NO_x y opacidad de cada emulsión con Nonil Fenol, Ácido Oleico, Kolliphor EL, con proporciones del 05%, 10%, 15% y 20% como mezclas tensoactivas.

Se procedió a tabular y comparar los resultados obtenidos en las pruebas termográficas de los diferentes puntos de influencia de las mezclas realizadas en cada punto a partir de las gráficas y datos emitidos en las pruebas.

De las muestras se analizó los resultados obtenidos según los datos generados por las diferentes pruebas termográficas y emisiones en función de las normativas de la NTE INEN 2 207:2002 y EURO 5 mediante pruebas de aceleración libre, test continuo que ayuden a determinar la incidencia de las mezclas combustible diésel – surfactantes del agua en el control de emisiones del motor MZR-D 2.5.

1.4. Justificación e importancia

El Plan Nacional del buen Vivir en el Objetivo 11, que menciona sobre “ASEGURAR LA SOBERANÍA Y EFICIENCIA DE LOS SECTORES ESTRATÉGICOS PARA LA TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL Y TECNOLÓGICA” en el artículo 11.1 literal j que indica: “Generar alternativas, fortalecer la planificación e implementar regulación al uso energético en el transporte, los hogares y las industrias, para modificar los patrones de consumo energético, con criterios de eficiencia y sustentabilidad”, por lo que sugiere buscar comburentes alternos que tengan beneficios ya sea económicos, sociales o ambientales.

Por otra parte, en la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 207:2002 (Primera Revisión), indica sobre la GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE DIÉSEL., que registrará parámetros de emisiones contaminantes provocados por motores de encendido por compresión que circulan en nuestro país.

El área automotriz necesita la constante actualización tecnológica, por lo que en esta investigación se ocupó la cámara termográfica infrarroja capaz de realizar diagnóstico y análisis térmico de los diferentes elementos que están involucrados en la combustión de un motor de encendido por compresión.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Realizar el análisis termográfico de las mezclas combustible diésel – surfactantes del agua y control de emisiones en el motor MZR-D 2.5.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información bibliográfica que sustente el desarrollo de la investigación en relación al uso de los tensoactivos en mezclas diésel – agua y termografía en el área industrial.
- Preparar las mezclas diésel – surfactante, con Nonil Fenol, Ácido Oleico, Kolliphor EL, con emulsiones al 5%, 10%, 15% y 20%.
- Efectuar las pruebas de densidad, viscosidad y poder calorífico de las emulsiones de combustibles obtenidos.
- Desarrollar las pruebas termográficas usando diésel puro en el riel de combustible, inyectores, múltiple de escape y catalizador.
- Realizar pruebas termográficas con el uso de las mezclas diésel – agua a las proporciones mencionadas en los puntos de influencia del combustible, en el riel de combustible, inyectores, múltiple de escape y catalizador.
- Generar las pruebas de emisiones de gases y opacidad con diésel puro y con las emulsiones realizadas.
- Tabular y comparar los resultados obtenidos en las pruebas termográficas de los diferentes puntos de influencia de las mezclas realizadas en cada punto a partir de las gráficas y datos emitidos en las pruebas.
- Analizar los datos generados considerando una relación temperatura y emisiones con las normativas de la NTE INEN 2 207:2002 y EURO 5 en pruebas de aceleración libre y test continuo.
- Determinar la incidencia térmica de las mezclas combustible diésel – surfactantes del agua en el control de emisiones del motor MZR-D 2.5.

1.6. Metas

- Realizar mezclas diésel – surfactante agua con agentes químicos Nonil Fenol, Ácido Oleico, Kolliphor EL, con emulsiones al 5%, 10%, 15% y 20%.
- Efectuar el análisis termográfico de las temperaturas generadas en el riel de combustible, inyectores, múltiple de escape y catalizador del motor MZR – D 2.5 por la cámara termográfica, mediante el uso del Software SmartView.
- Generar las pruebas de emisiones de gases y opacidad en el motor MZR – D 2.5 de cada emulsión con agentes tensoactivos a distintas proporciones.
- Determinar la incidencia de cada mezcla en el motor mediante las pruebas termográfica generadas y cual favorece más a la vida útil del mismo.

1.7. Hipótesis

- El uso de las mezclas combustible diésel – surfactantes del agua en el motor MZR-D 2.5 no cambiara más del 25% de variación de temperatura según los análisis termográficos realizados.

1.8. Variables de la investigación

1.8.1. Variable independiente

Mezcla diésel – surfactante

1.8.2. Variable dependiente

Parámetros termográficos y niveles emisiones

1.8.3. Operacionalización de las variables

a. Variable independiente

Tabla 1.

Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Emulsión para estabilizar el agua u otra sustancia no miscible en el diésel, con el uso de agentes tensoactivos.	Emulsión	Diésel – agua a proporción al 5% y surfactantes (Nonil Fenol - Ácido Oleico - Kolliphor EL)	Kg %	Cálculos Medición	Pruebas de Laboratorio Ensayo
	Emulsión	Diésel – agua a proporción al 10% y surfactantes (Nonil Fenol - Ácido Oleico - Kolliphor EL)	Kg %	Cálculos Medición	Pruebas de Laboratorio Ensayo
	Emulsión	Diésel – agua a proporción al 15% y surfactantes (Nonil Fenol - Ácido Oleico - Kolliphor EL)	Kg %	Cálculos Medición	Pruebas de Laboratorio Ensayo
	Emulsión	Diésel – agua a proporción al 20% y surfactantes (Nonil Fenol - Ácido Oleico - Kolliphor EL)	Kg %	Cálculos Medición	Pruebas de Laboratorio Ensayo

b. Variable dependiente

Tabla 2.

Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Variaciones registradas a partir de una técnica que permite registrar gráficamente las temperatura de distintas zonas	Termografía riel de inyectores	Análisis gráfico y dinámico de temperatura	°C	Medición y animación	Pruebas de Laboratorio Ensayo
	Termografía en inyectores	Análisis gráfico y dinámico de temperatura	°C	Medición y animación	Pruebas de Laboratorio Ensayo
	Termografía múltiple de escape	Análisis gráfico y dinámico de temperatura	°C	Medición y animación	Pruebas de Laboratorio Ensayo
	Termografía catalizador	Análisis gráfico y dinámico de temperatura	°C	Medición y animación	Pruebas de Laboratorio Ensayo
Agentes contaminantes producido por los procesos de combustión interna de los motores de vehículos.	Niveles de contaminación, emisión de gases contaminantes	NOx	PpmVol	Medición Cálculo	Pruebas de Laboratorio Ensayo
		HC	PpmVol	Medición Cálculo	Pruebas de Laboratorio Ensayo
		CO	%Vol	Medición Cálculo	Pruebas de Laboratorio Ensayo
		CO ₂	%Vol	Medición Cálculo	Pruebas de Laboratorio Ensayo
		Lambda	Λ	Medición Cálculo	Pruebas de Laboratorio Ensayo
		O ₂	%Vol	Medición Cálculo	Pruebas de Laboratorio Ensayo
		Régimen	RPM	Medición	Pruebas de Laboratorio
		Temperatura	°C	Medición Cálculo	Pruebas de Laboratorio Ensayo
		Opacidad	%	Medición Cálculo	Pruebas de Laboratorio Ensayo

1.9. Metodología de desarrollo del proyecto

1.9.1. Método de análisis de contenido

La investigación se realizó seleccionando información por examinación de su contenido y su fuente de información obtenidas de diferentes fuentes de bibliografía como: base de datos digitales (Science Direct, Springer, Ebook library), libros, revistas, investigaciones, artículos, normas, manuales, para el desarrollo del estudio.

1.9.2. Método deductivo:

El proyecto de investigación permitió generar datos termográficos y de emisiones de gases en un motor de combustión interna MZR-D producto de la combustión de emulsiones diésel - agua al 5%,10% ,15% y 20% generando variaciones de temperatura producidas en el riel de combustible, inyectores, múltiple de escape y catalizador por una cámara termográfica y verificar el comportamiento de las emisiones de HC, CO, CO₂, O₂, NO_x y opacidad.

1.9.3. Método inductivo

En el desarrollo de la investigación se empleó emulsiones de diésel - agua a diferentes proporciones para generar datos técnicos sobre propiedades del combustible con la finalidad que cumplan con los rangos establecidos según normativas para que cuando entren en funcionamiento en el motor de combustión interna lograr disminuir las emisiones contaminantes generadas por el diésel comercial.

1.9.4. Método experimental

Este método se empleó para el estudio con las mezclas diésel – surfactantes del agua al 5%,10%,15% y 20%, para generar mediciones termográficas mediante la cámara infrarroja Fluke TIS60, la incidencia en el control de

emisiones con el analizador de gases Brain Bee AGS-680 y opacímetro Cartek que proporcionaran los parámetros característicos ideales del motor MZR-D 2.5

1.9.5. Método de observación directa

El uso de instrumentos como: balanzas, termómetros, viscosímetros entre otros aparatos en los cuales se necesitó excelente apreciación en el campo en el que se desarrolló el experimento para la recolección de datos sobre todo en el análisis de variación de temperatura por imágenes con ayuda de la cámara termográfica Fluke TIS60 usando las emulsiones diésel – agua en el motor MZR-D 2.5.

1.9.6. Método de medición

El método de medición se interpretó el cambio generado en el riel de combustible, inyectores, múltiple de escape y catalizador. Se determinó las unidades a la que se manejan los datos, tomando en cuenta las escalas de los equipos con los que se realizó las diferentes pruebas.

1.9.7. Método de matematización

Se utilizó este método para generar el análisis estadístico con los resultados de la investigación, para justificar los cambios temperatura y las concentraciones de HC, O₂, NO_x, CO, CO₂ y opacidad según las emulsiones en sus distintas proporciones de forma científica analítica.

1.9.8. Método analítico

Se utilizó en el análisis de la incidencia térmica en la riel de combustible, inyectores, múltiple de escape y catalizador, los resultados tomando en cuenta los datos obtenidos en las pruebas, utilizando métodos como el de Beer-Lambert para la opacidad, para interpretar las pruebas realizadas y comparar las hipótesis planteadas de la investigación.

1.9.9. Método comparativo

En la investigación los resultados de las características de las emulsiones y de las emisiones de gases contaminantes usando la mezcla de diésel – agua al 5%,10%,15% y 20% con tensoactivos, se comparó con las normas INEN NTE 2 207:2002, INEN NTE 2482 y EURO 4 para su cumplimiento obligatorio.

1.9.10. Método síntesis

En la investigación se realizó emulsiones diésel – agua con tensoactivos, para ser combustionados en un motor MZR-D 2.5, para el análisis termográfico en el riel de combustible, inyectores, múltiple de escape y catalizador y el control de emisiones HC, CO₂, O₂, NO_x, HC y opacidad.

Tabla 3.

Metodología de desarrollo del proyecto

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Método de Análisis de Contenido	La investigación se realizó seleccionando información por examinación de su contenido y su fuente de información obtenidas de diferentes fuentes de bibliografía como: base de datos digitales (Science Direct, Springer, Ebook library), libros, revistas, investigaciones, artículos, normas, manuales, para el desarrollo del estudio.	Computadora portátil. <ul style="list-style-type: none"> • Bases digitales • Repositorio digital • Biblioteca digital 	<ul style="list-style-type: none"> • Autotrónica • Motores • Mecánica de patio

CONTINÚA



Deductivo	El proyecto de investigación permitió generar datos termográficos y de emisiones de gases en un motor de combustión interna MZR-D producto de la combustión de emulsiones diésel - agua al 5%, 10% ,15% y 20% generando variaciones de temperatura producidas en el riel de combustible, inyectores, múltiple de escape y catalizador por una cámara termográfica y verificar el comportamiento de las emisiones de HC, CO, CO ₂ , O ₂ , NO _x y opacidad.	Computadora portátil. <ul style="list-style-type: none"> • Flukeconection • Osciloscopio automotriz. • Multímetro automotriz. • Escanner automotriz • Analizador de gases Brain Bee Sp AGS-688 • Opacímetro CARTEK • Cámara 	<ul style="list-style-type: none"> • Autotrónica • Motores • Mecánica de patio
Inductivo	En el desarrollo de la investigación se empleó emulsiones de diésel - agua a diferentes proporciones para generar datos técnicos sobre propiedades del combustible con la finalidad que cumplan con los rangos establecidos según normativas para que cuando entren en funcionamiento en el motor de combustión interna lograr disminuir las emisiones contaminantes generadas por el diésel comercial.	termográfica Fluke TIS60 <ul style="list-style-type: none"> • Motor MZR-D 2.5 • Balanza. • Termómetro • Viscosímetros • Normas INEN Y EURO 	<ul style="list-style-type: none"> • Autotrónica • Motores • Mecánica de patio • Laboratorio Petroquímica
Experimental	Este método se empleó para el estudio con las mezclas diésel – surfactantes del agua al 5%,10%,15% y 20%, para generar mediciones termográficas mediante la cámara infrarroja Fluke TIS60, la incidencia en el control de emisiones con el analizador de gases Brain Bee AGS-680 y opacímetro Cartek que proporcionaran los parámetros característicos ideales del motor MZR-D 2.5		<ul style="list-style-type: none"> • Autotrónica • Motores • Mecánica de patio • Laboratorio Petroquímica

CONTINÚA



Observación directa	El uso de instrumentos como: balanzas, termómetros, viscosímetros entre otros aparatos en los cuales se necesitó excelente apreciación en el campo en el que se desarrolló el experimento para la recolección de datos sobre todo en el análisis de variación de temperatura por imágenes con ayuda de la cámara termográfica Fluke TIS60 usando las emulsiones diésel – agua en el motor MZR-D 2.5.	<ul style="list-style-type: none"> • Autotrónica • Motores • Mecánica de patio • Laboratorio Petroquímica
Medición	El método de medición se interpretó el cambio generado en el riel de combustible, inyectores, múltiple de escape y catalizador. Se determinó las unidades a la que se manejan los datos, tomando en cuenta las escalas de los equipos con los que se realizó las diferentes pruebas.	<ul style="list-style-type: none"> • Autotrónica • Motores • Mecánica de patio • Laboratorio Petroquímica •
Matematización	Se utilizó este método para generar un estudio estadístico con los resultados de la investigación, para justificar los cambios temperatura y las concentraciones de HC, O ₂ , NO _x , CO, CO ₂ y opacidad según las emulsiones en sus distintas proporciones de forma científica analítica.	<ul style="list-style-type: none"> • Autotrónica • Motores • Mecánica de patio
Analítico	Se utilizó en el análisis de la incidencia térmica en la riel de combustible, inyectores, múltiple de escape y catalizador, los resultados tomando en cuenta los datos obtenidos en las pruebas, utilizando métodos como el de Beer-Lambert para la opacidad, para interpretar las pruebas realizadas y comparar las hipótesis planteadas de la investigación.	<ul style="list-style-type: none"> • Autotrónica • Motores • Mecánica de patio

CONTINÚA



Comparativo	En la investigación los resultados de las características de las emulsiones y de las emisiones de gases contaminantes usando la mezcla de diésel – agua al 5%,10%,15% y 20% con tensoactivos, se comparó con las normas INEN NTE 2 207:2002, INEN NTE 2482 y EURO 4 para su cumplimiento obligatorio.	<ul style="list-style-type: none">• Autotrónica• Motores• Mecánica de patio
Síntesis	En la investigación se realizó emulsiones diésel – agua con tensoactivos, para ser combustionados en un motor MZR-D 2.5, para el análisis termográfico en el riel de combustible, inyectores, múltiple de escape y catalizador y el control de emisiones HC, CO ₂ , O ₂ , NO _x , HC y opacidad.	<ul style="list-style-type: none">• Autotrónica• Motores• Mecánica de patio

CAPÍTULO II

Se recopila la investigación bibliográfica de fuentes confiables como son base de datos digitales (Science Direct, Springer, Ebook Library), tesis, libros, manuales, artículos científicos, revistas de investigación, páginas web, fichas técnicas, normas, entre otros, para sustentar la formulación de las emulsiones diésel - agua a las diferentes proporciones.

2. Marco teórico

2.1. Motor diésel

2.1.1. Combustión en los motores diésel

(Secundino, 2009)“Los motores diésel, al igual que los de explosión, son motores alternativos endotérmicos de combustión interna, es decir, transforman la energía en el interior del cilindro” (p. 76).

2.1.2. Principio de funcionamiento del motor diésel

Las fases de un motor de ciclo diésel según (Secundino, 2009) “difieren de las de un motor de ciclo Otto exclusivamente en la admisión de aire en lugar de la mezcla de aire-combustible y por la inyección de combustible entran por separado en el cilindro” (p. 76).

[ETAI, 2000], “la principal característica de un motor diésel es la obtención de un mayor rendimiento al del motor de gasolina, empleando para ello un combustible más pesado y relación volumétrica de compresión mucha más elevada.” (p. 224).

2.2. Ciclo termodinámico

Según (Carreras, 2005) indica que:

Los motores térmicos transforman un flujo de calor en trabajo mediante una serie de procesos termodinámicos que realizan de forma continuada sobre un fluido motor. En conjunto esos procesos forman un ciclo termodinámico. Un ciclo termodinámico es una evolución cíclica de procesos termodinámicos que evolucionan dentro de un intervalo de temperaturas.

El ciclo termodinámico de rendimiento máximo es el ciclo de Carnot, cuyo rendimiento únicamente depende de la temperatura máxima y mínima que asume el fluido motor. Este ciclo, de difícil implementación tecnológica, es considerado como el ciclo de referencia para la transformación máximo de flujo de calor en trabajo, definiéndose a partir de él el concepto de energía, determinando el límite máximo de rendimiento que se puede alcanzar mediante un ciclo termodinámico. (p.39)

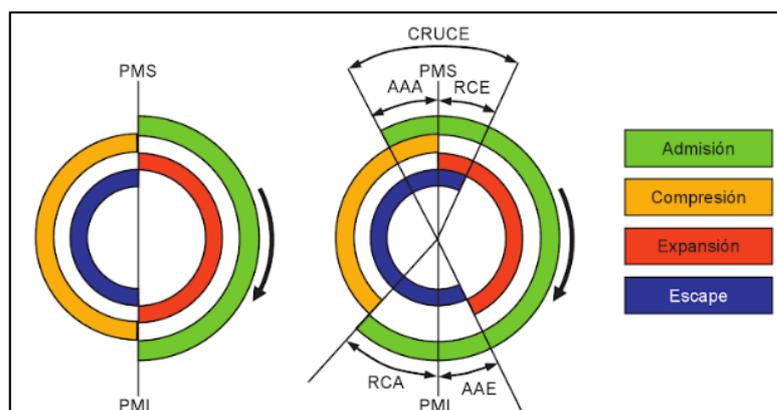


Figura 2. Diagrama de distribución real de un motor Otto de cuatro tiempos, a la izquierda el teórico y a la derecha el real

Fuente: (González, 2015)

2.2.1. Ciclo diésel teórico

(González, 2015), manifiesta que: El ciclo teórico de un motor diésel de cuatro tiempos es básicamente el mismo que el de un motor Otto, a diferencia de los siguientes puntos:

- Durante la admisión, el motor solo admite aire
- Dado que su relación de compresión es mayor, las presiones y temperaturas al final de las fases de compresión y combustión serán mayores
- La fase de combustión es diferente

Atendiendo la fase de combustión, se pueden distinguir dos diagramas teóricos. El primero está más próximo al funcionamiento de los motores diésel lentos, aunque es un ciclo ideal, y desarrolla la fase de combustión a presión constante. El segundo es un ciclo teórico que se aproxima más al funcionamiento de los motores diésel rápidos empleados en automoción y su fase de combustión evoluciona en dos partes, una primera a volumen constante y una segunda a presión constante. Este último ciclo se considera también ideal.

Los cuatro tiempos necesarios para hacer el ciclo diésel lento teórico de cuatro tiempos con fase de combustión a presión constante son los siguientes:

Primer tiempo o fase de admisión (1-2): el desarrollo de este tiempo tiene lugar de la misma forma que en los motores de encendido provocado, salvo que solo se admite aire en lugar de mezcla de combustible y aire.

Segundo tiempo o fase de compresión (2-3): al igual que en los motores de gasolina convencionales, esta transformación se considera adiabática, isotrópica y reversible, pero ahora se comprime únicamente aire y la relación de compresión es mayor.

Tercer tiempo o fase de combustión y expansión (3-4-5): es en este momento donde se encuentra la mayor diferencia de funcionamiento con un motor de ciclo Otto. Una vez el pistón ha llegado al PMS al final de la carrera de compresión, el aire está a una temperatura muy alta (por encima de los 500° C) y justo en ese momento comienza la inyección del combustible se autoinflama en contacto con el aire en esas condiciones, pero la inyección no acaba ahí, sino que se sigue

inyectando combustible durante un periodo de la carrera de expansión, lo cual, tanto la inyección no acaba ahí, sino que sigue inyectando, el combustible durante un periodo de la carrera de expansión.

Cuarto tiempo o fase de escape (5-2-1): el proceso de escape ocurre de la misma manera que los motores de gasolina. (p. 18-20)

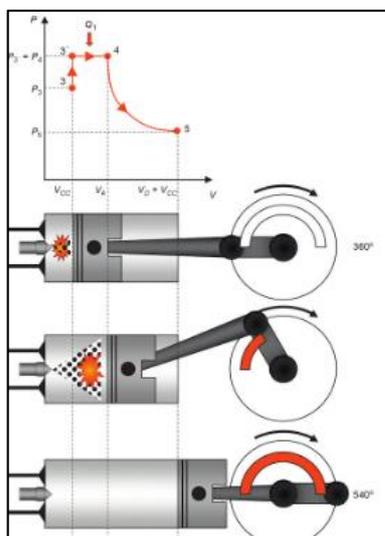


Figura 3. Fase de combustión y expansión en el ciclo teórico de un motor diésel

Fuente: (Gonzáles, 2015)

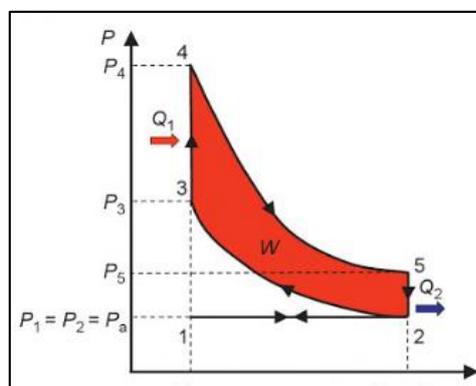


Figura 4. Diagrama ciclo teórico Diésel

Fuente: (Gonzáles, 2015)

2.2.2. Ciclo real

(González, 2015), declara que: Las transformaciones reales que se dan en un motor diésel de cuatro tiempos son similares a las de los motores de ciclo Otto. De hecho, el aspecto del diagrama P-V es similar, exceptuando las presiones al final de la compresión, que son mayores en el caso de los motores diésel.

Las diferencias fundamentales se encuentran en la fase de combustión y en el avance del encendido, que es sustituido por el avance de la inyección, en el caso de los motores diésel. (p. 25)

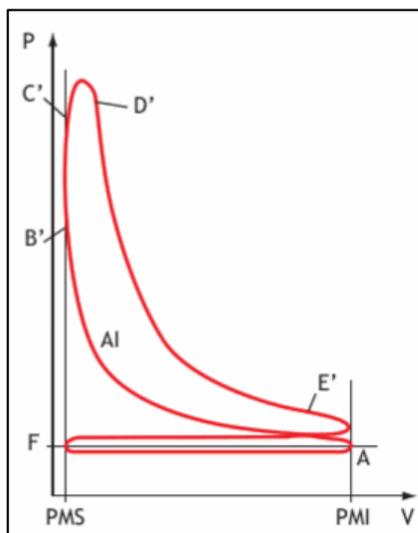


Figura 5. Ciclo real

Fuente: (Secundino, 2009)

2.3. Sistema de alimentación de motores diésel

El sistema de alimentación traslada el combustible del depósito a los inyectores a una alta presión por el cual se divide en dos partes, el de baja presión y alta presión.

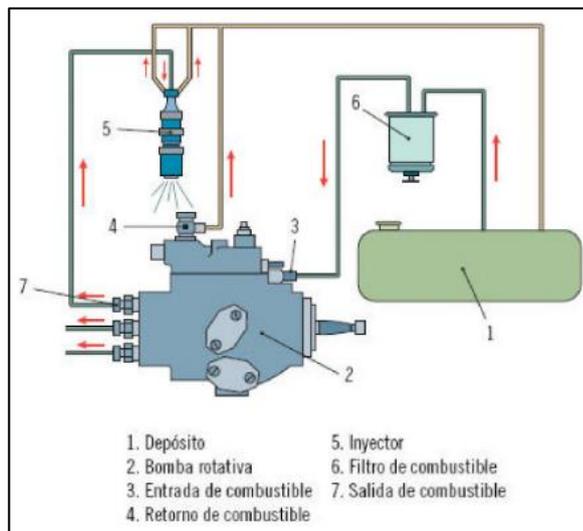


Figura 6. Partes del sistema de inyección por bomba rotativa

Fuente: (Secundino, 2009)

2.3.1. Sistema de alimentación common rail

(Pérez, 2017), menciona que: “Su estructura de funcionamiento es similar a la de un sistema de inyección electrónica de gasolina, puesto que el control de los tiempos de apertura de los inyectores influye, aunque en menor medida, en la dosificación” (p. 236).

a. Características de la inyección common rail

El libro de Sistema de inyección Diésel por acumulador Common Rail (Bosch, 2005) menciona que es el sistema Common Rail ofrece una elevada flexibilidad en lo relativo a la adaptación de la inyección al motor: esto se consigue mediante:

- Elevada presión de inyección de hasta aprox. 1600 bares, en el futuro hasta 1800 bares.
- Presión de inyección adaptada al estado de servicio (200 a 1800 bares).
- Comienzo variable de la inyección.
- Posibilidad de efectuar varias inyecciones previas y posteriores (pueden efectuarse incluso postinyecciones muy retardadas).

El sistema Common Rail contribuye a incrementar la potencia específica y a reducir el consumo de combustible, la emisión de ruidos y la expulsión de sustancias nocivas de los motores Diésel.

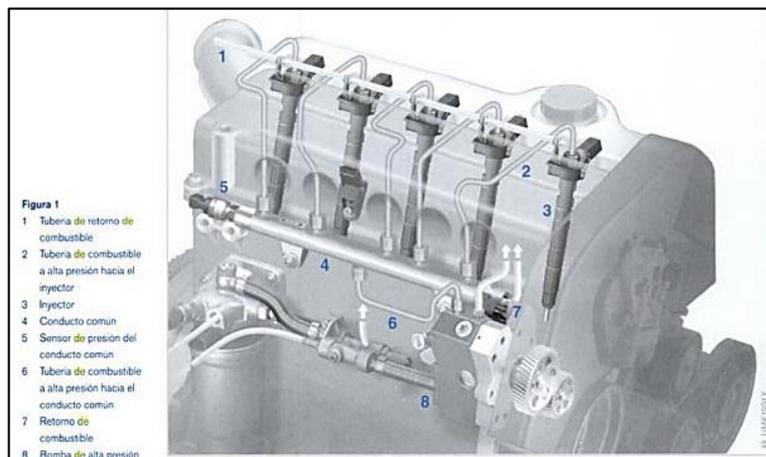


Figura 7. Sistema de inyección common rail

Fuente: (Bosch, 2005)

b. Funcionamiento

(**Bosch, Manual de la Técnica del Automóvil, 2005**), asegura que: El sistema de inyección Diésel common rail (CRDi) o también conocido como riel o conducto común, es un sistema de inyección de alta presión de mando electrónico, capaz de generar volumen y presión; de acuerdo a los diferentes regímenes de trabajo; almacenado la alta presión de inyección en el riel.

En este tipo de sistemas, se obtiene uno o dos inyectores piloto (para reducir el ruido de la combustión), una principal (para aportar la potencia) y una post inyección (que permite reducir la contaminación), por lo tanto, el sistema de alimentación CRDi tiene inyecciones múltiples. El esquema general del sistema Common Rail puede apreciarse en la figura 8.

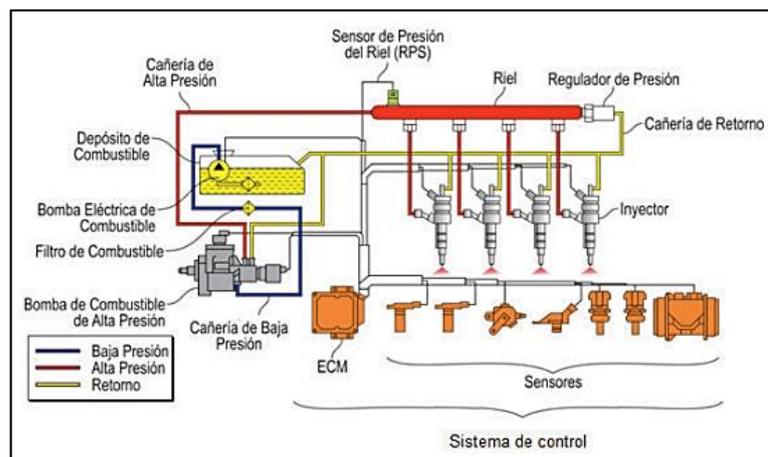


Figura 8. Sistema common rail Bosch

Fuente: (Bosch, Manual de la Técnica del Automóvil, 2005)

2.3.2. Sistema de control electrónico

Es el encargado de variar la presión y cantidad de combustible inyectado a los cilindros; mediante la gestión de la unidad de control, los diferentes sensores y actuadores del motor.

a. La unidad de control del motor (ECM)

Procesa las señales eléctricas de entrada conforme a determinados procesos de cálculo matemáticos, para ser enviados a los actuadores.

La ECM es la encargada de ajustar la mezcla aire-combustible lo más cerca posible a la relación teórica para minimizar las emisiones nocivas durante el funcionamiento del motor.

b. Sensores

Transforman diversas magnitudes físicas en señales eléctricas para enviarlas a la unidad de control.

Los sensores del motor; mostrados en la figura 6 Son:

- Sensor de posición del cigüeñal (CKP)
- Sensor de posición del árbol de levas (CMP)
- Sensor de posición del pedal del acelerador (APS)
- Sensor de presión de sobrealimentación (BPS)
- Sensor de temperatura del aire (IAT)
- Sensor de temperatura del refrigerante (ECT)
- Sensor de temperatura de combustible (FTS)
- Sensor de la masa del aire (MAF)
- Sensor de presión en el riel (RPS)

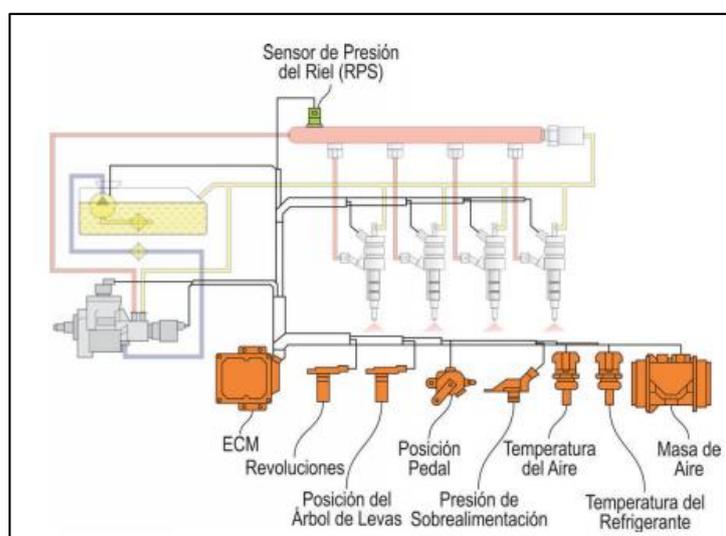


Figura 9. Unidad de mando y sensores del sistema CRDi

Fuente: (Bosch, Manual de la Técnica del Automóvil, 2005)

c. Actuadores

Transforman las señales eléctricas de salida de la ECM en magnitudes mecánicas, permitiendo proporcionar y sincronizar la cantidad óptima de combustible mediante la inyección de acuerdo a las señales recibidas de la unidad de control.

Los actuadores del motor mostrados en la figura 7 son:

- Bomba eléctrica de combustible (EFP)
- Válvula reguladora de presión de combustible (PRV)
- Válvula de control de turbo
- Válvula de recirculación de gases de escape (EGR)
- Inyectores (IJ)
- Bujías de precalentamiento.
- Electroventiladores.

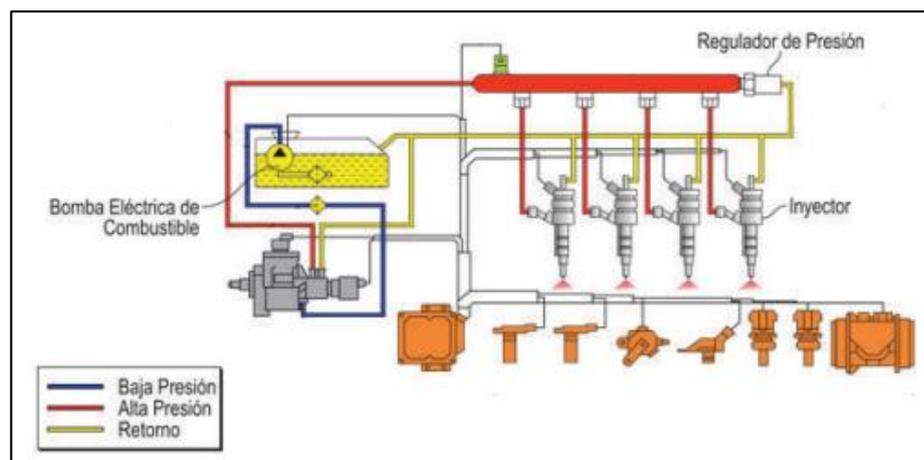


Figura 10. Actuadores del sistema CRDi

Fuente: (Bosch, Manual de la Técnica del Automóvil, 2005)

d. Partes del sistema de alimentación common rail

El sistema de alimentación de combustible common rail se divide en dos partes:

- a. Circuito de Baja Presión
- b. Circuito de Alta Presión

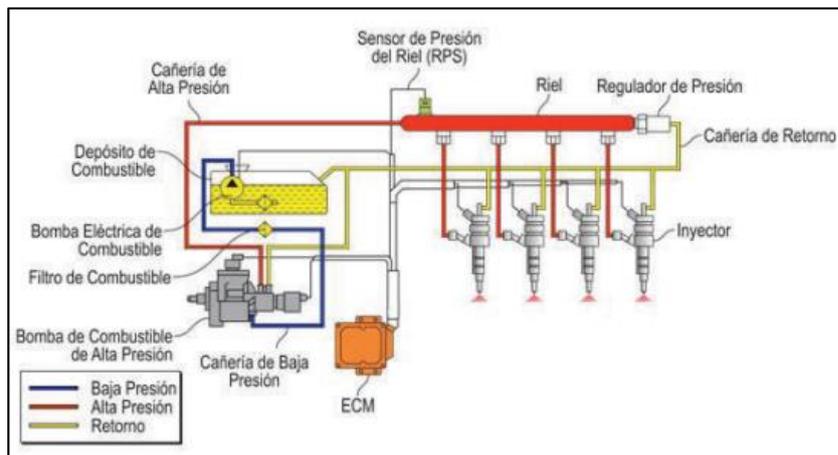


Figura 11. Partes el sistema common rail

Fuente: (Bosch, Manual de la Técnica del Automóvil, 2005)

e. Circuito de baja presión

Es el responsable del suministro y transporte del combustible desde el depósito hasta la entrada de la bomba de alta presión.

Depósito de combustible:

- Bomba eléctrica
- Filtro de combustible
- Tuberías de combustible de baja presión.
- Tuberías de retorno de combustible.

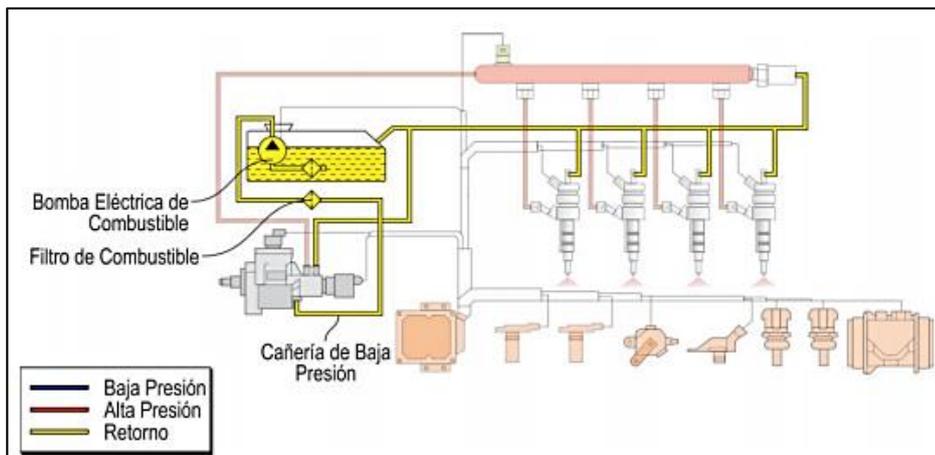


Figura 12. Circuito de baja presión

Fuente: (Bosch, Manual de la Técnica del Automóvil, 2005)

f. Circuito de alta presión

Es el encargado de llevar el combustible con alta presión hasta los inyectores. Las partes del circuito de alta presión está conformado por:

- Bomba de alta presión (HPP)
- Válvula reguladora de presión de combustible (PRV)
- Cañerías de combustible de alta presión
- Acumulador de presión o riel
- Sensor de presión del riel (RPS)
- Inyectores

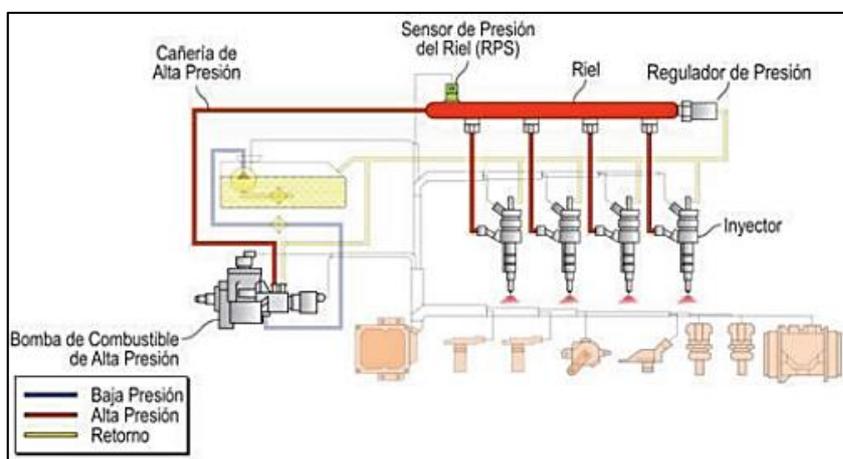


Figura 13. Circuito de alta presión

Fuente: (Bosch, Manual de la Técnica del Automóvil, 2005)

2.4. Diésel

2.4.1. Combustibles para motores diésel de automóviles

(Gary & Handwerk, 2003), menciona que: Las propiedades más importantes del combustible para vehículos diésel para lograr buen funcionamiento son: volatilidad, calidad de ignición y viscosidad. El combustible diésel N.- 1 (conocido como super-diesel) se fabrica de reservas vírgenes poseyendo números de cetano por encima de 50. Su punto de ebullición se encuentra entre los intervalos de 360 a 650 °F y se utiliza en motores muy revolucionados de camiones y autobuses.

El combustible diésel N.- 2 es muy similar al fuelóleo N.- 2 y posee su punto de ebullición en un rango más amplio que el N.- 1. Usualmente contiene algunos materiales craqueados y puede ser mezclado a partir de la nafta, queroseno y aceites cíclicos ligeros craqueados. Las especificaciones limitantes son el punto de inflamación de 120 a 125 °F como mínimo, contenido en azufre máximo 0.5 % intervalo de destilación, número de cetano mínimo 52 y un punto de fluidez máximo de -10 a +10.

Las propiedades de ignición de los combustibles diésel se expresan en términos del número de cetano. Este es muy similar al número de octano de la gasolina y expresa el porcentaje en volumen de cetano (C₁₆H₃₄ alta calidad de ignición) en una mezcla con alfa-metilnaftaleno (C₁₁H₁₀ baja calidad de ignición).

El combustible se utiliza para el funcionamiento de un motor diésel de pruebas estándar de acuerdo con el método de prueba ASTM D-613-62.

2.4.2. Clasificación del diésel en Ecuador

El diésel comercial según el Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN, 2016], se clasifica en:

a. Diésel N.- 1

Combustible utilizado en equipos de combustión industrial o doméstico.

b. Diésel N.- 2

Combustible utilizado en el sector industrial.

c. Diésel premium

Combustible con bajo contenido de azufre, utilizado en el sector automotriz.

Requisito	Unidad	Diésel No. 1		Diésel No. 2		Diésel premium		Método de ensayo
		mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	
Punto de inflamación	°C	40	--	51	--	51	--	ASTM D93
Contenido de agua y sedimento	% ^a	--	0,05	--	0,05	--	0,05	ASTM D2709
Contenido de ceniza	% ^b	--	0,01	--	0,01	--	0,01	ASTM D482
Contenido de azufre	% ^b	--	0,3	--	0,7	--	0,05	ASTM D2622 ASTM D4294 ASTM D5453
Contenido de residuo carbonoso sobre el 10 % de residuo destilado	% ^b	--	0,1	--	0,1	--	0,1	ASTM D4530
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	1,3	2,4	2,0	5,0	2,0	5,0	ASTM D445
Temperatura de destilación del 90 %	°C	--	288	--	360	--	360	ASTM D86
Corrosión a la lámina de cobre	--	--	1a	--	1a	--	1a	ASTM D130
Índice de cetano calculado	--	No aplica		45	--	45	--	ASTM D976
Contenido de biodiésel ^c	% ^a	No contiene		--	5	5	10	EN 14078

^a % corresponde a fracción de volumen expresada en porcentaje.

^b % corresponde a fracción de masa expresada en porcentaje.

^c La determinación del contenido de biodiesel se debe realizar cuando esté adicionado en el diésel.

Figura 14. Requisitos INEN para el diésel

Fuente: [INEN, 2016]

2.4.3. Características del combustible diésel

(Pérez, 2017), describe que: “El gasoil, también denominado gasóleo, es un combustible clasificable dentro del grupo de las naftas, que es hidrocarburo que se obtiene de la destilación del petróleo, junto con los carburantes. Está a medio camino entre el queroseno y los aceites pesados. Su destilación por tanto se produce a temperaturas entre 160° y 390°”. (p. 230).

Las características que definen al gasoil son las siguientes:

Tabla 4.

Propiedades características del diésel

Parámetros característicos del diésel	
Poder calorífico	Algo más bajo que el de la gasolina, en los gasóleos comerciales se sitúa en torno a las 10200 kcal/kg.
Punto de inflamación	Es la temperatura a partir de la cual comienza a arder cuando se le aproxima una llama. En los gasóleos comerciales, dicho punto está entre los 55° y los 60°, para que no presente problemas durante su manipulación.
Punto de autoinflamación	Como su nombre lo indica, es la temperatura a partir de la cual arde espontáneamente, sin necesidad de aportación de llama. Esta algo por encima de los 220°.
Índice de cetano	Es un indicativo de la capacidad que tiene el gasóleo para inflamarse, en relación a su facilidad de combustión. Los gasóleos comerciales tienen un índice en torno a 50°. Cuanto más elevado sea este índice, mejores cualidades tiene ese gasóleo para la combustión.
Densidad estable	Esta característica resulta especialmente importante en los nuevos sistemas de inyección por conducto común, en los que, al fraccionarse la inyección en varias fases, las aportaciones son mínimas, sobre todo en la fase de preinyección. La densidad del gasóleo comercializado oscila entre 0,83 y 0,86 g/cm ³ , medida a una temperatura de 15 °C. El empleo en automóviles tiene una densidad de 0,845 kg/litro, a 15 °C de temperatura.
Volatilidad	Tiene menor importancia que en el caso de la gasolina, dado que el combustible se quema a medida que es inyectado. Comenzando a evaporarse a una temperatura que oscila entre los 200° y los 300°.
Viscosidad	La viscosidad que es la capacidad de fluir que tiene un líquido, cobra relevancia, ya que influye en la pulverización del chorro del gasóleo cuando es inyectado. Es especialmente importante en los sistemas dotados de preinyección, dado el escaso caudal de combustible que se inyecta en la misma. Grandes diferencias de viscosidad traerían consigo importantes variaciones en el caudal inyectado.
Punto de congelación	Especialmente importante en climas fríos, ya que las parafinas presentes en la composición de gasóleo se pueden solidificar, bloqueando el circuito de alimentación. En la actualidad, los

CONTINÚA



	gasóleos comerciales soportan temperaturas de hasta -30°, siendo para ello aditivados adecuadamente.
Contenido de azufre	Dada la toxicidad de este componente, su uso está limitado por la legislación, permitiéndose un máximo de 10 p.p.m (partes por millón). Actualmente se comercializa un combustible de bajo contenido en azufre, con menos de 10 p.p.m., ya que en los vehículos de última generación, con filtro de partículas en la línea de escape, el combustible convencional ocasiona serios problemas de obstrucción en el citado filtro, que no acaban de resolverse con el proceso de regeneración. No obstante, la presencia del azufre potencia la función lubricante del gasóleo
Residuos	El combustible debe poseer la menor cantidad de residuos y agua posible. Los primeros son muy abrasivos, al contener arena, mientras que el agua, además de favorecer la corrosión, puede producir problemas de combustión.

Fuente: (Pérez, 2017)

2.5. Surfactantes

2.5.1. Concepto de surfactante

(Bernabé, 2007), define: “Los surfactantes son compuestos que se concentran o acumulan en la interface entre dos medios, alterando la tensión superficial. Los surfactantes poseen una constitución molecular típica, esencialmente lineal y asimétrica, con dos zonas, una hidrófoba y otra hidrófila” (p. 32)

2.5.2. Características de los surfactantes

(Ortega, 2009), manifiesta: “La característica básica de los tensoactivos en su capacidad de modificar la tensión superficial de la superficie de los líquidos a los que se añaden. La doble afinidad de la molécula le obliga a migrar a la superficie del líquido dejando sumergido el grupo hidrófilo o el hidrófobo, en función de si el disolvente es polar o apolar.” (p. 4)

Según (Riojas, 2011), “existen en general dos tipos de surfactantes los sintéticos y los naturales, a estos últimos se les conoce como biosurfactantes. Usualmente se clasifican los surfactantes de acuerdo a su ionización en medio acuoso, los surfactantes poseen a la vez un grupo polar y otro apolar”. (p. 243)

(Riojas, 2011), menciona que; “La isoterma de adsorción iónica de un surfactante está conformada por cuatro regiones; a muy baja concentración de surfactante (monómeros de surfactante) se encuentra la Región I o la región de la ley de Henry, en la cual la adsorción es proporcional a la concentración del surfactante, la densidad de adsorción es tan baja que se produce la interacción insignificante entre las moléculas adsorbidas”. (p. 244)

2.5.3. Clases de surfactantes

Los surfactantes pueden clasificarse en cuatro grupos mayores dependiendo de la naturaleza del grupo de solubilidad en agua. Esta división es:

Tabla 5.

Tipos de surfactantes

Tipos de surfactantes	
Aniónico	Compuestos que poseen uno o varios grupos funcionales que se ionizan en solución acuosa, generando iones orgánicos con carga negativa que son los responsables de su actividad superficial. Suelen contener grupos solubles como el sulfato o el sulfonato de sodio.
Catiónico	Compuestos que poseen uno o varios grupos funcionales que se ionizan en solución acuosa, generando iones orgánicos con carga positiva que son los responsables de su actividad superficial. Suelen ser compuestos orgánicos con amonio cuaternario.
No iónico	Compuestos que no se disocian en disolución acuosa. Su solubilidad en medio acuoso se debe a la presencia de grupos funcionales, como el grupo hidroxilo, -OH, capaces de formar puentes de hidrógeno con las moléculas de agua. En esta familia se agrupan los alcoholes grasos etoxilados y los alquil poliglucósidos.
Anfotérico	Poseen una estructura molecular con uno o más grupos funcionales que pueden ionizarse en disolución acuosa confiriendo al compuesto el carácter de tensoactivo aniónico o catiónico, según las condiciones del medio.

Fuente: (Ortega, 2009)

2.5.4. Aplicaciones de surfactantes

(Riojas, 2011), argumenta que; “En muchas aplicaciones se utilizan mezclas de surfactantes en vez de surfactantes individuales, en algunos casos este efecto es involuntario ya que los surfactantes comerciales a veces son mezclas de materiales no homogéneos o con materia prima sin reaccionar” (p. 243).

Tabla 6.

Campos de aplicación de los tensoactivos en la industria

Tipo de industria/Tensoactivos	Campos de aplicación
ALIMENTARIA	Emulsionantes
Acilgliceroles	Humectantes
Esteres de sorbitano	Antiespumantes
Copolímeros de óxido de etileno-propileno, Alquilsulfatos, Esteres de poliglicol	Limpieza de instalaciones
CURTIDOS	Humectación/penetración
Nonilfenoles polietoxilados	Desengrase
Alcoholes grasos polietoxilados	Curtición
Monoésteres de ácidos grasos sulfatados	Tintura
Alquilsulfatos	Engrase
Alquilnaftalensulfonatos, Lignin-sulfonatos, Aceites saturados	Pastas de pigmento
PINTURAS, LACAS Y TINTES	Dispersión de pigmentos
Condensados de naftalensulfonato y formaldehído	Modificadores de fluidez
Alquilsulfato, Dialquilsulfosuccinato sódico, Alcoholes grasos polietoxilados, Aminas polietoxiladas.	Emulsionantes de resinas
AGRICULTURA	Emulsificación de plaguicidas y herbicidas
Alquilbenceno sulfonatos	Humectación y dispersión
Esteres fosfatados, Poliglicoles, Aceites sulfatados	Emulsiones oleosas
COSMÉTICA	Emulsiones de cremas cosméticas
Esteres de poliglicol	Champúes, geles
Óxidos de amina	Jabones de tocador
Alcoholes grasos polietoxilados	Solubilizante de perfumes
Alquilpoliéter sulfatos, Alcanolamidas, Alquilbetainas, Dialquilsulfosuccinatos.	Emulsionantes para aceites esenciales
DETERGENTES	Detergentes en polvo
Alquilbenceno sulfonatos	Detergentes líquidos
Olefin-sulfonatos	Estabilizadores de espuma
Parafin-sulfonatos	Productos limpieza de superficies duras
Sulfonatos de alcoholes grasos polietoxilados	Sanitarios
Alquil polieter sulfatos	Productos lavavajillas
Óxidos de amina, Alquilfenoles polietoxilados, Alcanolamidas, Sulfonatos de ácidos grasos, Sales de aminio cuaternario.	Limpiadores de alfombras y tapicerías
PAPELERA	Agentes humectantes de la pulpa de papel
Esteres de poliglicoles	Eliminación de espuma de la pulpa
Alcoholes grasos polietoxilados	Emulsionantes de ceras
Polipropilen-glicoles, Aminas polietoxiladas, Nonilfenoles polietoxilados	Reutilización del papel
PETRÓLEO Y DERIVADOS, ESTERES DE POLIGLICOL	Solubilizantes del agua e inhibidores de corrosión
Alquilpoliéter sulfatos	Ruptura de emulsiones
Lignino-sulfonatos	Dispersantes
Alcanolamidas	Recuperación del petróleo
Imidazolinás, Poliglicoles, Ésteres sulfonados, Alquilbenceno sulfonatos	Eliminación de mareas negras

Fuente: (Ortega, 2009)

2.5.5. Tensoactivos para emulsiones

(Chávez, 2014), menciona “varios métodos han sido desarrollados para seleccionar un surfactante o mezcla de surfactantes para preparar una emulsión con propiedades deseadas. Varios de estos modelos fueron completados por otras contribuciones que no toman en cuenta la naturaleza fisicoquímica de la emulsión, así como del surfactante, o poseen parámetros que no pueden calcularse con exactitud”. (p. 200)

(Castañeta, 2011), dice; “Los valores de HLB de los surfactantes permite clasificarlos de acuerdo a su mayor o menor solubilidad, sea en aceite o en agua. Desde luego, es importante mencionar que los emulsificantes con alto grado de HLB son más solubles en agua y son recomendables para una emulsión aceite/agua (O/A) y viceversa, los surfactantes con bajos valores de HLB tienen mayor solubilidad en aceite y por lo tanto, son más efectivos para la preparación de emulsiones agua/aceite (A/O)”. (p. 137)

2.5.6. Nonil fenol 6 moles

[ARIS, 2012], describe al nonil fenol 6 moles como un líquido viscoso, amarillo pálido con ligero olor fenólico, obtenido por la adición de óxido de etileno al nonil fenol.

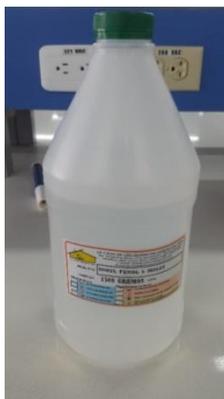


Figura 15. Nonil fenol 6 moles

Soluble en la mayoría de disolventes orgánicos, soluble en grasas y aceites, todos grados de nonil fenol presentan gran afinidad para formar emulsiones aceite/agua.

a. Características del producto

Tabla 7.

Especificaciones del nonil fenol 6 moles

Nombre comercial	Nonil fenol etoxilado 6 moles
Peso molecular	467- 488 g/mol.
Apariencia	Líquido viscoso translucido.

Fuente: [ARIS, 2012]

b. Aplicaciones

Tensoactivo usado en el procesamiento de metales. Agente humectante para uso de ácidos minerales e inhibidores de corrosión. En todas las fases de fibras sintéticas.

También usado como tensoactivo base para formulaciones de destinte. Tensoactivo de enjuague rápido, como productos de lavandería, humectantes, agente diluyente en pintura a base de agua.

2.5.7. Ácido oleico

[CEDROSA, 2004], describe que el ácido oleico se obtiene por la hidrólisis de varias grasas y aceites de animales y vegetales (sobre todo aceite de oliva). Se presenta en estado líquido a la temperatura ordinaria, de color amarillento o amarillo moreno, dependiendo de su pureza, con olor de manteca; se oscurece por absorción del oxígeno del aire.



Figura 16. Ácido oleico

Cuando está químicamente puro es incoloro limpio, inodoro e insípido. Es casi insoluble en agua; soluble en alcohol, éter, cloroformo, benceno y éter de petróleo; es miscible con los aceites grasos y esenciales.

a. Características del producto

Tabla 8.

Especificaciones del ácido oleico

Sinónimo	Ácido 9-Octadecanóico
Usos	Preparaciones farmacéuticas como solvente; jabones suaves y otros oleatos, en compuestos de pulidores, textiles resistentes al agua, para espesar aceites lubricantes, en lana grasosa.
Aspecto	Líquido aceitoso
Color Gardner	4.0 máx.
Olor	Característico
Solubilidad	Miscible en alcohol, éter dietílico, cloroformo, benceno, aceites fijos y volátiles, casi insoluble en agua
Temperatura de congelación	10.0°C máx.
Peso específico	0.8809 - 0.8950
Índice de acidez	196 – 204
Índice de Yodo	85 – 95
Ácidos Minerales	Pasa Prueba
Grasas Neutras y Aceite Mineral	Pasa prueba
Residuos de ignición	0.01% máx.

Fuente: [CEDROSA, 2004]

2.5.8. Kolliphor EL

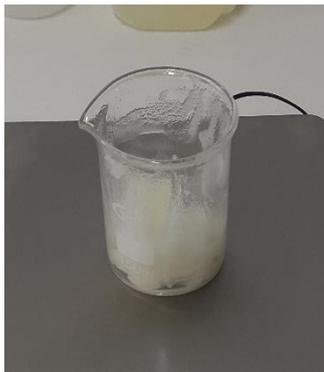


Figura 17. Kolliphor EL

a. Características del producto

Tabla 9.

Especificaciones del Kolliphor EL

Nombre químico	Aceite de ricino Polyoxyl
Nombre comercial anterior	Cremphor® EL
Naturaleza química	Kolliphor® EL es un solubilizante no iónico y emulsionante fabricado al hacer reaccionar aceite de ricino con óxido de etileno en una relación molar de 1: 35.
Composición	El principal componente de Kolliphor® EL es el glicerol polietilenglicol ricinoleato. Junto con los ésteres de ácidos grasos de polietilenglicol, esto forma la parte hidrófoba del producto.
Descripción	Kolliphor® EL es un líquido aceitoso de color amarillo pálido que es transparente a temperaturas superiores a 26 ° C. Tiene un olor débil pero característico.
Solubilidad	Kolliphor® EL forma soluciones claras en agua. También es soluble en muchos disolventes orgánicos, p. alcohol etílico, alcohol n-propílico, alcohol isopropílico, acetato de etilo, cloroformo, tetracloruro de carbono, tricloroetileno, tolueno y xileno. En contraste con los agentes emulsionantes aniónicos, Kolliphor® EL se vuelve menos soluble en agua a temperaturas más altas. Por lo tanto, las soluciones acuosas se vuelven turbias a cierta temperatura. dodecilo y octadecilo, aceite de ricino y varias sustancias solubles en lípidos.

Fuente: [BASF, 2012]

2.6. Emulsiones

Según (Romo, 1993) una emulsión es una mezcla de dos líquidos inmiscibles de manera que busca que sea lo más homogénea posible. Un líquido es dispersado en otro. Muchas emulsiones son de aceite/agua, con grasas

alimenticias como uno de los tipos más comunes de aceites encontrados en la vida diaria.

(Castañeta, 2011), dice que una emulsión “Es una dispersión coloidal de un líquido en otro inmiscible con él, es un sistema termodinámicamente inestable, dicha inestabilidad se debe al aumento del área (ΔA) durante la emulsificación, que produce un incremento de la energía libre de Gibbs (ΔG)” (p. 136).

2.6.1. Tipos de emulsiones

a. Emulsiones simples

(Castañeta, 2011), manifiesta: “Las emulsiones simples directa e inversa, se agrupan en una sola, debido al paso por una inversión de fases de un caso al otro. En el caso O/A, normalmente, se introduce la fase oleosa (donde se encuentra la sustancia liposoluble) en un recipiente que contiene la fase acuosa, la cual es agitada”. (p. 136)

b. Emulsiones dobles

(Jiménez, 2013) señala que las emulsiones múltiples (emulsiones dobles o emulsiones de emulsiones) son sistemas multicompartimentalizados, caracterizados por la coexistencia de emulsiones de aceite-en-agua (O/W) y de agua-en-aceite (W/O), en las que los glóbulos de la fase dispersa contienen dentro de ellos gotas igualmente dispersas más pequeñas. (p. 21)

2.6.2. Proceso de emulsión

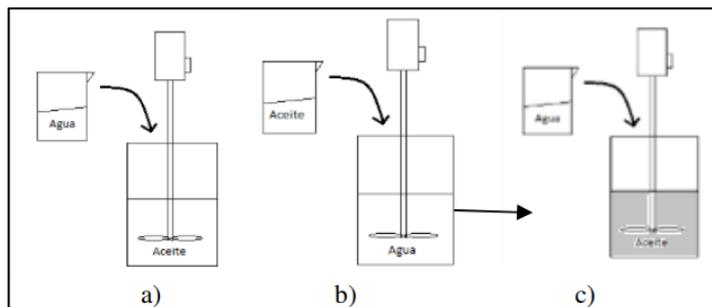


Figura 18. Emulsiones agua-aceite (A/O), aceite- agua (O/A)

Fuente: (Jiménez, 2013)

2.7. Termografía

(Prada, 2016), define que la termografía “Es una moderna tecnología que utiliza cámaras que miden y toman imágenes de la radiación infrarroja emitida por los cuerpos sin necesidad de que haya luz visible. Como esta radiación es función de la temperatura de la superficie del cuerpo, la cámara permite el cálculo y visualización de dicha temperatura” (p. 605).

(Xu, 2017), asegura que la termografía infrarroja es utilizada como una técnica de pruebas no destructivas (NDT) para localizar varios defectos en componentes metálicos y no metálicos, esto ayuda a conservar y garantizar las cualidades de los elementos en un sistema mecánico. La visibilidad de estos defectos surge de algunos factores como la intensidad de calentamiento, la dimensión del daño y el rango de enfoque de la cámara termográfica infrarroja.

2.7.1. Principios de la termografía

a. Radiación infrarroja

(Aldana & Rodríguez, 2017), mencionan que la variación de campos magnéticos y eléctricos forma ondas electromagnéticas lo que se representa en una radiación infrarroja. Las fuentes de televisión y radio, equipos de rayos x, núcleos radioactivos y osciladores microondas para hornos y radares. Estos se diferencian entre sí por su longitud de onda y su frecuencia.

(Aldana & Rodríguez, 2017), manifiesta: “Los IR se producen por los cuerpos calientes ya que se deben a cambios en los estados de energía de electrones orbitales en los átomos o en los estados vibracionales y rotacionales de los enlaces moleculares” (p. 28).

(Llamosa, Moreno, & Barrios, 2011), declaran que:

Gracias a la cantidad de energía, la materia emite radiación, la principal fuente de la radiación infrarroja es el calor o la radiación térmica. Esto se produce por el movimiento de los átomos dependiendo de la temperatura del objeto: entre mayor la temperatura, mayor es el movimiento y mayor la radiación producida. Las ondas infrarrojas están entre el rango de 0,7 a 100 micrómetros, los ojos humanos no son sensibles a la radiación infrarroja emitida por un objeto, la energía radiante infrarroja se mide generalmente usando un sistema que responde al calor generado en la absorción del infrarrojo por una superficie ennegrecida. (p.158)

b. Transferencia de calor

(Incropera & De Witt, 1999), menciona que “Es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas, siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor” (p. 2).

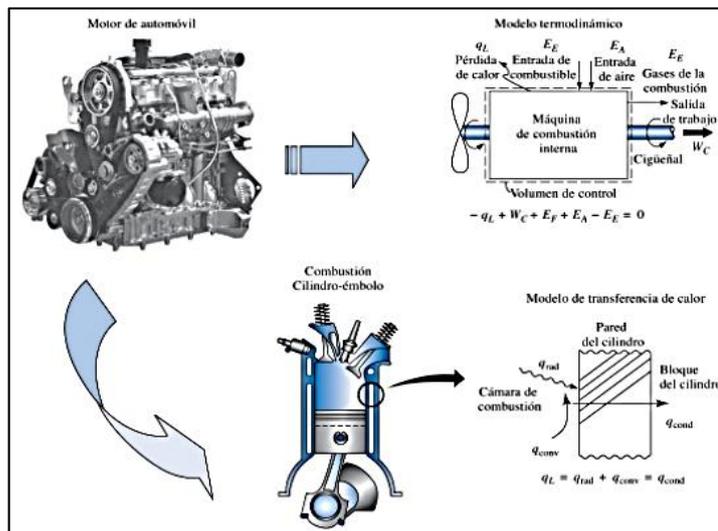


Figura 19. Modelo termodinámico clásico y modelo de transferencia de calor de un motor de un automóvil común

Fuente: (Kreith, Manglik, & Bohn, 2012)

- **Transferencia de calor por convección**

(Incropera & De Witt, 1999), manifiesta que cuando se encuentran a distintas temperaturas una superficie limitante y un fluido en movimiento. El movimiento volumétrico y el molecular aleatorio respaldan la transferencia de calor por este método.

(Kreith, Manglik, & Bohn, 2012), dice: “Siempre existe un gradiente de temperatura en un sistema, o cuando se ponen en contacto dos sistemas con temperaturas diferentes, se transfiere energía. El proceso mediante el cual tiene lugar el transporte de energía se conoce como transferencia de calor”. (p. 3).

- **Transferencia de calor por conducción**

En una investigación de termografía infrarroja resiente (Prada, 2016) se define que cuando existen dos cuerpos solidos a temperaturas diferentes temperaturas

e interactúan entre ellas se consigue transferir el del uno al otro, a esto se denomina calor por conducción. Las moléculas que tienen menor temperatura o energía cinética reciben energía directa de las moléculas que tienen mayor temperatura o energía cinética, según la teoría cinética y la termodinámica.

(Incropera & De Witt, 1999), manifiesta que la transferencia de calor por conducción ocurre cuando; “Las temperaturas más altas se asocian con las energías moleculares más altas y cuando las moléculas vecinas chocan, como lo hacen constantemente, debe ocurrir una transferencia de energía de las moléculas más energéticas a las menos energéticas” (p.3).

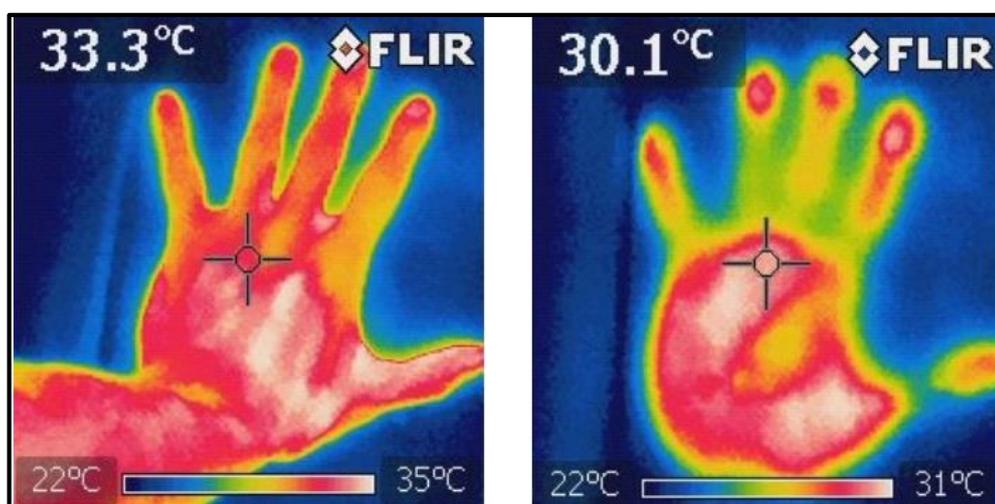


Figura 20. (izq.) Mano apoyada sobre un papel. (Der.) Huella térmica impresa momentáneamente debida a la mano

Fuente: (Prada, 2016)

- **Transferencia de calor por radiación**

(Incropera & De Witt, 1999), dice que “La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra en una temperatura finita. Aunque centremos nuestra atención en la radiación de superficies sólidas, esta radiación también puede provenir de líquidos y gases. Sin importar la forma de la materia, la radiación se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de

los átomos o moléculas constitutivos. La energía del campo de radiación es transportada por ondas magnéticas (o alternativamente, fotones)” (p.8). Mientras la transferencia de energía por conducción y convección requiere la presencia de un medio material, la radiación no lo precisa.

(Kreith, Manglik, & Bohn, 2012), menciona: “La cantidad de energía que sale de una superficie como calor radiante depende de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie” (p.21).

2.7.2. Cámaras termográficas

[FLUKE, 2017], manifiesta: “Las cámaras termográficas son dispositivos que detectan patrones térmicos en el espectro de la longitud de onda infrarroja sin entrar en contacto directo con el equipo”.

(Zhao, y otros, 2015), menciona: “Las cámaras térmicas pueden detectar energía infrarroja que todas las personas y objetos emiten, las cuales se pueden capturar o grabar. Se muestra una imagen térmica con un gradiente térmico que son generados por impulsos eléctricos convertidos al medir la energía térmica”.

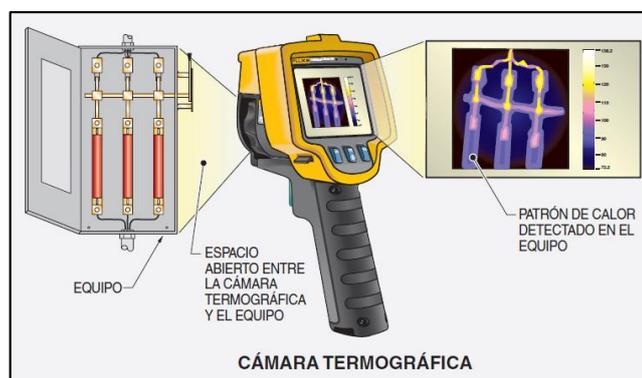


Figura 21. Cámara termográfica

Fuente: [FLUKE, 2017]

a. Mediciones termográficas

(Larsen & Hongn, 2012), refiere los siguientes parámetros para realizar termografía:

- Se debe conocer la emisividad ϵ de la superficie del objeto en el rango de medida de la cámara. La emisividad describe la capacidad de un objeto de emitir radiación comparado con un cuerpo negro (1 es un emisor perfecto y 0 un reflector perfecto).
- Se debe conocer la radiación térmica proveniente de los alrededores del objeto y que es reflejada por el mismo. Los objetos no solo emiten radiación térmica, sino que también reflejan la radiación térmica del entorno.
- La radiación térmica puede ser parcialmente absorbida o emitida por el aire. Si bien se considera al aire como transparente a la radiación térmica, muchas veces el ambiente en que se realiza la medida puede contener gases calientes o partículas de polvo o agua que pueden absorber, emitir o reflejar la radiación. Las bandas de longitudes de onda que se eligen para los termógrafos son aquellas en las que la absorción del aire es menor. Esto implica que las bandas deben ser pequeñas (lo cual se obtiene con filtros adecuados), con lo que la cantidad de radiación que llega al sensor es menor. Por ello existe un compromiso entre el ancho de banda y la sensibilidad del detector. Algunas cámaras incluyen la opción de ingresar la transmisividad del aire, con el cual corrigen la radiación que llega a la cámara debido a la interacción con partículas del mismo aire.
- El objeto medido debe abarcar todo el campo de visión de la cámara. Si bien para aplicaciones cualitativas este requerimiento no es fundamental, para aplicaciones cuantitativas se requiere asegurarse que la radiación que llega a determinado sensor proviene del punto que se quiere medir y que no contiene otras contribuciones.
- El objeto debe estar ubicado en un ángulo correcto en relación a la cámara, de preferencia frente a ésta. La emisividad es una propiedad óptica que depende del ángulo de incidencia. En general las determinaciones de emisividad se realizan a incidencia normal, por lo que, si el ángulo de visión entre la cámara y el objeto es muy diferente, pueden aparecer errores cuantitativos importantes en la determinación de la temperatura. (p. 08,26-08,27)

CAPÍTULO III

La metodología utilizada para esta investigación es experimental, se realizaron mezclas combustibles a diferentes proporciones, pruebas y ensayos en los laboratorios de Petroquímica, Autotrónica y Motores de Combustión Interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga, para la obtención del poder calorífico se realizó en el laboratorio de Motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas – Sangolquí. Para la recopilación de datos se realizaron con la ayuda de instrumentos especializados para mediciones de: masa, densidad, viscosidad, poder calorífico, opacidad entre otros, los cuales establecerán para generar las variables de investigación, para con la realización de cálculos para poder analizar datos obtenidos. Los datos recopilados y los cálculos servirán para el respectivo análisis para verificar la validez de la investigación.

3. Equipos y formulación de emulsiones

3.1. Equipos

Se describe los equipos utilizados para la formulación de la mezcla diésel surfactante, para los ensayos del combustible y las pruebas en el motor MZR-D, para cumplir con los objetivos y metas propuestas para el desarrollo de esta investigación.

3.1.1. Balanza electrónica Boeco BPS 51 plus

En la información generada por las especificaciones de balanzas digitales [Boeco, 2016], afirmando que es una herramienta de laboratorio de alta precisión que posee calibración interna motorizada.

La balanza electrónica posee una pantalla que permite visualizar los números a una escala más grande, posee teclas de acceso rápido a todas las funciones disponibles del dispositivo.



Figura 22. Balanza electrónica Boeco BPS 51 Plus

a. Funciones

Auto test, Dosificación, Pesaje en porcentaje %, totalización, conteo, cierre del resultado máximo, Newton unit measurement, estadísticas control de peso, pesaje debajo de la balanza, procedimientos GLP, pesaje de animales, determinación de densidad.

b. Especificaciones

Tabla 10.

Características de la balanza

Especificación	BPS 51 plus
Carga máxima	4500 g
Carga mínima	0,5 g
Legibilidad	0,01 g
Rango de tara	- 4500 g
Reproducibilidad	0,01 g
Linealidad	± 0,02
Tamaño de platillo	195 x 195 mm
Tiempo de estabilización	1,5 seg.
Calibración	Interno (automático motorizado)

CONTINÚA



Interfaz	2xRS232,2xUSB (A+B), WIFI (opcional)
Pantalla	LCD retroiluminada grande
Temperatura de trabajo	+10°C - +40°C
Alimentación	110 - 230 V AC, 50/60 Hz
Peso neto / bruto	4,8 / 6,3 Kg

Fuente: [Boeco, 2016]

3.1.2. Mezclador electromagnético Boeco MSH 420

Según [Boeco, 2016], el agitador es impulsado por un motor magnético en una lámina calefactora de vitrocerámica que permite que sustancias químicas sean agitadas y calentadas simultáneamente.

La placa superior de cristal-cerámica, es resistente a los químicos, resistente a la corrosión, resistente al rayado y fácil de limpiar.

La herramienta de laboratorio MSH 420 incorpora indicadores LED para la Potencia, Calefacción y Turbulencia.



Figura 23. Agitador electromagnético Boeco MSH 420

a. Especificaciones

Tabla 11.

Características agitador electromagnético

Especificaciones	Boeco MSH 420
Rango de velocidad:	60-1110 1/min

CONTINÚA



Regulación de la temperatura:	temperatura ambiente a 450 ° C.
Max. volumen agitando:	hasta 15,0 L.
Tamaño de la plataforma:	200 x 200 mm
Material de Plataforma caliente:	Vitrocerámica
Indicador "Hot Top":	Luz indicadora que si la temperatura en el plato caliente supera los 55 °C.
La protección del sobrecalentamiento:	La energía de la calefacción será cortar otras en situaciones anormales, al limitar la temperatura del plato superior a 550 ° C, y la luz del flash.
Tamaño total:	320 (W) x 210 (D) x 105 (H) mm
Energía de la calefacción:	750 Vatios
Peso:	3,6 kg

Fuente: [Boeco, 2016]

3.1.3. Mezclador mecánico proctor silex

El mezclador fabricado por [ProctorSilex, 2018], son aparatos que brindan confianza para realizar todo tipo de mezclas de sustancias líquidas cumpliendo así las necesidades del operador. Estos dispositivos son livianos diseñados para cumplir necesidades de mezclado, remoción y batido de líquidos.

Son mezcladoras que brindan una potencia con cinco velocidades que vienen equipados con batidores cromados para una mezcla óptima.



Figura 24. Mezclador mecánico

a. Características:

Tabla 12.**Características agitador mecánico**

Especificaciones	Mezclador proctor sílex
Tipo	Hand mixer
Potencia	150 vatios
Número de velocidades	5
Batidores	2 de cromo de tamaño completo

Fuente: [ProctorSilex, 2018]

3.1.4. Picnómetro

El Picnómetro [Ecured, 2018], botella de gravedad específica o también conocido como frasco de densidades, es una herramienta de medición esencial en los laboratorios de química se caracteriza por ser un pequeño frasco de vidrio de cuello estrecho, cerrado con un tapón esmerilado, hueco y que termina por su parte superior en un tubo capilar con graduaciones de tal manera que un volumen puede obtenerse con gran precisión. Esto permite medir la densidad de un fluido, en referencia a la de un fluido de densidad conocida como el agua o el mercurio.

**Figura 25. Picnómetro****a. Utilización**

1. Quitar el tapón esmerilado, que está hueco o perforado.
2. Añadir la muestra con una probeta pequeña
3. Rellena el picnómetro con agua destilada y se tapa.
4. El líquido subirá por el interior del tapón hasta el capilar.
5. Puede ocurrir que incluso rebose, en cuyo caso se secaría cuidadosamente por fuera procurando que el líquido llene totalmente el tapón o que el exceso se pueda medir con el capilar.
6. Así se determina el volumen de la muestra contenido en el recipiente, tomando como referencia la densidad del agua destilada.
7. Se realiza los pasos anteriores pero con la muestra a ensayar para conocer la densidad.
8. La masa del líquido se determina por diferencia entre la masa del picnómetro lleno y vacío.
9. La densidad del líquido será el cociente entre su masa y el volumen que ocupa.

b. Cálculos

Calcular la densidad de fluidos, se aplica una fórmula relacionando a la masa neta de la sustancia con el volumen de la muestra a continuación, se encuentra la fórmula:

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Ecuación 1. Densidad

Donde:

δ = Densidad

m = Masa

v = Volumen

3.1.5. Viscosímetro Cannon-Fenske, líquidos opacos, serie 100

El viscosímetro de Cannon - Fenske según (Hervás, 2017) , está basado en el mismo principio que el viscosímetro de Ubbelohde. Se aplica para líquidos transparentes y opacos.



Figura 26. Viscosímetro Cannon - Fenske

Existen diversos tipos de viscosímetros Cannon - Fenske, en función de la viscosidad a medir, por lo que se debe elegir según el tipo de sustancia a realizar el ensayo. En nuestro caso se elige el viscosímetro de serie 100, ya que este viscosímetro se encuentra en el rango de 3 a 15 cSt.

a. Proceso de medida

1. Efectuar la medida con el viscosímetro limpio y seco. Si la muestra contiene o puede contener polvo o partículas en suspensión, se filtrará a través de una placa porosa.
2. Llenar el viscosímetro, a temperatura ambiente, colocándolo invertido en posición vertical y con el extremo de la rama con los bulbos sumergido en el líquido muestra.
3. En la posición indicada, succionar por la otra rama hasta que la muestra llene los dos bulbos y llegue exactamente hasta la marca de aforo inferior.

4. Una vez lleno el viscosímetro, se vuelve a su posición normal y el líquido descenderá a la bola inferior.
5. Montar el viscosímetro dentro de un baño termostático, de modo que quede sumergido todo el bulbo superior. Esperar unos 15 minutos para que el conjunto alcance la temperatura del baño.
6. Para efectuar la medida se succiona el líquido por medio de una goma flexible, conectada a la rama capilar, hasta que el líquido alcance la marca de aforo situada entre los dos bulbos.
7. Dejar caer libremente el líquido y medir el tiempo que tarda en pasar desde el primer aforo hasta el segundo.
8. Efectuar una nueva medida, sin limpiar ni desmontarle del termostato.
9. Promediar las medidas en el caso de que no superen un $\pm 5\%$ de diferencia entre ellas.

b. Cálculos

Calcular la viscosidad de la muestra, en centistokes, multiplicando el tiempo, en segundos, por la constante del equipo, a la temperatura del ensayo:

$$V_c = C \times t$$

Ecuación 2. Viscosidad

Donde:

V_c = Viscosidad cinemática

C = Constante viscosímetro

t = Tiempo

c. Características del viscosímetro

Tabla 13.

Especificaciones Viscosímetro Cannon – Fenske Serie 100

Especificaciones	Cannon – Fenske Serie 100
Utilización	Líquidos transparentes y opacos.
Contantes	40 °C y 100 °C.
Longitud total	295 mm.
Serie	Nº 100.
Constante nominal	0,015
Rango de viscosidad	3 a 15 cSt.

Fuente: (Hervás, 2017)

3.1.6. Calorímetro adiabático

El calorímetro adiabático se ocupó para obtener el poder calorífico del diésel y de las mezclas de diésel – surfactantes del agua en proporciones del 5%, 10%, 15% y 20%, para garantizar la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible.

La bomba calorimétrica es una herramienta para conocer la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa.



Figura 27. Calorímetro Adiabático

Esta bomba calorimétrica adiabática de Gallenkamp, es esencialmente un calorímetro de agua convencional. Sin embargo, adquiere la característica de adiabática al tener una camisa alrededor del recipiente que contiene el agua en

el cual se sumerge la bomba. Esta camisa posee una solución de agua destilada y bicarbonato de sodio; al llevar a cabo la combustión, un termistor recepta la elevación de temperatura del agua del calorímetro que en forma electrónica comanda el encendido automático de un calentador eléctrico que calienta el agua de la camisa a la misma temperatura censada.

La presión de oxígeno dentro de la bomba debe ser de unos 15 bares como mínimo.

El encendido es eléctrico a través de un finísimo alambre del conductor, el cual enciende una mecha de algodón que se encuentra en contacto con el combustible.

3.1.7. Analizador de gases Brain Bee AGS-688

Según [AEVMIEMBROS, 2016], el analizador de gases de escape Brain Bee AGS-688 es una herramienta esencial para brindar un diagnóstico automotriz profesional, brindando detalles técnicos de las emisiones generadas por el motor de combustión interna.



Figura 28. Analizador de emisiones Brain Bee AGS-688

a. Características del equipo

Tabla 14.

Características del analizador de gases AGS-688

Especificaciones	Analizador de gases AGS-688
Normas de Calidad	CE (Comunidad Europea) TUV (Norma Alemana de Calidad)
Gases Analizados	HC CO CO ₂ O ₂ NO _x
Número de cilindros	1 hasta 12
Número de tiempos	4 y 2 (motocicletas)
Combustible	Gasolina Gas natural GNC Gas licuado LPG
Cámara de medición	AMB2 Sensores
Aspiración gas de medición	4 l/min
Prueba de estanqueidad	Semiautomática con cierre manual de la sonda de extracción
Tiempo de calentamiento a 20 °C	10 minutos máximo
Tiempo de respuesta CO, CO ₂ y HC	< 15 seg
Temperatura de funcionamiento	5 a 40°C
Dimensiones	434x190x291 mm
Peso	5Kg

Fuente: [AEVMIEMBROS, 2016]

b. Características de los indicadores del analizador de gases

Tabla 15.

Indicadores del analizador de gases AGS-688

Indicador	Rango	Apreciación
CO	0 - 9.99 %vol.	0.01
CO ₂	0 - 19.9 %vol.	0.1
HC	0 - 9999 ppm vol.	1
O ₂	0 - 25 % vol.	0.01
NO	0 - 5000 ppm vol.	1
Lambda	0.5 – 5	0.001
Revoluciones	300 – 9990 rpm	10
Temperatura de Aceite	20 - 150 °C	1

Fuente: [AEVMIEMBROS, 2016]

3.1.8. MGT-300 EVO RPM COUNTER

El contador de RPM [BrainBee, 2018] ofrece una avanzada tecnología, se conecta el equipo a la batería del automotor a medir, la evolución de este aparato aportó para eliminar las pinzas inductivas o piezoeléctricas que usaban anteriormente para este fin, y así se evitó los problemas de lectura que se generaban debido a los diferentes tipos de encendido en motores a gasolina o por las diferencias en los sistemas de inyección de combustible en el motor diésel.



Figura 29. Contador de RPM MGT-300 EVO

a. Características del equipo

Tabla 16.

Especificaciones contador de RPM MGT-300 EVO

Especificaciones	MGT-300 EVO
Software	Automóviles Motocicletas
Interfaz gráfica	RPM Temperatura del motor
Tecnología especial	Redes neuronales, cuya aplicación permite reconocer y aislar las principales perturbaciones que puede afectar a la precisión de la medición.
Conexión a la PC MGT-300 EVO	Puerto USB 2.0 BLUETOOTH.

CONTINÚA



Pantalla	TFT COLOR LCD 3.5
Teclado	Soft-Touch
Conexión	USB 2.0 BLUETOOTH
Dimensiones	200 x 100 x 30 mm
Peso	385 g

Fuente: [BrainBee, 2018]



Figura 30. Accesorios MGT-300 EVO

Fuente: [BrainBee, 2018]

b. Campos de medición

Tabla 17.

Rangos de medición MGT-300 EVO

Indicadores de medición	
Revoluciones	300 a 9.990 RPM
Temperatura	20 a 200°C
Revoluciones/min	10 Apreciación

Fuente: [BrainBee, 2018]

3.1.9. Opacímetro Cartek

(Villacis & Burgos, 2016), afirman que el opacímetro es instrumento para generar reportes técnicos de la cantidad de hollín que emiten los motores de encendido por compresión. En los motores Diésel se analiza la cantidad de carbón (hollín) uno de los componentes del Diésel. Se trata de minúsculas partículas en suspensión las cuales no pueden ser tratadas como un gas, es decir, no pueden ser cuantificadas a través del analizador de gases.



Figura 31. Opacómetro Cartek

a. Funcionamiento del opacómetro

El Opacómetro está compuesto básicamente por tres componentes: cámara de medición, analizador y un terminal portátil. Consta de un tubo y una manguera se conectan la salida del escape con la cámara de medición, y se toman muestras parciales de los gases de escape. Se denomina parcial ya que sólo parte de los gases ingresan a la máquina y el resto se pierde en la atmósfera. Los gases ingresan dentro de un tubo y a través de un sensor se mide la intensidad de la luz (turbiedad), para luego calcular la densidad de las partículas. El tubo tiene una fuente de luz halógena en un extremo y un receptor en el otro de tal forma que cuando no hay un gas dentro del tubo, la intensidad de luz no se ve afectada. Este valor puede ser entregado como porcentaje de Opacidad (siendo 100% totalmente nublado y 0% totalmente claro).

b. Características del opacómetro

Tabla 18.

Especificaciones opacómetro Cartek

Especificaciones	Opacómetro Cartek
Normas internacionales	EEC72/306, ISO11614
Método de medición	Flujo parcial
Tiempo de calentamiento	5 a 6 minutos

CONTINÚA



Software para utilización	PC - Windows XP
Longitud del haz luminoso	215 mm
Opacidad (%) referida	430mm
Rango de opacidad	0 - 9.99 K m-1
Precisión	< ± 0,15 m-1
Temperatura de trabajo	2 a 40°C
Alimentación	100-230 Vca 50/60 Hz
Tamaño	200 x 400 x 170 mm
Peso	5,6 Kg.

Fuente: [Rag, 2018]

3.1.10. Cámara termográfica Fluke TIS60

Según [Fluke, 2018], la cámara es un dispositivo de mano que permite capturar imágenes por infrarrojos aptas para diversas aplicaciones. Se puede utilizar para mantenimiento preventivo y predictivo, reparación de equipos, etc.

a. Características del equipo

Tabla 19.

Especificaciones de la cámara termográfica Fluke TiS60

Especificaciones	Fluke TiS60
Frecuencia	9 Hz
Temperatura	550°C
Sensibilidad	de 0.08°C
Tecnología	IR-Fusion
Comunicación	Wireless USB
Foco mínimo	0.45m
Código	FLK-TIS60 9HZ/MX
Calidad de imágenes	260 x 195 (50.700 píxeles)
Profundidad de campo	417:1
Rango de medida de temperatura	(-20 °C a 550 °C) (-4 °F a 1022 °F)
Pantalla	LCD de 3,5 pulgadas 320 x 240
Cámara digital	5 megapíxeles

CONTINÚA



Batería	Inteligente de iones de litio con indicador de nivel de carga LED de cinco segmentos
---------	--

Fuente: [Fluke, 2018]

3.1.11. Mazda BT-50 CRDi

[Mazda, 2017], indica que es una camioneta comercial en Ecuador por su rendimiento resistente y confiable, es la evolución de la B Series, presenta una estética diferente y tecnología que el usuario disfruta al momento de conducir.



Figura 32. Mazda BT-50 CRDi

Nuevas características del tren motriz, como el motor diésel DOHC de 16 válvulas con inyección directa common rail y el estándar de emisión Euro 4, lo que ha permitido reducir el nivel de ruido emitido por el motor y además amortiguado por el amplio uso de materiales de aislamiento, el volante de doble masa, cuenta con 5 velocidades transmisión S15M (X) -D contribuyen a un rendimiento de conducción y salida de emisión que son comparables a los automóviles de pasajeros.

a. Características de la Mazda BT-50 CRDi

Tabla 20.

Especificaciones Mazda BT-50 CRDi

Especificaciones técnicas	Mazda BT-50 CRDi
Marca	Mazda
Modelo	BT-50
Generación	BT-50
Modificación (motor)	2.5 TD (143 Hp)
Potencia máxima	143 CV /3500rpm.

CONTINÚA



Velocidad máxima	158 km/h
Aceleración 0 - 100 km/h	12.5 s
Capacidad depósito	70 l
Modelo del motor	2.5 MZR-CD
Posición del motor	Frente, a lo largo
Cilindrada -real-	2500 cm ³
Par máximo	330 Nm /1800rpm.
Sistema de combustible	CRDi
Turbina	turbocompresores
Distribución	DOHC
Construcción de los cilindros	En línea
Número Cilindros	4
Diámetro del cilindro	93 mm.
Recorrido del cilindro	92 mm.
Ratio de compresión	18.1
Número de válvulas por cilindro	4
Combustible	Diésel
consumo de combustible urbano	11.6 l/100 km.
consumo de combustible extraurbano	8.0 l/100 km.
consumo de combustible combinado	9.3 l/100 km.
Clasificación de los gases de escape	EURO IV

Fuente: [Mazda, 2017]

3.2. Formulación de emulsiones

Según (Pucuji, Repositorio Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2016) “La formulación de las emulsiones se las realizó por el método BHL, y pruebas de ensayo y error, se utilizó el triángulo de Gibb’s para determinar los puntos de estabilización del sistemas ternario de diésel, agua y surfactante” (p. 71).

Los productos emulsionantes para la elaboración de las mezclas – combustibles fueron adquiridos en el local comercial de químicos “La Casa del Químico”, comercializadora de productos químicos “Líderquim” y en la empresa de cosméticos “Life S.A.”.

(Pucuji, 2016), indica las mezclas de combustibles diésel surfactantes de agua en las mejores proporciones, por lo que se realizó muestras de 1 Kg, las cuales

se analizó su estabilidad de la mezcla durante cuatro semanas, para ponerlas en funcionamiento en el motor MZR-D 2.5 y analizar el comportamiento termográfico en cuatro puntos estratégicos influyentes en la combustión, tomando en cuenta pruebas de emisiones de gases y opacidad en diferentes condiciones de funcionamiento.

3.2.1. Proceso de elaboración de emulsiones

La elaboración de las mezclas combustible se las realiza utilizando la balanza electrónica Boeco BPS 51, el mezclador electromagnético Boeco MSH 420 y el mezclador mecánico ProctorSilex (batidora) con el siguiente procedimiento:

Tabla 21.

Proceso de obtención de emulsiones

Obtención de las emulsiones												
Orden	Descripción	Figura										
1.	Calcular el porcentaje de las sustancias a realizar la emulsión, en el caso de esta investigación la muestra será de 1 Kg.	<p>EMULSIÓN 15% AGUA</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sustancia</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIÉSEL</td> <td>73,50%</td> </tr> <tr> <td>TENSOACTIVO</td> <td>10,00%</td> </tr> <tr> <td>TENSOACTIVO ESTABILIZADOR</td> <td>1,50%</td> </tr> <tr> <td>AGUA</td> <td>15,00%</td> </tr> </tbody> </table>	Sustancia	Porcentaje	DIÉSEL	73,50%	TENSOACTIVO	10,00%	TENSOACTIVO ESTABILIZADOR	1,50%	AGUA	15,00%
Sustancia	Porcentaje											
DIÉSEL	73,50%											
TENSOACTIVO	10,00%											
TENSOACTIVO ESTABILIZADOR	1,50%											
AGUA	15,00%											

Figura 33. Porcentaje de sustancia a emulsionar

CONTINÚA

-
2. Masar los surfactantes y las sustancias que van a participar en la emulsión.



Figura 34. Masar sustancias emulsionantes

-
3. Realizar la mezcla de tensoactivo (Ácido Oleico + Nonil Fenol 6 moles) según el porcentaje calculado para la muestra de esta investigación.



Figura 35. Mezcla tensoactiva

-
4. Añadir en el recipiente todas las proporciones de las sustancias a participar en la emulsión.



Figura 36. Añadir sustancias emulsionantes

-
5. Con la ayuda del mezclador mecánico se agita las sustancias involucradas hasta tener una emulsión uniforme.



Figura 37. Mezcla de las sustancias a emulsionar

CONTINÚA



6. Se envasa las muestras de las emulsiones obtenidas.



Figura 38. Envasado de emulsiones

6. Registrar datos obtenidos del comportamiento de la emulsión.

Muestra	Estabilidad observada (semanas)	Temperatura de estabilidad (cualitativa)	Apariencia (cualitativo)
Diésel- 5% H ₂ O	4	Ambiente	Translúcida
Diésel- 10% H ₂ O	4	Ambiente	Translúcida-lechoso
Diésel- 15% H ₂ O	4	Ambiente	Lechoso
Diésel- 20% H ₂ O	4	Ambiente	lechoso

Figura 39. Comportamiento de las emulsiones

3.2.2. Cálculo de los porcentajes de cada sustancia para las emulsiones diésel – agua a 5%, 10%, 15% y 20%.

(Pucuji, 2016), manifiesta en su investigación que se pudieron obtener datos específicos para realizar una mezcla diésel – surfactantes del agua, en las mejores condiciones para el comportamiento en el motor de encendido por compresión.

Para la realización de la mezcla emulsionante es necesario obtener un tensoactivo, el cual está conformado por nonil fenol de 6 moles en una proporción del 69,70 % y ácido oleico en una proporción del 30,30 %; para la investigación se realizará 4 Kg de cada mezcla emulsionada.

3.2.3. Obtención del tensoactivo emulsionante

1Kg Mezcla tensoactivo ⇒ 69,70 % Ácido Oleico + 30,30% Ácido Nonil Fenol 6 moles

Ecuación 3. Porcentaje de tensoactivo emulsionante

- **Ácido oleico**

$$1000 \text{ gr} \quad \rightarrow \quad 100\%$$

$$69,79\% \quad \rightarrow \quad X_{\text{Ác.Oleico}}$$

$$X_{\text{Ác.Oleico}} = \frac{(69,70\%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 4. Cálculo ácido oleico

$$X_{\text{Ác.Oleico}} = 697 \text{ gr}$$

- **Nonil fenol 6 moles**

$$1000 \text{ gr} \quad \rightarrow \quad 100\%$$

$$30,30\% \quad \rightarrow \quad X_{\text{Ác. Nonil Fenol}}$$

$$X_{\text{Ác. Nonil Fenol}} = \frac{(30,30\%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 5. Cálculo nonil fenol

$$X_{\text{Ác.Oleico}} = 303 \text{ gr}$$

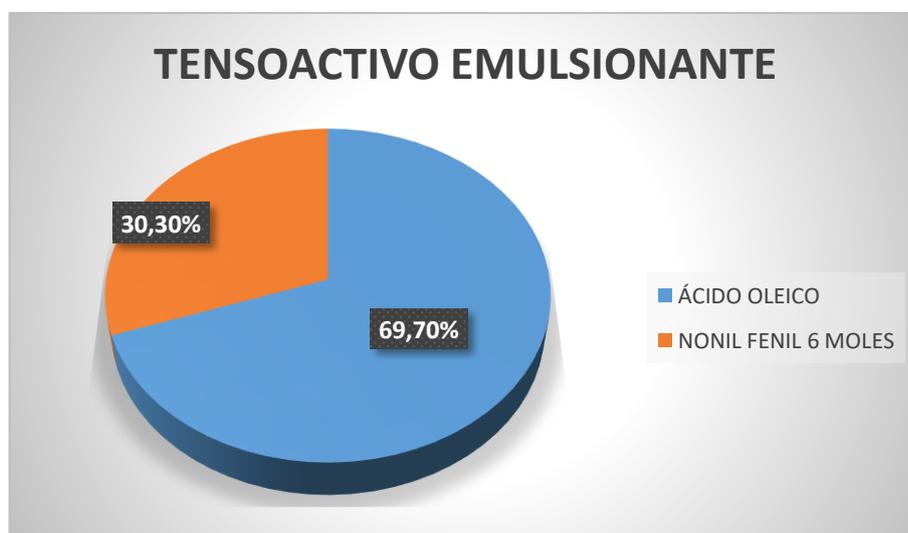


Figura 40. Tensoactivo emulsionante

3.2.4. Obtención de las mezclas diésel – surfactantes del agua

Según (Pucuji, Repositorio Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2016), se elaboró emulsiones diésel – surfactantes del agua en proporciones del 5%, 10%, 15% y 20%, para ello se realizó la mezcla de tensoactivo emulsionante, tensoactivo estabilizador, agua y diésel en proporciones calculadas posteriormente, para cada combustible se realizó una mezcla de 4 Kg para realizar pruebas de densidad, viscosidad y poder calorífico. Se usó las emulsiones en el motor MZR-D 2.5 para el análisis termográfico en las zonas de influencia en la combustión expuestas para esta investigación y el análisis de emisiones de cada uno de los carburantes en estudio.

a. Mezcla 5% Agua

- **Diésel**

$$1000 \text{ gr} \quad \rightarrow \quad 100\%$$

$$84,5 \% \quad \rightarrow \quad X_{\text{Diésel}}$$

$$X_{\text{Diésel}} = \frac{(84,50 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 6. Cálculo diésel emulsión 5% agua

$$X_{\text{Diésel}} = 845 \text{ gr}$$

- **Tensoactivo**

$$1000 \text{ gr} \quad \rightarrow \quad 100\%$$

$$10 \% \quad \rightarrow \quad X_{\text{Tensoactivo}}$$

$$X_{\text{Tensoactivo}} = \frac{(10 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 7. Cálculo tensoactivo emulsión 5% agua

$$X_{\text{Tensoactivo}} = 100 \text{ gr}$$

- **Tensoactivo estabilizante**

$$1000 \text{ gr} \rightarrow 100\%$$

$$0,5 \% \rightarrow X_{\text{Tensoactivo Estabilizante}}$$

$$X_{\text{Tensoactivo Estabilizante}} = \frac{(0,5 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 8. Cálculo tensoactivo estabilizante emulsión 5% agua

$$X_{\text{Tensoactivo Estabilizante}} = 5 \text{ gr}$$

- **Agua**

$$1000 \text{ gr} \rightarrow 100\%$$

$$5 \% \rightarrow X_{\text{Agua}}$$

$$X_{\text{Agua}} = \frac{(5 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 9. Cálculo agua emulsión 5% agua

$$X_{\text{Agua}} = 50 \text{ gr}$$

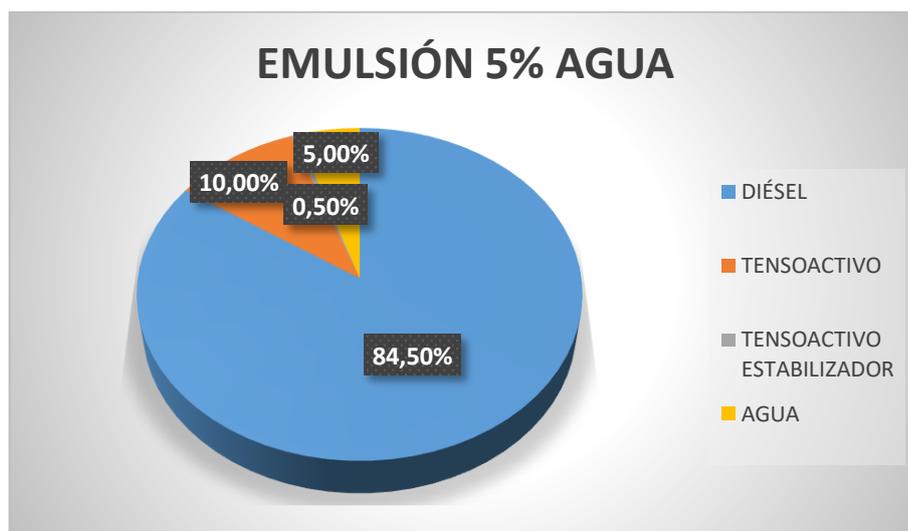


Figura 41. Emulsión 5% Agua

b. Mezcla 10% Agua

- **Diésel**

$$1000 \text{ gr} \quad \rightarrow \quad 100\%$$

$$79 \% \quad \rightarrow \quad X_{\text{Diésel}}$$

$$X_{\text{Diésel}} = \frac{(79 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 10. Cálculo diésel emulsión 10% agua

$$X_{\text{Diésel}} = 790 \text{ gr}$$

- **Tensoactivo**

$$1000 \text{ gr} \quad \rightarrow \quad 100\%$$

$$10 \% \quad \rightarrow \quad X_{\text{Tensoactivo}}$$

$$X_{\text{Tensoactivo}} = \frac{(10 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 11. Cálculo tensoactivo emulsión 10% agua

$$X_{\text{Tensoactivo}} = 100 \text{ gr}$$

- **Tensoactivo estabilizante**

$$1000 \text{ gr} \quad \rightarrow \quad 100\%$$

$$1 \% \quad \rightarrow \quad X_{\text{Tensoactivo Estabilizante}}$$

$$X_{\text{Tensoactivo Estabilizante}} = \frac{(1 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 12. Cálculo tensoactivo estabilizante emulsión 10% agua

$$X_{\text{Tensoactivo Estabilizante}} = 10 \text{ gr}$$

- **Agua**

$$1000 \text{ gr} \quad \rightarrow \quad 100\%$$

$$10 \% \quad \rightarrow \quad X_{\text{Agua}}$$

$$X_{\text{Agua}} = \frac{(10 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 13. Cálculo agua emulsión 10% agua

$$X_{\text{Agua}} = 100 \text{ gr}$$

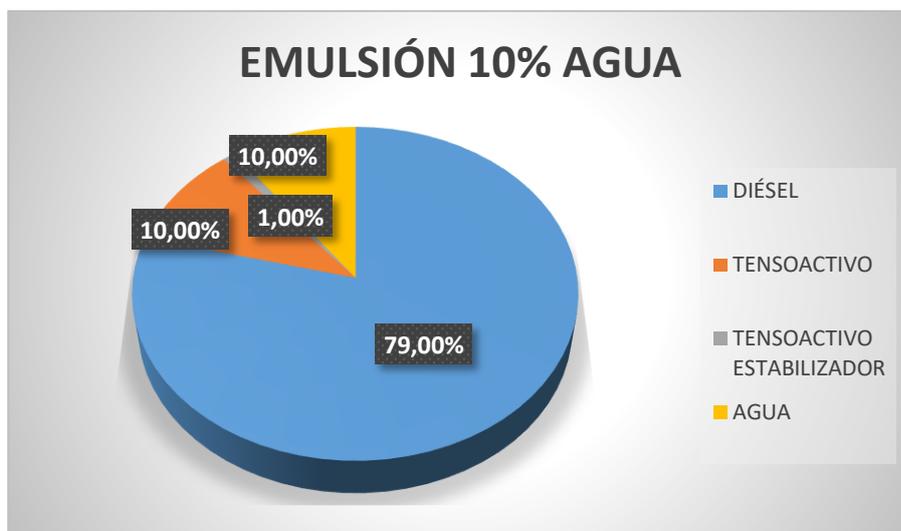


Figura 42. Emulsión 10% Agua

c. Mezcla 15% Agua

• **Diésel**

$$1000 \text{ gr} \quad \rightarrow \quad 100\%$$

$$73,5 \% \quad \rightarrow \quad X_{\text{Diésel}}$$

$$X_{\text{Diésel}} = \frac{(73,5 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 14. Cálculo diésel emulsión 15% agua

$$X_{\text{Diésel}} = 735 \text{ gr}$$

• **Tensoactivo**

$$1000 \text{ gr} \quad \rightarrow \quad 100\%$$

$$10 \% \quad \rightarrow \quad X_{\text{Tensoactivo}}$$

$$X_{\text{Tensoactivo}} = \frac{(10 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 15. Cálculo tensoactivo emulsión 15% agua

$$X_{Tensoactivo} = 100 \text{ gr}$$

- **Tensoactivo estabilizante**

$$1000 \text{ gr} \rightarrow 100\%$$

$$1,5 \% \rightarrow X_{Tensoactivo \text{ Estabilizante}}$$

$$X_{Tensoactivo \text{ Estabilizante}} = \frac{(1,5 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 16. Cálculo tensoactivo estabilizante emulsión 15% agua

$$X_{Tensoactivo \text{ Estabilizante}} = 15 \text{ gr}$$

- **Agua**

$$1000 \text{ gr} \rightarrow 100\%$$

$$15 \% \rightarrow X_{Agua}$$

$$X_{Agua} = \frac{(15 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 17. Cálculo agua emulsión 15% agua

$$X_{Agua} = 150 \text{ gr}$$

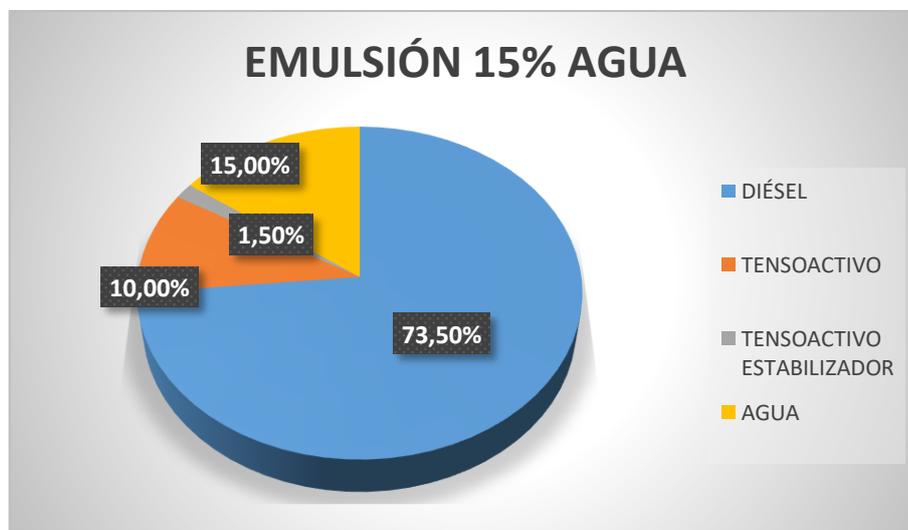


Figura 43. Emulsión 15% Agua

d. Mezcla 20%

- **DIÉSEL**

$$1000 \text{ gr} \quad \rightarrow \quad 100\%$$

$$68 \% \quad \rightarrow \quad X_{Diésel}$$

$$X_{Diésel} = \frac{(68 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 18. Cálculo diésel emulsión 20% agua

$$X_{Diésel} = 680 \text{ gr}$$

- **Tensoactivo**

$$1000 \text{ gr} \quad \rightarrow \quad 100\%$$

$$10 \% \quad \rightarrow \quad X_{Tensoactivo}$$

$$X_{Tensoactivo} = \frac{(10 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 19. Cálculo tensoactivo emulsión 20% agua

$$X_{Tensoactivo} = 100 \text{ gr}$$

- **Tensoactivo estabilizante**

$$1000 \text{ gr} \quad \rightarrow \quad 100\%$$

$$2 \% \quad \rightarrow \quad X_{Tensoactivo \text{ Estabilizante}}$$

$$X_{Tensoactivo \text{ Estabilizante}} = \frac{(2 \%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 20. Cálculo tensoactivo estabilizante emulsión 20% agua

$$X_{Tensoactivo \text{ Estabilizante}} = 20 \text{ gr}$$

- **Agua**

$$1000 \text{ gr} \quad \rightarrow \quad 100\%$$

$$20 \% \quad \rightarrow \quad X_{Agua}$$

$$X_{\text{Agua}} = \frac{(20\%)(1000 \text{ gr})}{100\%}$$

Ecuación 21. Cálculo agua emulsión 20% agua

$$X_{\text{Agua}} = 200 \text{ gr}$$

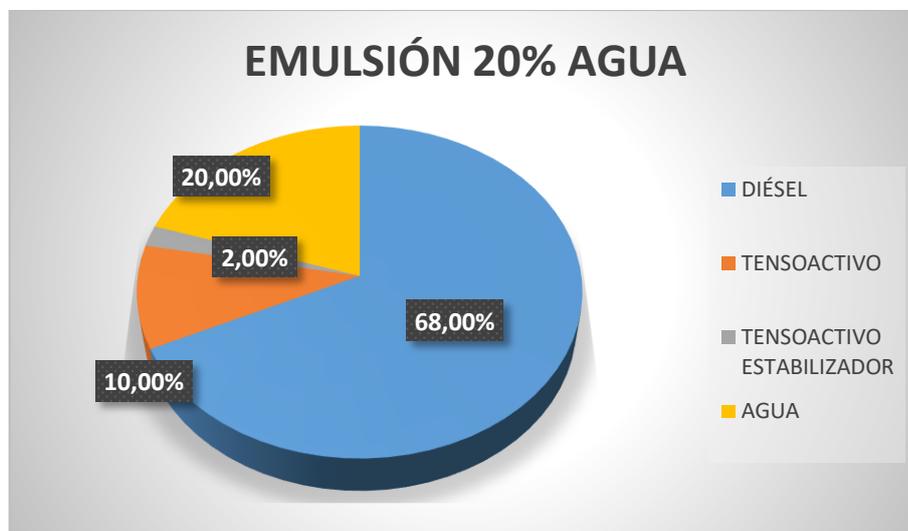


Figura 44. Emulsión 20% Agua

3.2.5. Análisis de las emulsiones

En las figura 45 se observa las emulsiones a los diferentes porcentajes realizados, las mezclas permanecieron durante cuatro semanas en reposo y a temperatura ambiente para verificar si existen alteraciones en la apariencia.



Figura 45. Muestras de emulsiones

Tabla 22.**Características de las emulsiones diésel – agua**

Muestra	Estabilidad observada (semanas)	Temperatura de estabilidad (cualitativa)	Apariencia (cualitativo)
Diésel 5% H ₂ O	4	Ambiente	Translúcida
Diésel 10% H ₂ O	4	Ambiente	Translúcida-lechoso
Diésel 15% H ₂ O	4	Ambiente	Lechoso
Diésel 20% H ₂ O	4	Ambiente	Lechoso

Las emulsiones son estables y no existió separación en ninguna muestra por cambios de temperatura ambiental, su coloración dependerá de la oxidación del diésel.

3.3. Pruebas

Una vez obtenido las emulsiones a las diferentes proporciones, es necesario realizar algunas pruebas y ensayos que nos permitan verificar la validez del combustible, se fundamenta en la norma NTE INEN 2482, que hace referencia a los biodiesel. En Ecuador no existe una normativa para el uso de emulsiones, por lo cual se referencia en la norma descrita anteriormente.

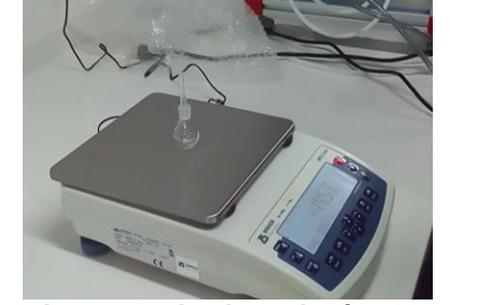
3.3.1. Picnómetro

La prueba de densidad se la realizó en esta investigación para conocer si el combustible experimental se encuentra en los rangos que exige la norma NTE INEN 2482, para evitar problemas de funcionamiento en los componentes del sistema de inyección del motor MZR-D. La prueba se llevó a cabo a temperatura ambiente (15 °C).

a. Procedimiento para obtener la densidad

Tabla 23.

Procedimiento de obtención de densidades

Orden	Descripción	Figura
1.	Lavar el picnómetro y su tapón, enjuagar con agua destilada y posteriormente con acetona. Secar utilizando aire filtrado comprimido o al vacío si fuese preciso.	
2.	Masar el picnómetro vacío.	
3.	El picnómetro utilizado nos proporciona la información del volumen exacto con agua destilada, en este caso es 10,017 ml.	
3.	Llenar el picnómetro con la muestra de combustible hasta el borde, colocar el tapón dejando que entre sin apretar, debe salir líquido por la parte superior del tapón, presionar el tapón sin tocar la parte superior para ajustarlo.	

CONTINÚA



4. Secar el picnómetro cuidando de no dejar fibras pegadas, por la parte superior pasar un paño ligeramente húmedo una sola vez para evitar retirar humedad por capilaridad.



Figura 50. Secado del picnómetro

5. Masar el picnómetro lleno de la emulsión. La diferencia entre el picnómetro lleno y vacío será la masa del combustible analizado.



Figura 51. Masar el picnómetro lleno de la emulsión

6. Calcular la densidad siendo esta el cociente entre la masa de la muestra y el volumen del picnómetro. Se repite el proceso para las emulsiones a las distintas proporciones.

EMULSIÓN 5% AGUA

Picnómetro vacío: 14,60 gr
Picnómetro lleno: 23,17 gr

$$m_{\text{Diésel}} = 23,17 - 14,60$$

$$m_{\text{Diésel}} = 8,57 \text{ gr}$$

$$\delta = \frac{m}{v}$$

$$\delta = \frac{8,57 \text{ gr}}{10,017 \text{ ml}}$$

$$\delta = 0,85554 \text{ g/ml}$$

Figura 52. Cálculo de la densidad

b. Cálculos de densidad para las emulsiones

Para conocer la densidad de cada una de las emulsiones realizada se utilizó instrumentos de laboratorio como la balanza electrónica, el picnómetro. A continuación, se describe el proceso de cálculo:

- **Diésel**

Picnómetro vacío: 14,60 gr

Picnómetro lleno: 22,96 gr

$$m_{\text{Diésel}} = 22,96 - 14,60$$

$$m_{\text{Diésel}} = 8,36 \text{ gr}$$

$$\delta = \frac{m}{v}$$

$$\delta = \frac{8,36 \text{ gr}}{10,017 \text{ ml}}$$

$$\delta = 0,83458 \text{ g/ml}$$

- **Emulsión 5% Agua**

Picnómetro vacío: 14,60 gr

Picnómetro lleno: 23,17 gr

$$m_{\text{Diésel}} = 23,17 - 14,60$$

$$m_{\text{Diésel}} = 8,57 \text{ gr}$$

$$\delta = \frac{m}{v}$$

$$\delta = \frac{8,57 \text{ gr}}{10,017 \text{ ml}}$$

$$\delta = 0,85554 \text{ g/ml}$$

- **Emulsión 10% Agua**

Picnómetro vacío: 14,60 gr

Picnómetro lleno: 23,18 gr

$$m_{\text{Diésel}} = 23,18 - 14,60$$

$$m_{\text{Diésel}} = 8,58 \text{ gr}$$

$$\delta = \frac{m}{v}$$

$$\delta = \frac{8,58 \text{ gr}}{10,017 \text{ ml}}$$

$$\delta = 0,85654 \text{ g/ml}$$

- **Emulsión 15% Agua**

Picnómetro vacío: 14,60 gr

Picnómetro lleno: 23,25 gr

$$m_{\text{Diésel}} = 23,25 - 14,60$$

$$m_{\text{Diésel}} = 8,65 \text{ gr}$$

$$\delta = \frac{m}{v}$$

$$\delta = \frac{8,65 \text{ gr}}{10,017 \text{ ml}}$$

$$\delta = 0,86353 \text{ g/ml}$$

- **Emulsión 20% Agua**

Picnómetro vacío: 14,60 gr

Picnómetro lleno: 23,28 gr

$$m_{\text{Diésel}} = 23,28 - 14,60$$

$$m_{\text{Diésel}} = 8,68 \text{ gr}$$

$$\delta = \frac{m}{v}$$

$$\delta = \frac{8,68 \text{ gr}}{10,017 \text{ ml}}$$

$$\delta = 0,86652 \text{ g/ml}$$

c. Análisis de la densidad de las emulsiones

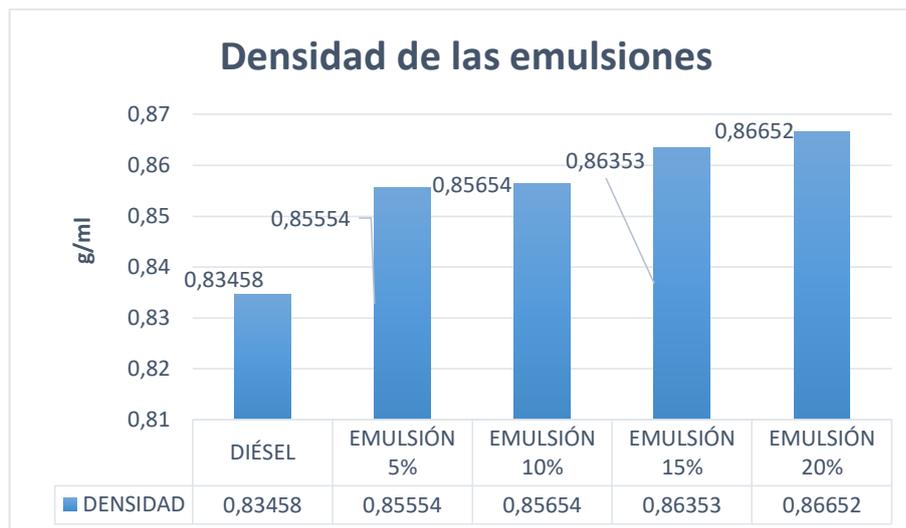


Figura 53. Variación de densidad de las emulsiones

En la figura 53 se aprecia que existe un aumento de la densidad en cuanto más porcentaje de agua tiene la emulsión, por lo tanto se concluirá que según la norma NTE INEN 2482, que la variación de densidades de las emulsiones se encuentran en el rango establecido que en este caso es de 860 kg/m^3 a 900 kg/m^3 , esto se debe a que el agua y los tensoactivos tienen una densidad mayor a que el combustible.

d. Certificado de ensayo de densidades.



Figura 54. Certificado de las pruebas de densidad

3.3.2. Viscosímetro

La viscosidad cinemática es una propiedad esencial en las sustancias líquidas, especialmente cuando se crea nuevas sustancias por ser una variable

de gran influencia en las mediciones de flujo de fluidos, en las emulsiones se realizó las pruebas de viscosidad a 40 °C, para comparar con la norma NTE INEN 2482 y aportar información del flujo de las emulsiones diésel – agua.

a. Procedimiento para obtener la densidad

Tabla 24.

Procedimiento para la viscosidad

Orden	Descripción	Figura
1.	Escoger el tipo de viscosímetro que sea el apropiado para los combustibles diésel. En nuestro caso se realizará con el Cannon – Fenske Serie 100.	
2.	Lavar el viscosímetro, enjaguar con agua destilada y posteriormente con acetona. Secar utilizando aire filtrado comprimido o al vacío si fuese preciso.	

Figura 55. Viscosímetro Cannon – Fenske Serie 100

Figura 56. Viscosímetro limpio

CONTINÚA



-
3. Utilizando un calentador se crea un sistema para mantener una temperatura estable de agua destilada utilizando una bomba para la recirculación, en este caso la temperatura de ensayo es 40 °C. Además se utilizó un vaso de precipitado, un soporte universal para tener sumergido el viscosímetro en el agua destilada a temperatura de prueba.



Figura 57. Sistema para mantener la temperatura estable

-
4. Una vez que el sistema este a temperatura estable, se procede a llenar el bulbo del viscosímetro con la muestra de combustible mediante la utilización de vacío.



Figura 58. Llenado del bulbo del viscosímetro

-
5. Se coloca los tapones en las dos entradas del viscosímetro para evitar que entre aire al viscosímetro.



Figura 59. Colocación de los tapones en el viscosímetro

CONTINÚA



6. Se coloca en el soporte universal el viscosímetro con la muestra.

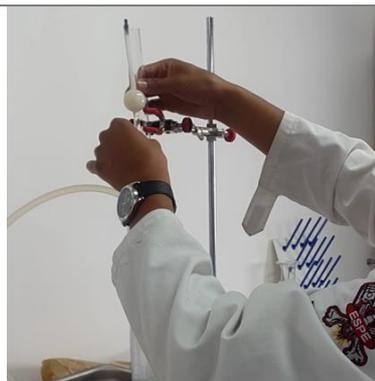


Figura 60. Colocación del viscosímetro en el soporte universal

7. Cronometrar el tiempo de llenado del bulbo C.



Figura 61. Tiempo de llenado del bulbo C

8. Se calcula la viscosidad, mediante el producto de la constante del viscosímetro y el tiempo en segundos tomado en la prueba. Se realiza todos los pasos anteriores para todas las emulsiones en estudio.

EMULSIÓN 10% AGUA

Tiempo: 380 segundos

$$V_c = C \times t$$

$$V_c = \left(0.015 \frac{\text{mm}^2}{\text{seg}^2}\right) \times (380 \text{ seg})$$

$$V_c = 5,70 \text{ cSt}$$

Figura 62. Cálculo de la viscosidad de emulsiones

b. Cálculos de viscosidad para las emulsiones

Para el cálculo de viscosidad se realizaron con los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio y se tomó en cuenta la norma NTE INEN 2482 para comparar y analizar los resultados.

- **Diésel**

Tiempo: 224 segundos

$$Vc = C x t$$

$$Vc = (0.015 \frac{mm^2}{seg^2}) x (224 seg)$$

$$Vc = 3.36 \text{ cSt}$$

- **Emulsión 5% agua**

Tiempo: 298 segundos

$$Vc = C x t$$

$$Vc = (0.015 \frac{mm^2}{seg^2}) x (298 seg)$$

$$Vc = 4,47 \text{ cSt}$$

- **Emulsión 10% agua**

Tiempo: 380 segundos

$$Vc = C x t$$

$$Vc = (0.015 \frac{mm^2}{seg^2}) x (380 seg)$$

$$Vc = 5,70 \text{ cSt}$$

- **Emulsión 15% agua**

Tiempo: 495 segundos

$$Vc = C x t$$

$$Vc = (0.015 \frac{mm^2}{seg^2}) x (495 seg)$$

$$Vc = 7,42 \text{ cSt}$$

- **Emulsión 20% agua**

Tiempo: 534 segundos

$$Vc = C \times t$$

$$Vc = \left(0.015 \frac{\text{mm}^2}{\text{seg}^2}\right) \times (512 \text{ seg})$$

$$Vc = 7,68 \text{ cSt}$$

c. Análisis gráfico de las viscosidades de las emulsiones

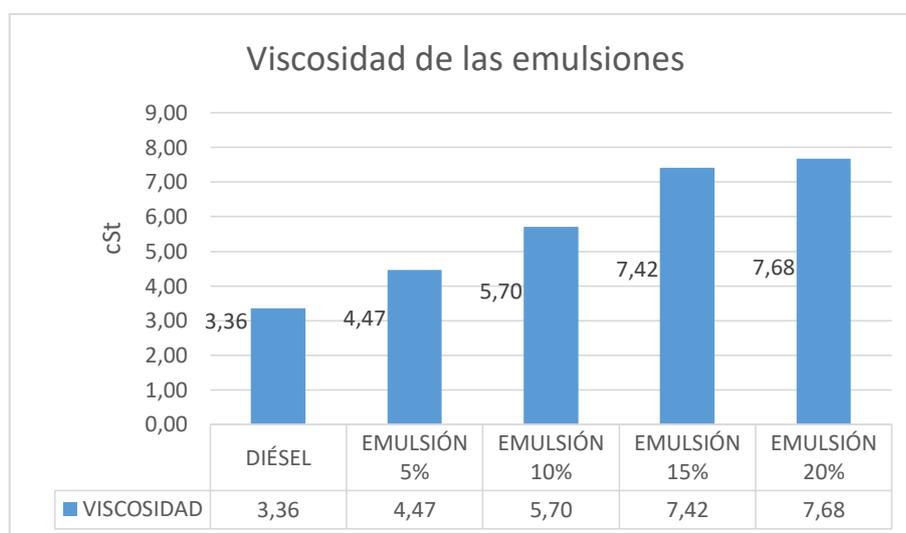


Figura 63. Variación de la viscosidad de las emulsiones.

La viscosidad de cada emulsión se incrementa conforme aumenta el porcentaje de agua en cada muestra. También se verificó que las emulsiones de 10%, 15% y 20% no cumplen con la norma NTE INEN 2482 que indica que la máxima viscosidad para un biodiesel es de (5 mm²/s).

d. Certificado del ensayo de viscosidades.



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
LABORATORIO DE PETROQUÍMICA



TEMA: ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE EMISIONES DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIESEL – SURFACTANTES DEL AGUA EN EL MOTOR MZR-D 2.5.

MUESTRA: DIÉSEL – EMULSIONES 5%, 10%, 15% Y 20%

FECHA: 9 - 12 - 2017

VISCOSIDAD

$$Vc = C \times t$$

VISCOSIDAD			
COMBUSTIBLE	CONSTANTE (mm ² /seg ²)	TIEMPO (seg)	VISCOSIDAD (cSt)
DIÉSEL	0,015	224	3,36
EMULSIÓN 5%	0,015	298	4,47
EMULSIÓN 10%	0,015	380	5,70
EMULSIÓN 15%	0,015	495	7,42
EMULSIÓN 20%	0,015	534	7,68

ISRAEL CARRILLO

Investigador

CRISTIAN TACO

Investigador

ING. GERMÁN ERAZO

Director del proyecto de investigación

Figura 64. Certificado de viscosidad de las emulsiones

3.3.3. Poder calorífico

a. Procedimiento para obtener el poder calorífico

La importancia de los ensayos del poder calorífico máximo en los combustibles es para determinar el calor verdaderamente producido en la reacción de combustión, no existe una norma donde estipule el valor del poder calorífico de emulsiones, pero se relacionó en relación al poder calorífico del diésel de uso vehicular.

Tabla 25.

Procedimiento para la determinar el poder calorífico

Orden	Descripción	Figura
1.	Realizar la limpieza de todos los componentes de la bomba calorimétrica.	 <p>Figura 65. Componentes de la bomba calorimétrica</p>
2.	Se realizó todo el procedimiento que se detalla a continuación con ácido benzoico debido a que existe una certificación del poder calorífico de esta sustancia y a partir de este dato se calculó para los combustibles en estudio.	 <p>Figura 66. Ácido Benzoico</p>

CONTINÚA



-
3. Masar la muestra de combustible a quemar en el crisol.



Figura 67. Masar la muestra de combustible

-
4. Armar la bomba de combustión, mediante un alambre fusible que se estira entre los electrodos y un pedazo de hilo de lana que irá colocado en la mitad del alambre insertado en el crisol, que hará la función de mechero.



Figura 68. Armado de la bomba de combustión

-
5. Se procede a colocar oxígeno por la válvula, desde el tanque para tener una presión de 15 bares.



Figura 69. Presurizar la bomba de combustión

-
6. Colocar la bomba calorimétrica en el balde tomando en cuenta las guías correspondientes.



Figura 70. Colocación la bomba de combustión

CONTINÚA



7. Llenar el cubo y el balde del calorímetro con agua destilada hasta las señales correspondientes.



Figura 71. Llenar las camisas con agua destilada

8. Se coloca la tapa del calorímetro y encender el equipo hasta estabilizar la temperatura de prueba, en este caso es 21 °C de la camisa interior y exterior.

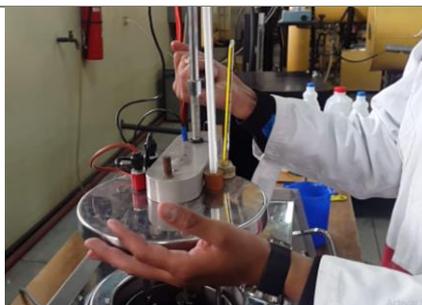


Figura 72. Colocación la tapa del calorímetro

9. Activar el interruptor de combustión a la temperatura registrada, para quemar la muestra de combustible.



Figura 73. Activación del interruptor de combustión

10. Con la ayuda del termómetro se registra el incremento máximo de temperatura de la camisa interior. Se registran los datos obtenidos.

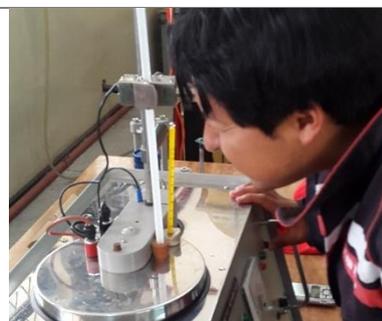


Figura 74. Visualización de la temperatura

CONTINÚA



11. Se retira la bomba calorimétrica. Se despresuriza la bomba calorimétrica para desmontar los componentes internos.



Figura 75. Despresurización y desarme de la bomba calorimétrica

12. Verificar la correcta combustión tomando en cuenta que quede limpio el crisol y se haya generado gotas de agua en las paredes de la bomba calorimétrica.



Figura 76. Verificación de la combustión

13. Se calcula el poder calorífico superior con los datos obtenidos de cada muestra de combustible.

ACIDO BENZOICO		
1.	Valor Calorífico del Acido Benzoico	J/gr 26454
2.	Peso del Acido Benzoico quemado	gr 1
3.	Energía Liberada por el Acido (1 x 2)	J 26454
4.	Temperatura Inicial	°C 21
5.	Temperatura Final	°C 23.28
6.	Elevación de Temperatura (5 - 4)	°C 2.28
7.	Capacidad Calorífica Total del aparato (1 / 6)	J/°C 11602,6315
EMULSION 20%		
8.	Peso del combustible (9 - 8)	Gr 0,8
9.	Temperatura Inicial	°C 21
10.	Temperatura Final	°C 23.51
11.	Elevación de la Temperatura (12 - 11)	°C 2.51
12.	Energía Total Liberada (13 x 7)	J 29122,6050
13.	Valor Calorífico de la Muestra (14 / 10)	J/gr 36403,2563

Figura 77. Cálculo del poder calorífico

b. Cálculos de poder calorífico para las emulsiones

- *Diésel*

Tabla 26.

Cálculo del poder calorífico del diésel

Ácido benzoico			
1.	Valor Calorífico del Ácido Benzoico	J/gr	26454
2.	Peso del Ácido Benzoico quemado	gr	1
3.	Energía Liberada por el Ácido (1 x 2)	J	26454
4.	Temperatura Inicial	°C	21
5.	Temperatura Final	°C	23,28
6.	Elevación de Temperatura (5 – 4)	°C	2,28
7.	Capacidad Calorífica Total del aparato (1 / 6)	J/°C	11602,6315
Diésel			
8.	Peso del combustible (9 – 8)	Gr	0,8
9.	Temperatura Inicial	°C	21
10.	Temperatura Final	°C	24,21
11.	Elevación de la Temperatura (12 – 11)	°C	3,21
12.	Energía Total Liberada (13 x 7)	J	37244,4471
13.	Valor Calorífico de la Muestra (14 / 10)	J/gr	46555,5588

- **Emulsión 5% agua**

Tabla 27.

Cálculo del poder calorífico de la emulsión al 5% agua

Ácido benzoico			
1.	Valor Calorífico del Ácido Benzoico	J/gr	26454
2.	Peso del Ácido Benzoico quemado	Gr	1
3.	Energía Liberada por el Ácido (1 x 2)	J	26454
4.	Temperatura Inicial	°C	21
5.	Temperatura Final	°C	23,28
6.	Elevación de Temperatura (5 – 4)	°C	2,28
7.	Capacidad Calorífica Total del aparato (1 / 6)	J/°C	11602,6315
Emulsión 5%			
8.	Peso del combustible (9 – 8)	Gr	0,8
9.	Temperatura Inicial	°C	21
10.	Temperatura Final	°C	24,03
11.	Elevación de la Temperatura (12 – 11)	°C	3,03
12.	Energía Total Liberada (13 x 7)	J	35155,9734
13.	Valor Calorífico de la Muestra (14 / 10)	J/gr	43944,9668

- **Emulsión 10% agua**

Tabla 28.

Cálculo del poder calorífico de la emulsión al 10% agua

Ácido benzoico		
1.	Valor Calorífico del Ácido Benzoico	J/gr 26454
2.	Peso del Ácido Benzoico quemado	Gr 1
3.	Energía Liberada por el Ácido (1 x 2)	J 26454
4.	Temperatura Inicial	°C 21
5.	Temperatura Final	°C 23.28
6.	Elevación de Temperatura (5 – 4)	°C 2.28
7.	Capacidad Calorífica Total del aparato (1 / 6)	J/°C 11602,6315
Emulsión 10%		
8.	Peso del combustible (9 – 8)	Gr 0,8
9.	Temperatura Inicial	°C 21
10.	Temperatura Final	°C 23,89
11.	Elevación de la Temperatura (12 – 11)	°C 2,89
12.	Energía Total Liberada (13 x 7)	J 33531,6050
13.	Valor Calorífico de la Muestra (14 / 10)	J/gr 41914,5062

- **Emulsión 15% agua**

Tabla 29.

Cálculo del poder calorífico de la emulsión al 15% agua

Ácido benzoico		
1.	Valor Calorífico del Ácido Benzoico	J/gr 26454
2.	Peso del Ácido Benzoico quemado	gr 1
3.	Energía Liberada por el Ácido (1 x 2)	J 26454
4.	Temperatura Inicial	°C 21
5.	Temperatura Final	°C 23.28
6.	Elevación de Temperatura (5 – 4)	°C 2.28
7.	Capacidad Calorífica Total del aparato (1 / 6)	J/°C 11602,6315
Emulsión 15%		
8.	Peso del combustible (9 – 8)	Gr 0,8
9.	Temperatura Inicial	°C 21
10.	Temperatura Final	°C 23,68
11.	Elevación de la Temperatura (12 – 11)	°C 2,68
12.	Energía Total Liberada (13 x 7)	J 31095,0524
13.	Valor Calorífico de la Muestra (14 / 10)	J/gr 38868,8155

- **Emulsión 20% agua**

Tabla 30.

Cálculo del poder calorífico de la emulsión al 20% agua

Ácido benzoico			
1.	Valor Calorífico del Ácido Benzoico	J/gr	26454
2.	Peso del Ácido Benzoico quemado	gr	1
3.	Energía Liberada por el Ácido (1 x 2)	J	26454
4.	Temperatura Inicial	°C	21
5.	Temperatura Final	°C	23.28
6.	Elevación de Temperatura (5 – 4)	°C	2.28
7.	Capacidad Calorífica Total del aparato (1 / 6)	J/°C	11602,6315
Emulsión 20%			
8.	Peso del combustible (9 – 8)	Gr	0,8
9.	Temperatura Inicial	°C	21
10.	Temperatura Final	°C	23,51
11.	Elevación de la Temperatura (12 – 11)	°C	2,51
12.	Energía Total Liberada (13 x 7)	J	29122,6050
13.	Valor Calorífico de la Muestra (14 / 10)	J/gr	36403,2563

c. Análisis gráfico del poder calorífico de las emulsiones

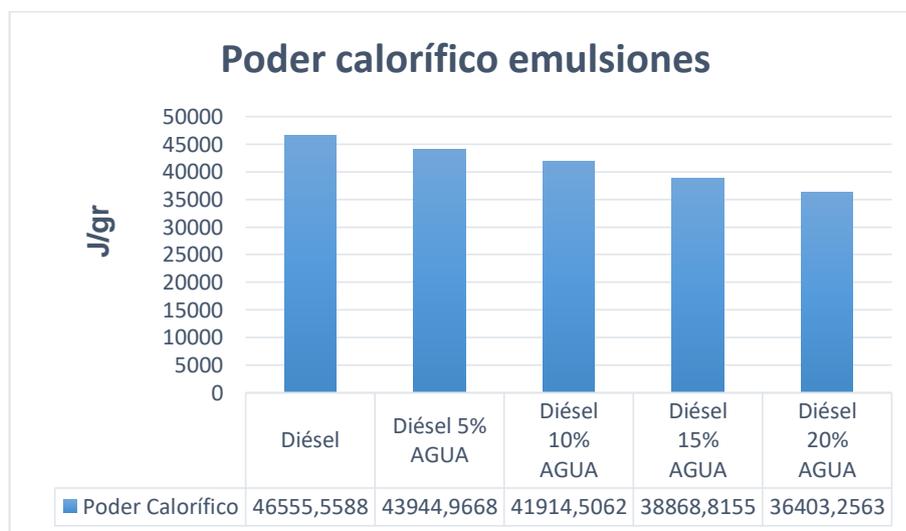


Figura 78. Variación del poder calorífico de emulsiones

Para el análisis del ensayo de poder calorífico apreciamos en la figura 78 los resultados, la emulsión del 5% disminuye en relación al diésel comercial 5,60%, la del 10% disminuye 9,96%, la del 15% disminuye 16,51% y la del 20% disminuye 21,80%, concluyendo que a mayor porcentaje de agua en la emulsión el poder calorífico disminuye.

Las pruebas también dieron como resultado una buena combustión ya que no existió en el crisol residuos y todo el combustible fue combustionado.

d. Certificado de ensayo de poder calorífico.

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS						
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA						
LABORATORIO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA						
 						
TEMA: ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE EMISIONES DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIESEL – SURFACTANTES DEL AGUA EN EL MOTOR MZR-D 2.5.						
MUESTRA: DIÉSEL – EMULSIÓN 5% DE AGUA - EMULSIÓN 10% DE AGUA - EMULSIÓN 15% DE AGUA - EMULSIÓN 20% DE AGUA						
FECHA: 14 – 12 - 2017						
PODER CALORÍFICO						
PODER CALORÍFICO DIÉSEL Y EMULSIONES						
COMBUSTIBLE	VALOR CALORÍFICO ÁCIDO BENZOICO (J/gr)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)	MASA DEL COMBUSTIBLE (gr)	CAPACIDAD CALORÍFICA DEL APARATO (J/°C)	PODER CALORÍFICO (J/gr)
DIÉSEL	26454	21	24,21	0,80	11602,6315	46555,5588
EMULSIÓN 5% AGUA	26454	21	24,03	0,80	11602,6315	43944,9668
EMULSIÓN 10% AGUA	26454	21	23,89	0,80	11602,6315	41914,5062
EMULSIÓN 15% AGUA	26454	21	23,68	0,80	11602,6315	38868,8155
EMULSIÓN 20% AGUA	26454	21	23.28	0,80	11602,6315	36403,2563
 ISRAEL CARRILLO Investigador		 ING. GERMÁN ERAZO Director de proyecto de investigación		 CRISTIAN TACO Investigador		

Figura 79. Certificado del poder calorífico de las emulsiones

CAPÍTULO IV

Se puntualiza la información del procedimiento, cálculo y pruebas realizadas en el motor MZR-D 2.5 con el uso de las mezclas obtenidas de diésel – agua con tensoactivos al 5%, 10%, 15% y 20%, analizando y comparando la influencia de entre el diésel comercial y las emulsiones formadas.

4. Experimentación termográfica y emisiones de las mezclas diésel – surfactantes del agua

4.1. Emisiones de gases

4.1.1. Procedimiento de prueba

Para conocer las emisiones de gases del motor MZR-D 2.5 y de las emulsiones a diferentes porcentajes de agua se utiliza el analizador Brain Bee AGS-688, los pasos para realizar las pruebas se detallan en la tabla 31.

Tabla 31.

Procedimiento de análisis de gases

Orden	Descripción	Figura
1.	Se realiza la conexión del equipo a la toma de energía de 110 Vac, encender la computadora y conectarla al analizador de gases	

Figura 80. Analizador de gases

CONTINÚA



2. Se conectó el contador de RPM al motor mediante la bayoneta del aceite y en los bornes de la batería para controlar la temperatura del motor y mediante bluetooth al analizador de gases.



Figura 81. Contador de RPM

3. Iniciar el programa y se realiza la prueba de estanqueidad del sistema del analizador de gases.



Figura 82. Encerado sonda lambda

4. Se selecciona el test continuo.

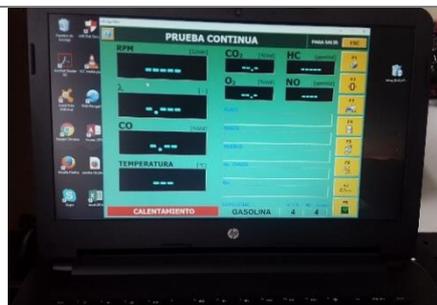


Figura 83. Test Continuo

5. Se ingresa los datos del vehículo.

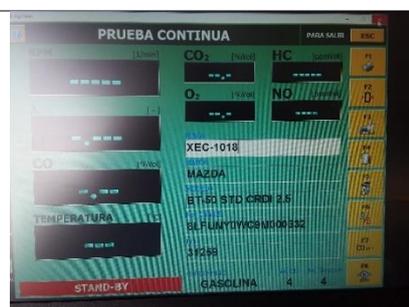


Figura 84. Datos del vehículo

CONTINÚA



6. Poner en funcionamiento el motor del vehículo.



Figura 85. Motor en funcionamiento

7. Colocar la sonda en el tubo de escape.



Figura 86. Sonda lambda en escape del vehículo

8. Realizar las pruebas con las mezclas de combustible y a diferentes condiciones de temperatura y de revoluciones del motor, propuestas anteriormente.



Figura 87. Datos de prueba de emisiones a ralentí

9. Se genera informes de cada prueba realizada.

ANALIZADOR		AGS-488	CUENTAREVOLUCIONES
Número de serie		10051300054	Número de serie
LATAJUNGA		ESPEL	TELEPHONE
BELIZARIO QUEVEDO			FAX - EMAIL
Datos del vehículo:			
Marca	MAZDA	Modelo	81-00 STD CREX 2.5
Matrícula	XEC-1018	No. Chasis	8LFLRY0W0M800332
Combustible	GASOLINA	Km recorridos	31289
Valores relevados:			
Temp. motor	[°C]	:	80
RPM	[1/min]	:	790
CO _{con}	[%Vol]	:	0.43
Lambda	[-]	:	—
CO	[%Vol]	:	0.07
CO ₂	[%Vol]	:	2.4
HC	[ppmVol]	:	0
O ₂	[%Vol]	:	17.6
NO	[ppmVol]	:	152
Fecha y hora prueba	17/01/2018 08:39		
Sello			
Firma			

Figura 88. Informe generado

CONTINÚA



10. Se recomienda cambiar los filtros del sistema del analizador de emisiones para no producir daños en el equipo.



Figura 89. Filtro

4.1.2. Prueba de emisiones de gases a 26° C

a. Tabulación de prueba a 26° C

Tabla 32.

Emisiones de gases – temperatura 26 °C

Emisiones	Diésel	Emulsión 5%	Emulsión 10%	Emulsión 15%	Emulsión 20%
CO (% Vol)	0.13	0.08	0.09	0.09	0.10
CO ₂ (% Vol)	3.6	5.4	5.0	1.9	5.1
HC(ppm Vol)	2	10	4	0	7
O ₂ (% Vol)	19.8	13.4	13.6	20.7	16
NO(ppm Vol)	200	404	405	69	339

b. Análisis de resultados prueba a 26° C

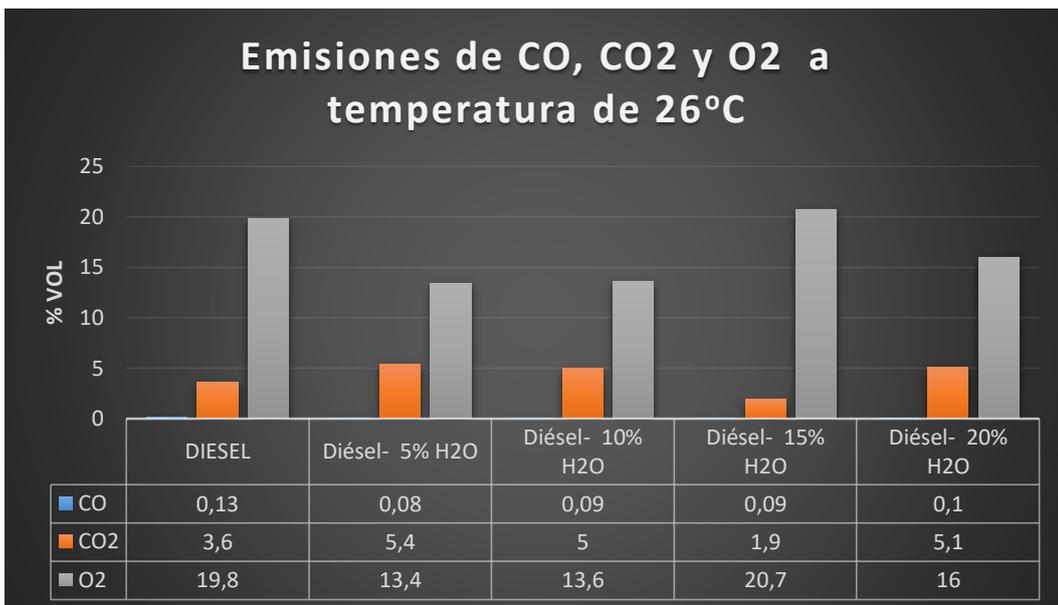


Figura 90. Emisiones de CO, CO2 Y O2 a 26 °C

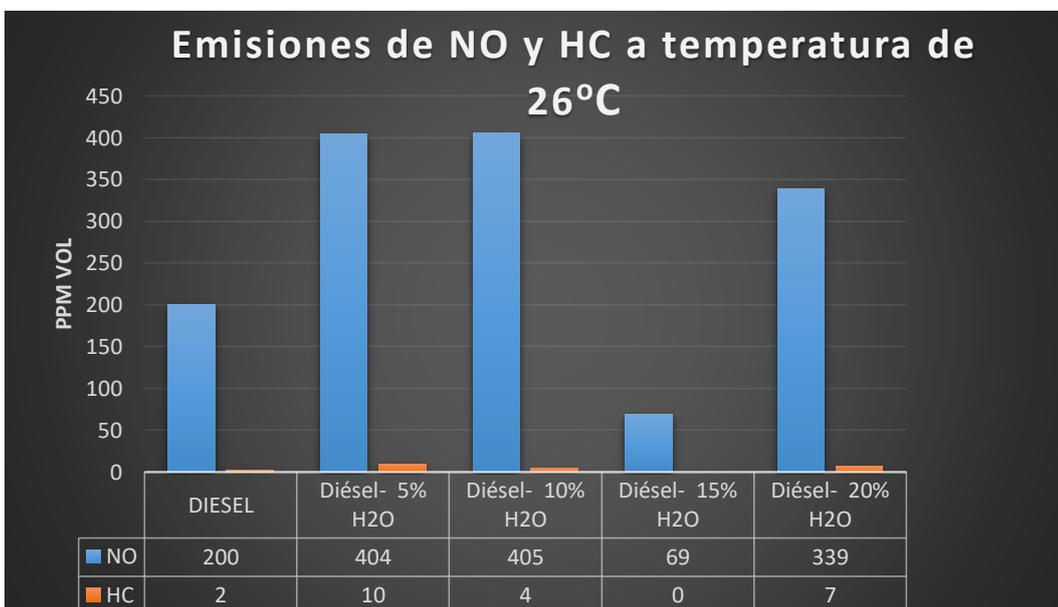


Figura 91. Emisiones de NO y HC a 26 °C

En la figura 90 tenemos una variación considerable de oxígeno ya que el con el uso de las emulsiones de 5% y 10% se tiene una reducción de 32,32 % de O₂, volvió a subir un 34,29 % en la emulsión de 15% y para la emulsión de 20 volvió

a reducir un 22,7 %. Estas variaciones irregulares solo ocurren cuando se prende el vehículo con cada emulsión.

4.1.3. Prueba de emisiones de gases a 60° C

a. Tabulación de prueba a 60° C

Tabla 33.

Emisiones de gases – temperatura 60 °C

Emisiones	Diésel	Emulsión 5%	Emulsión 10%	Emulsión 15%	Emulsión 20%
CO (% Vol)	0.08	0.11	0.12	0.13	0.13
CO ₂ (% Vol)	2.8	2.8	2.7	2.8	3.0
HC (ppm Vol)	6	0	2	7	8
O ₂ (% Vol)	17.5	16.8	16.9	16.9	16.5
NO (ppm Vol)	148	181	144	141	164

b. Análisis de resultados prueba a 60° C

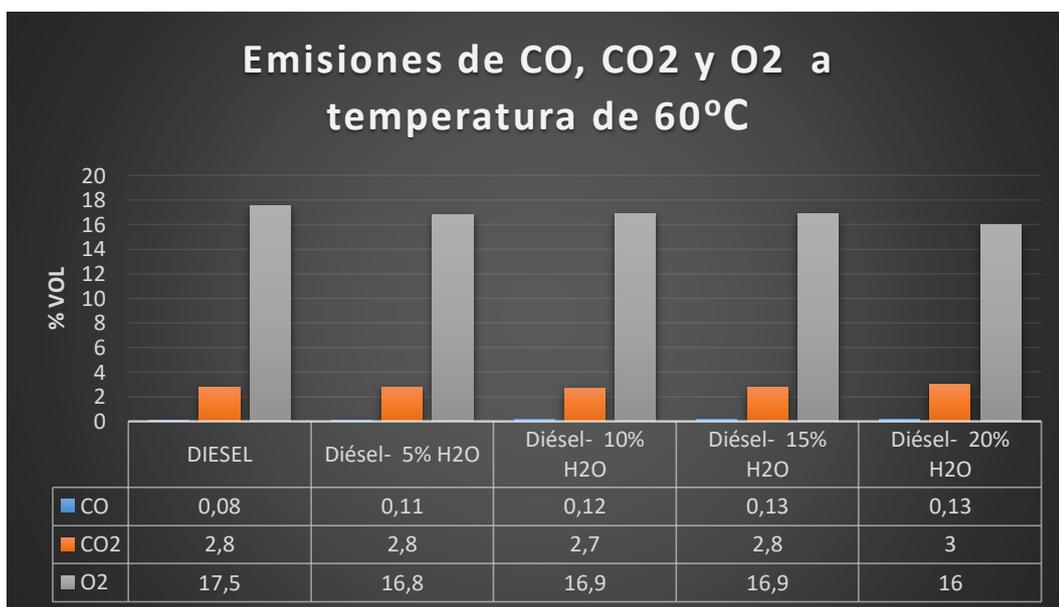


Figura 92. Emisiones de CO, CO₂ Y O₂ a 60 °C

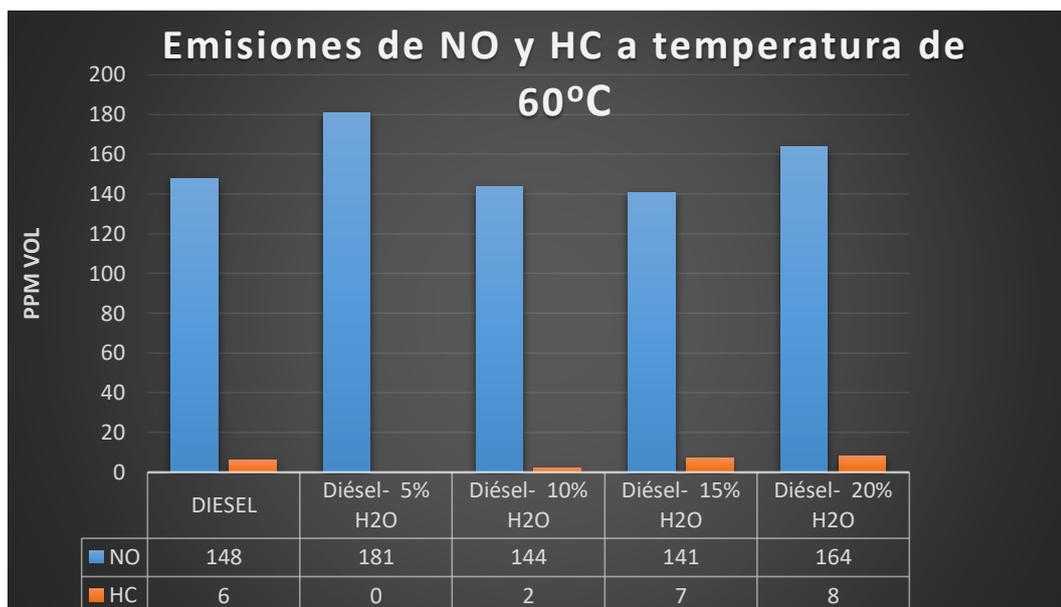


Figura 93. Emisiones de NO y HC a 60 °C

4.1.4. Prueba de emisiones de gases a 80° C

a. Tabulación de prueba a 80° C

Tabla 34.

Emisiones de gases – temperatura 80 °C

Emisiones	Diésel	Emulsión 5%	Emulsión 10%	Emulsión 15%	Emulsión 20%
CO (% Vol)	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07
CO ₂ (% Vol)	2.6	2.5	2.4	2.2	2.6
HC (ppm Vol)	0	0	0	0	1
O ₂ (% Vol)	17.6	17.4	17.6	19.3	17.3
NO (ppm Vol)	58	188	152	118	162

b. Análisis de prueba de gases a 80°

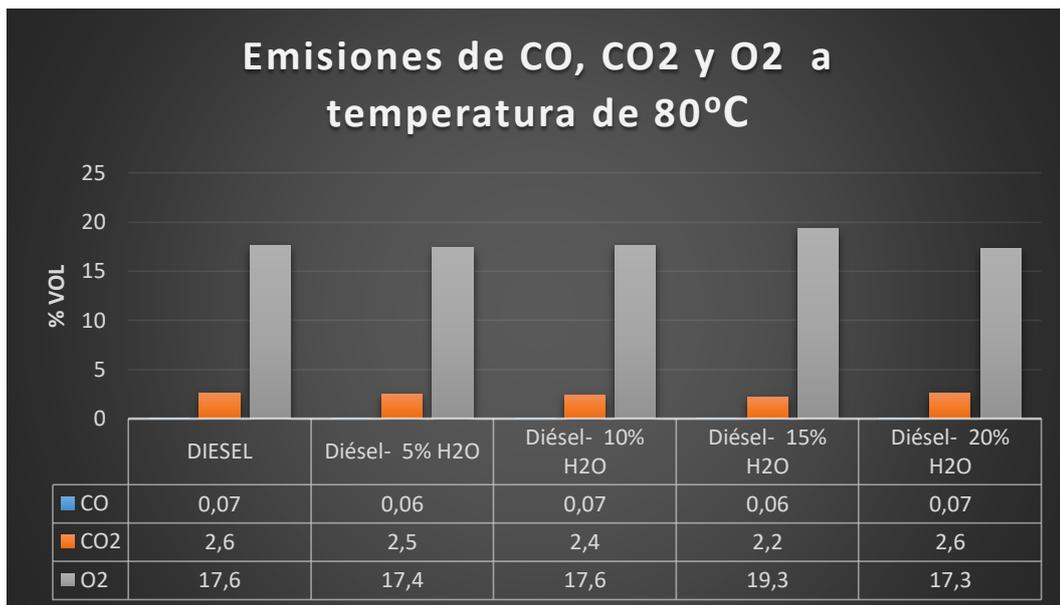


Figura 94. Emisiones de CO, CO₂ Y O₂ a 80 °C

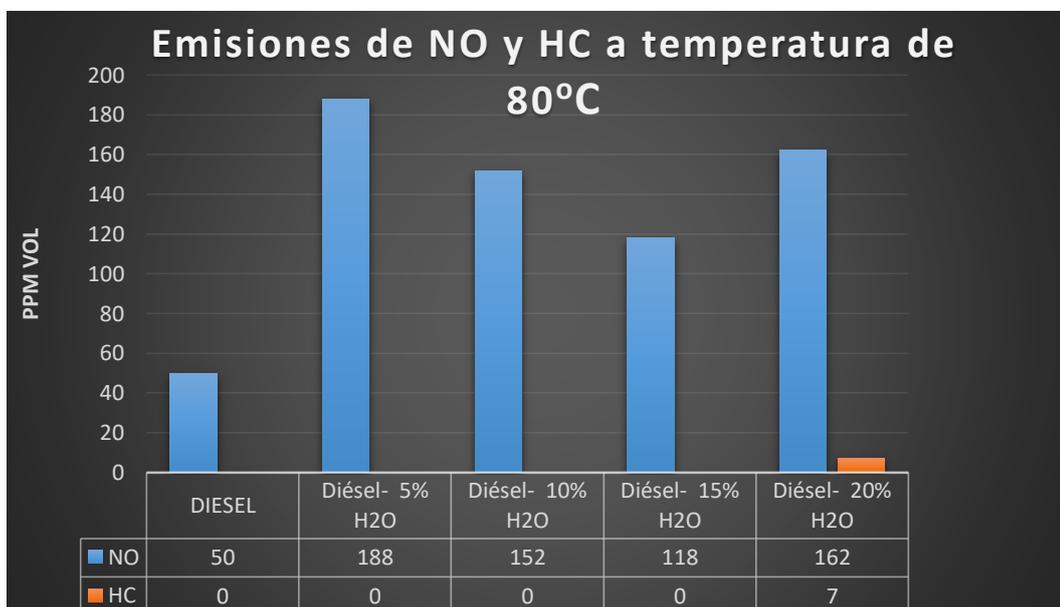


Figura 95. Emisiones de NO y HC a 80 °C

4.1.5. Prueba de emisiones de gases a ralentí

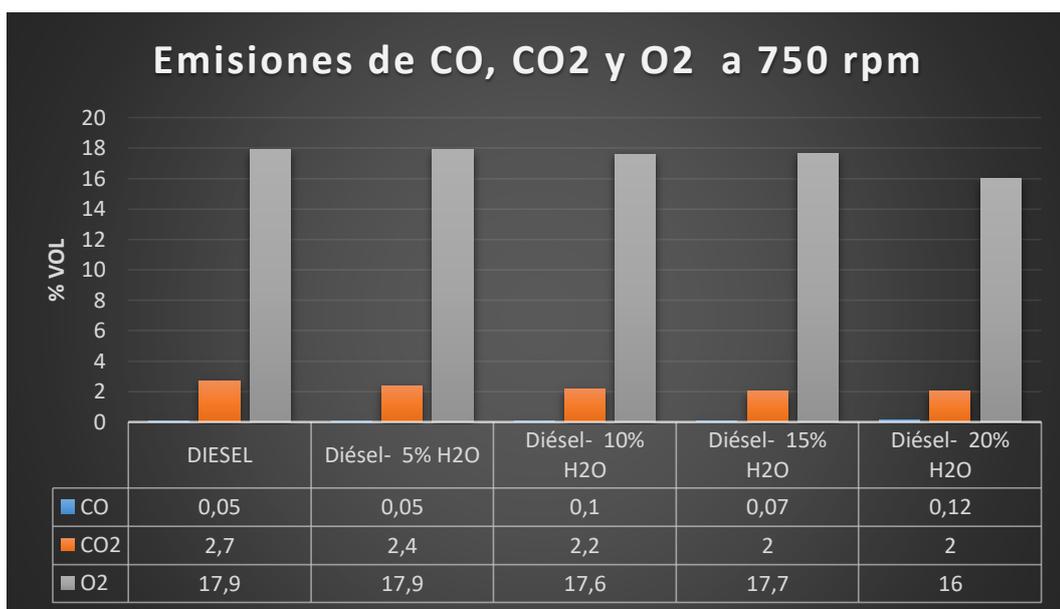
a. Tabulación de prueba a 750 rpm

Tabla 35.

Emisiones de gases – 750 rpm

Emisiones	Diésel	Emulsión 5%	Emulsión 10%	Emulsión 15%	Emulsión 20%
CO (% Vol)	0.05	0.05	0.10	0.07	0.12
CO ₂ (% Vol)	2.7	2.4	2.2	2.0	2.0
HC (ppm Vol)	0	0	0	0	0
O ₂ (% Vol)	17.9	17.9	17.6	17.7	17.2
NO (ppm Vol)	181	194	46	58	66

b. Análisis de prueba de gases a ralenti

Figura 96. Emisiones de CO, CO₂ Y O₂ a 750 rpm

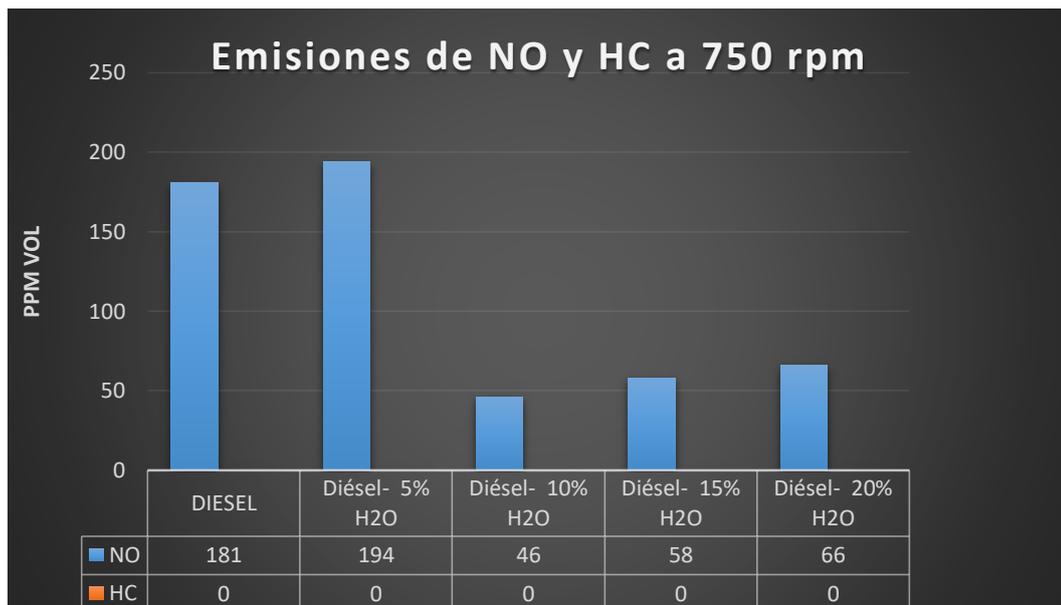


Figura 97. Emisiones de NO y HC a 750 rpm

4.1.6. Prueba de emisiones de gases a 2000 rpm

a. Tabulación de prueba a 2000 rpm

Tabla 36.

Emisiones de gases – 2000 rpm

Emisiones	Diésel	Emulsión 5%	Emulsión 10%	Emulsión 15%	Emulsión 20%
CO (% Vol)	0.12	0.12	0.11	0.08	0.07
CO ₂ (% Vol)	2.3	2.4	2.4	2.3	2.7
HC (ppm Vol)	0	0	0	0	10
O ₂ (% Vol)	17.6	17.5	17.6	17.6	17.6
NO (ppm Vol)	50	66	52	60	216

b. Análisis de prueba de gases a 2000 rpm

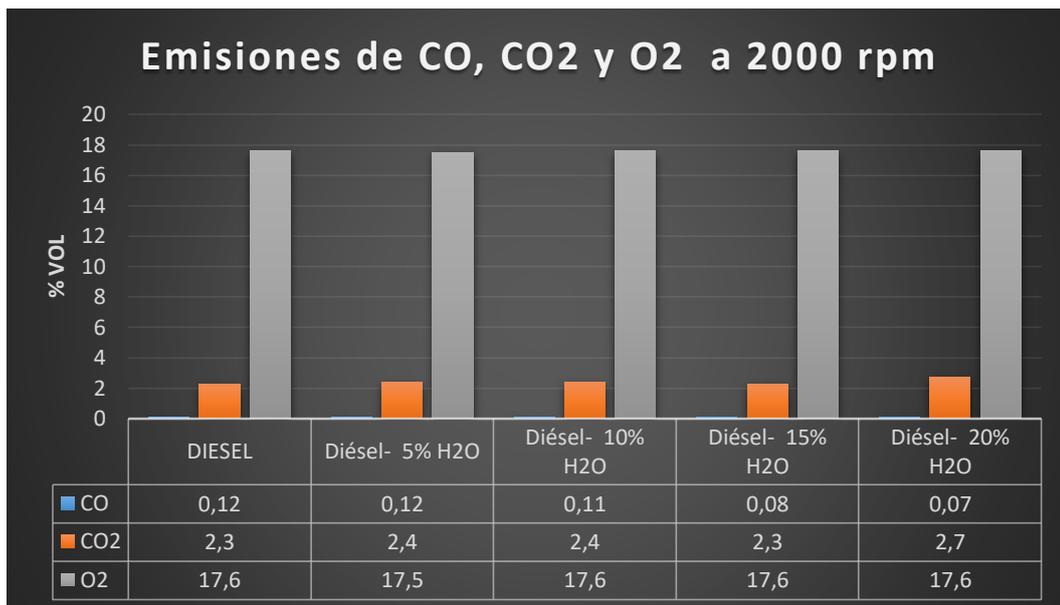


Figura 98. Emisiones de CO, CO₂ Y O₂ a 2000 rpm

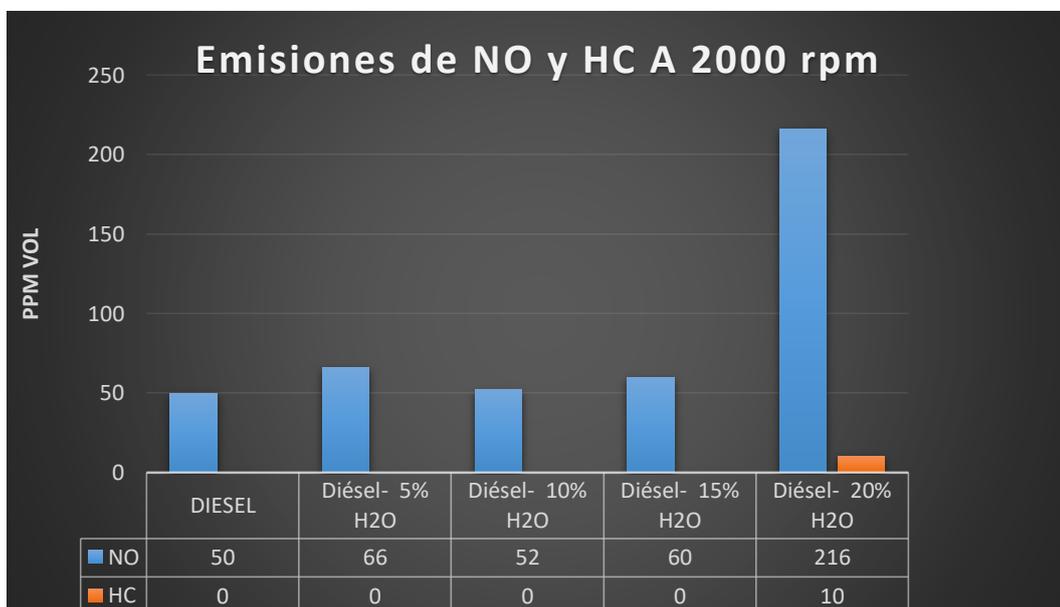


Figura 99. Emisiones de NO y HC a 2000 rpm

4.1.7. Prueba de emisiones de gases a 3000 rpm

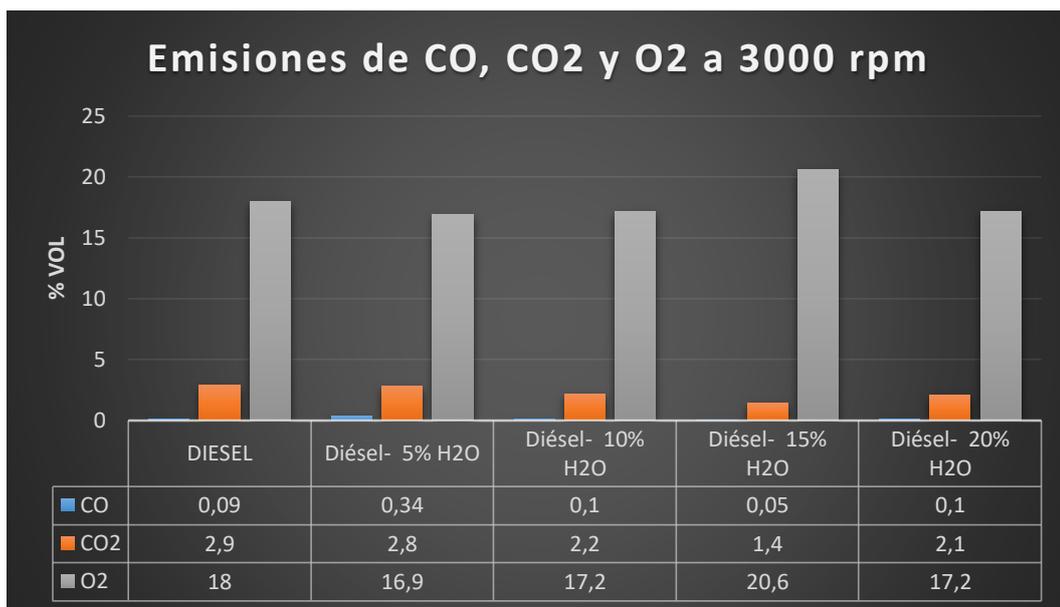
a. Tabulación de prueba a 3000 rpm

Tabla 37.

Emisiones de gases – 3000 rpm

Emisiones	Diésel	Emulsión 5%	Emulsión 10%	Emulsión 15%	Emulsión 20%
CO (% Vol)	0.09	0.34	0.10	0.05	0.10
CO ₂ (% Vol)	2.9	2.8	2.2	1.4	2.1
HC (ppm Vol)	0	18	0	0	0
O ₂ (% Vol)	18.0	16.9	17.2	20.6	17.2
NO (ppm Vol)	178	46	107	130	85

b. Análisis de prueba de gases a 3000 rpm

Figura 100. Emisiones de CO, CO₂ Y O₂ a 3000 rpm

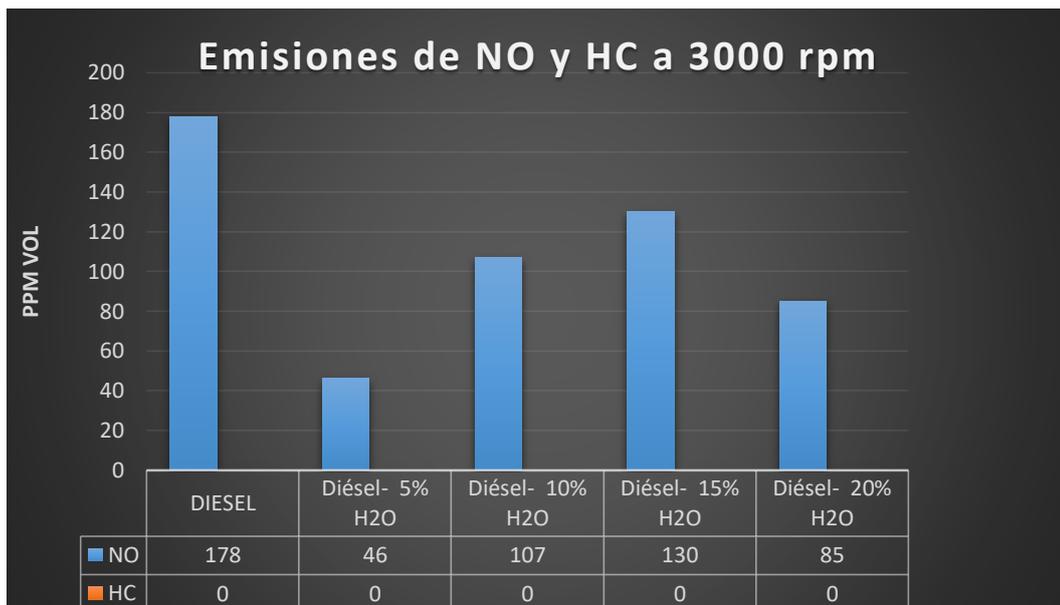


Figura 101. Emisiones de NO y HC a 3000 rpm

En las gráficas se puede apreciar que no hay una variación considerable en lo que respecta al oxígeno ya que con el uso de cada emulsión oscila entre los 11,11 % que representa entre 1 a 2 % de Vol, con excepción al momento de prender el vehículo que se encuentra en 26^o de temperatura. Así mismo el anhídrido carbónico CO₂ no sufre ninguna variación considerable la cual varía de una 1 a 1,5 % Vol que es despreciable en consideración a estos valores igualmente con excepción en el momento que se enciende el vehículo en este caso aumento el CO₂ de 3,6 a 5,4 %Vol el cual descendió considerablemente a 1,9 que representa el 62,74% del en relación al valor más alto en esta prueba. Tanto el O₂ como el CO₂ son gases inofensivos al medio ambiente.

Los valores de monóxido de carbono CO como se puede observar en las gráficas es mínimo no sobrepasan el 0,4 % Vol, lo cual es muy bueno ya que es uno de los gases contaminantes del ambiente y se rige a la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 2 207:2002 indica en la tabla del punto 6.2.1. que el límite de emisión de CO es de 6,9 g/km.

4.2. Opacidad

4.2.1. Procedimiento de pruebas de opacidad

Para el control de opacidad de humo del motor MZR-D 2.5 se utiliza el opacímetro Cartek siguiendo los pasos indicados en la tabla 38.

Tabla 38.

Procedimiento de pruebas con el opacímetro

Orden	Descripción	Figura
1.	Se realiza la conexión del equipo y de la computadora a la toma de energía de 110 Vac. y encender la computadora.	 <p data-bbox="1018 969 1318 999">Figura 102. Opacímetro</p>
2.	Se conectó el contador de RPM al motor mediante la bayoneta del aceite y en los bornes de la batería para controlar la temperatura del motor y mediante bluetooth al software del opacímetro Cartek.	 <p data-bbox="979 1451 1356 1480">Figura 103. Contador de RPM</p>
3.	Se ingresa al software del opacímetro y se espera que se sincronice y calibre todo. Se Ingresan los datos del vehículo.	 <p data-bbox="954 1821 1382 1850">Figura 104. Software de opacidad</p>

CONTINÚA



-
4. Calibrar el túnel del opacímetro.



Figura 105. Opacímetro calibrando

-
5. Prender en funcionamiento el motor del vehículo.



Figura 106. Camioneta y opacímetro

-
6. Colocar la sonda en el tubo de escape.



Figura 107. Sonda de opacímetro

-
7. Se procede a realizar la secuencia de pasos sugeridos por el software, para cada prueba de los combustibles. (Aceleraciones a fondo a determinado tiempo).

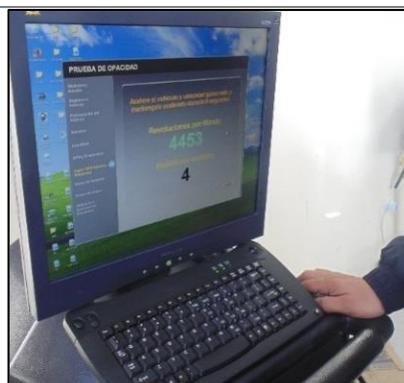


Figura 108. Indicaciones del opacímetro

CONTINÚA



- 8. Se genera informes de cada prueba con diferente combustible.

ESPE LAFACQUA Te: 000000		Entri	
DATO DEL CLIENTE NOMBRE: CRISTIAN APELLIDO: TACI IDENTIFICACION: 172087142		DATO DEL VEHICULO PLACA: XEC1918 MODELO: 2009 MARCA: MARCA USBA NUMERO DE MOTOR: 8130 VIN: RUPN1YNG3N000332 DAME EXHIBITO: 63.00	
PRUEBA ENSAJO: 1.61 % PRUEBA 1: 2.22 % PRUEBA 2: 2.51 % PRUEBA 3: 2.55 % OPACIDAD: 2.55 %	DISPOSITIVO DE MEDICION: 8181 RSU RESULT: 753 RSU RSU OPERATIVA: 4487 RSU TEMPERATURA DE OPACIDAD: 2 ° NORMA: OPACIDAD LIMITE: 15.00 % MOTIVO:		
FECHA Y HORA DE LA PRUEBA: 13/02/2019 15:46:27			
RESULTADO: APROBADA			
OPERARIO RESPONSABLE: QUINCE			
ESPE LAFACQUA Te: 000000		Entri	
DATO DEL CLIENTE NOMBRE: CRISTIAN APELLIDO: TACI IDENTIFICACION: 172087142		DATO DEL VEHICULO PLACA: XEC1918 MODELO: 2009 MARCA: MARCA USBA NUMERO DE MOTOR: 8130 VIN: RUPN1YNG3N000332 DAME EXHIBITO: 63.00	
PRUEBA ENSAJO: 1.61 % PRUEBA 1: 2.22 % PRUEBA 2: 2.51 % PRUEBA 3: 2.55 % OPACIDAD: 2.55 %	DISPOSITIVO DE MEDICION: 8181 RSU RESULT: 753 RSU RSU OPERATIVA: 4487 RSU TEMPERATURA DE OPACIDAD: 2 ° NORMA: OPACIDAD LIMITE: 15.00 % MOTIVO:		
FECHA Y HORA DE LA PRUEBA: 13/02/2019 15:46:27			
RESULTADO: APROBADA			

Figura 109. Informe generado de opacidad

4.2.2. Tabulación de datos de opacidad

Tabla 39.

Opacidad de cada emulsión

Combustible	Opacidad (%)
Diésel	1,61
Emulsión 5%	2,46
Emulsión 10%	2,69
Emulsión 15%	2,53
Emulsión 20%	4,17

4.2.3. Análisis de pruebas de opacidad

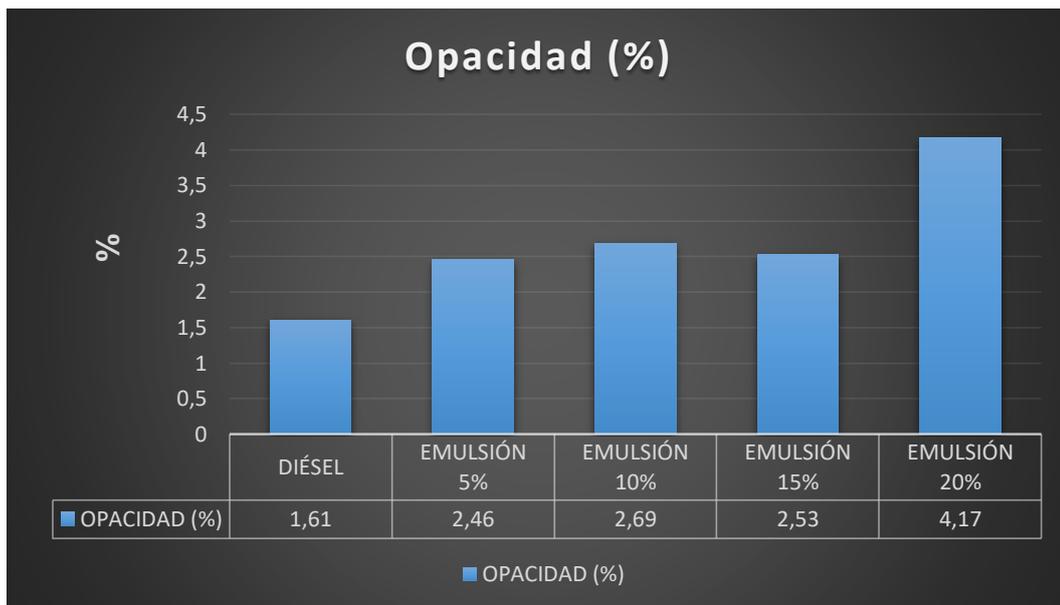


Figura 110. Variación de opacidad

La emulsión de 20% de agua presento 4,17% de opacidad más que el resto de emulsiones y que las del diésel comercial con el cual presento una diferencia 2,56% sin embargo, esta en el rango de aprobación que es el de 15%.

4.3. Termografía

4.3.1. Procedimiento de pruebas termográficas

Las pruebas termográficas muestra el comportamiento térmico de un material respecto a la temperatura mediante imágenes, para lo cual se utiliza la cámara FLUKE TiS60 y sus pasos se detallan en la tabla 40.

Tabla 40.

Procedimiento termográfico en el vehículo

Orden	Descripción	Figura
1.	Se determina los lugares de captura termográfica en el motor.	 <p data-bbox="954 1088 1378 1122">Figura 111. Zonas de termografía</p>
2.	Se debe constatar que no refleje brillo los sitios analizar, en caso de ser así se debe recubrir con taípe para que genere datos precisos. Esto también se lo hace cuando se desconoce la emisividad de un material.	 <p data-bbox="991 1458 1342 1518">Figura 112. Taípe en riel de combustible</p>
3.	Se enciende la cámara termográfica y calibra manualmente los parámetros para tomar las capturas adecuadamente.	 <p data-bbox="954 1928 1378 1962">Figura 113. Cámara termográfica</p>

CONTINÚA



-
4. Usar el luxómetro para verificar la luz de las zonas de pruebas termográficas.



Figura 114. Luxómetro

-
5. En el caso de haber demasiada luz en los puntos analizar, se hace un recubrimiento con el fin de obtener la menor luminosidad posible (0 y 12).



Figura 115. Recubrimiento

-
6. Se pone en funcionamiento el motor del vehículo. Supervisar el contador de rpm que muestra la temperatura de funcionamiento para realizar las termografías.



Figura 116. Vehículo prendido

-
7. Se realiza las termográficas, enfocar de manera correcta para datos exactos. Las pruebas se realizó a 26,60 y 80° C, las de 750,2000 y 3000 rpm se las hizo a temperatura de trabajo.



Figura 117. Visualización en la cámara termográfica

CONTINÚA



8. Mediante el software Smartview se analiza los puntos térmicos que se necesita de cada termografía.

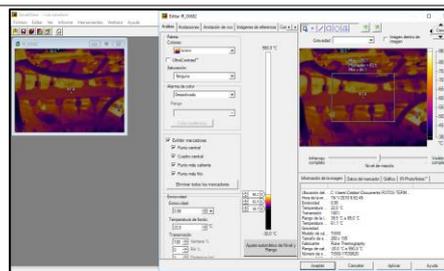


Figura 118. Smartview

9. El software Fluke generará un informe del análisis termográfico para la validación de los datos.

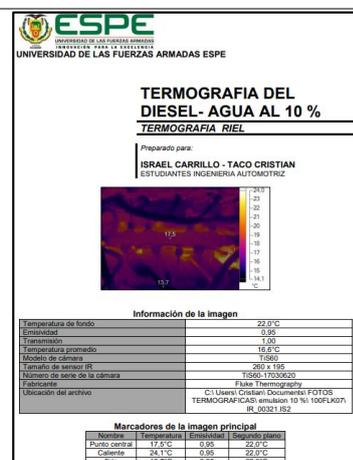


Figura 119. Informe de Smartview

4.3.2. Análisis de datos termográficos

Las termografías realizadas en el riel, inyector, múltiple de escape y catalizador se encuentran en las tablas del anexo las cuales nos dan los datos de cada prueba que se presentan en las siguientes tablas para su análisis.

a. Análisis termográfico en riel

Tabla 41.

Temperaturas del riel obtenidas en pruebas termográficas

Temperaturas y régimen de trabajo	Temperaturas del riel				
	Diésel	Emulsión 5%	Emulsión 10%	Emulsión 15%	Emulsión 20%
	°C	°C	°C	°C	°C
26 °C	26,4	25,3	17,4	28,5	18,1
60 °C	36,0	30,2	27,9	32,5	28,6
80 °C	45,4	42,7	41,9	45,1	48
750 RPM	45,5	49,4	52,2	60	55,7

2000 RPM	52,7	63,7	53,6	61,2	58,4
3000 RPM	55,3	63,1	58,5	65,1	61,9

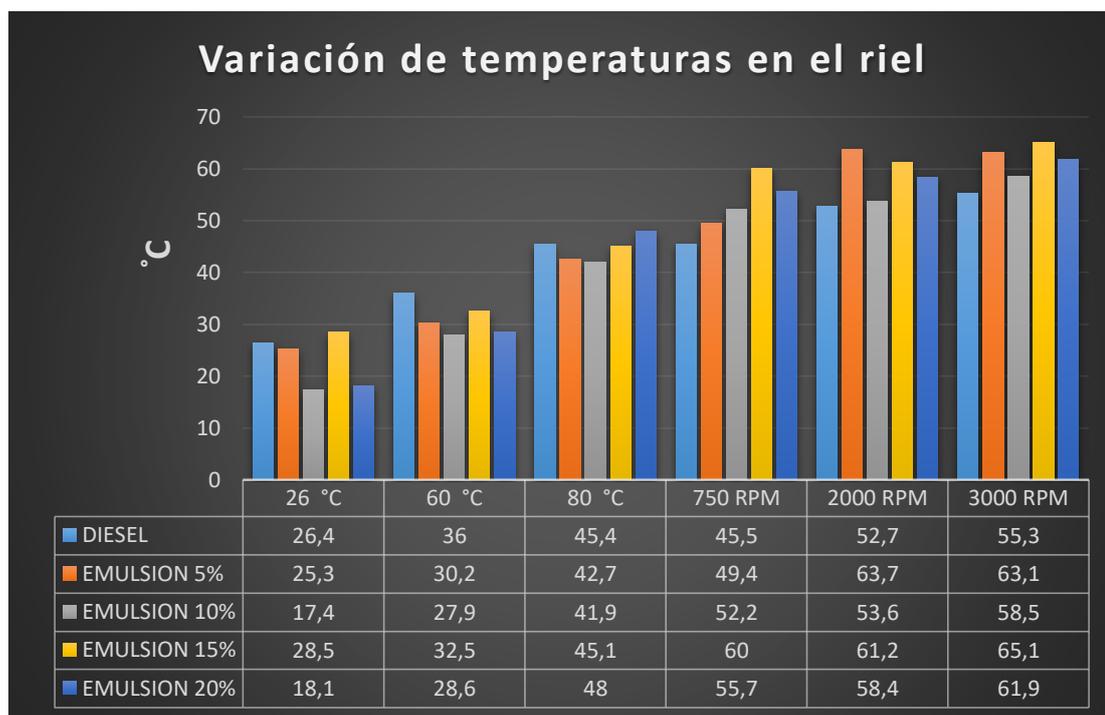


Figura 120. Variación de temperaturas en el riel

El diésel comercial superó la temperatura de las emulsiones solo en la prueba a 26 °C del motor, las emulsiones de 5% y 15% fueron las que obtuvieron mayores temperaturas en la mayoría de pruebas.

La emulsión de diésel con 15% de agua alcanza mayores temperaturas a diferentes rpm del motor entre 60° C a 65,1 °C, la emulsión de 5% también llegan a 63 °C con excepción en la prueba de 750 rpm que llega hasta los 49,8 °C.

b. Análisis termográfico en inyector 1

Tabla 42.

Temperaturas del inyector 1 obtenidas en pruebas termográficas

Temperaturas y régimen de trabajo	Temperaturas del inyector 1				
	Diésel	Emulsión 5%	Emulsión 10%	Emulsión 15%	Emulsión 20%
	°C	°C	°C	°C	°C

CONTINÚA



26 °C	29,2	31,1	22,1	32,5	22,2
60 °C	50,7	42,4	41,6	44,8	39
80 °C	64,3	64,6	61,2	62,5	64,5
750 RPM	68,1	73,3	73,5	78,7	73,8
2000 RPM	73,4	81,4	76,1	78,4	74,4
3000 RPM	73,5	80,8	80,5	81,4	81,4

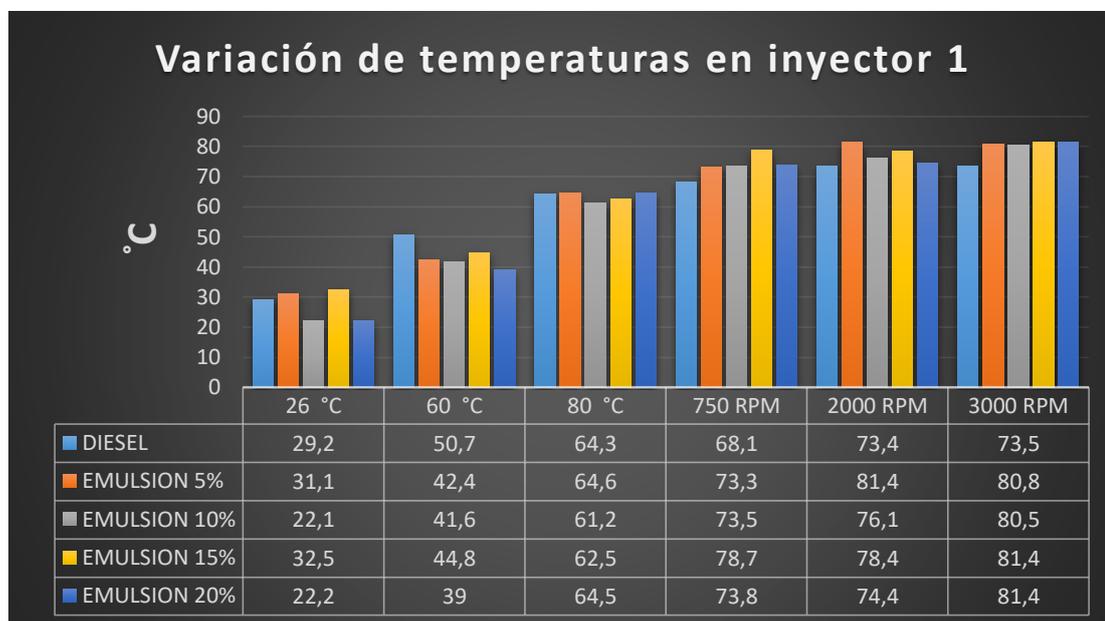


Figura 121. Variación de temperatura en inyector 1

En la prueba de 80° y de rpm de funcionamiento del motor no existe una variación entre combustibles más alto que el 15 %.

La variación más grande se encuentra en la prueba a 26 °C de funcionamiento del motor entre la emulsión de 15 % y 20% siendo la primera la mayor y su diferencia representa el 31,69%.

c. Análisis termográfico en inyector 2

Tabla 43.

Temperaturas del inyector 2 obtenidas en pruebas termográficas

Temperaturas y régimen de trabajo	Temperaturas en inyector 2				
	Diésel	Emulsión 5%	Emulsión 10%	Emulsión 15%	Emulsión 20%
	°C	°C	°C	°C	°C

CONTINÚA



26 °C	29,4	31,9	22	32,1	23,9
60 °C	52,4	43,4	41,6	45	41,1
80 °C	65,7	64,5	61,1	62,7	65,4
750 RPM	71,0	74,5	73,9	76,9	74,3
2000 RPM	75,4	82,0	76,1	76,1	74,7
3000 RPM	73,9	81,5	80,7	82,8	82,3

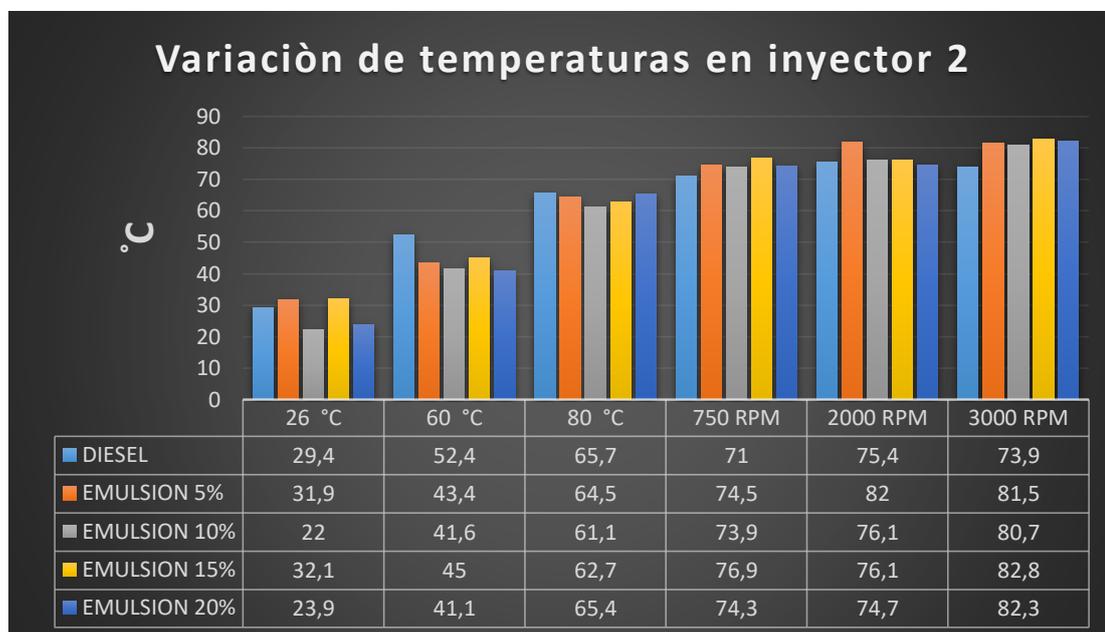


Figura 122. Variación de temperaturas en inyector 2

En la prueba de 80° y de rpm de funcionamiento del motor no existe una variación entre combustibles más alto que el 11 %.

En la prueba de 60° C de funcionamiento del motor el diésel comercial tiene la temperatura más alta 21,56% más que la menor que es la emulsión de 20%.

La mayor variación se presenta en la prueba de 26 ° C en un 31,46% entre la mayor temperatura que es de 32,1 de la emulsión de 15% y la menor que es de 22 ° C que es de la emulsión de 10%.

d. Análisis termográfico en inyector 3

Tabla 44.

Temperaturas del inyector 3 obtenidas en pruebas termográficas

Temperaturas y régimen de trabajo	Temperaturas en inyector 3				
	Diésel	Emulsión 5%	Emulsión 10%	Emulsión 15%	Emulsión 20%
	°C	°C	°C	°C	°C
26 °C	29,2	32,5	22,8	32,6	26
60 °C	54,8	45,8	43,6	47,2	42,3
80 °C	64,5	66,6	63,1	63,9	67
750 RPM	74,1	80,7	75,6	78,2	74,6
2000 RPM	76,8	83,6	77	79,4	76,5
3000 RPM	77,9	84,0	84,2	83,8	84,9

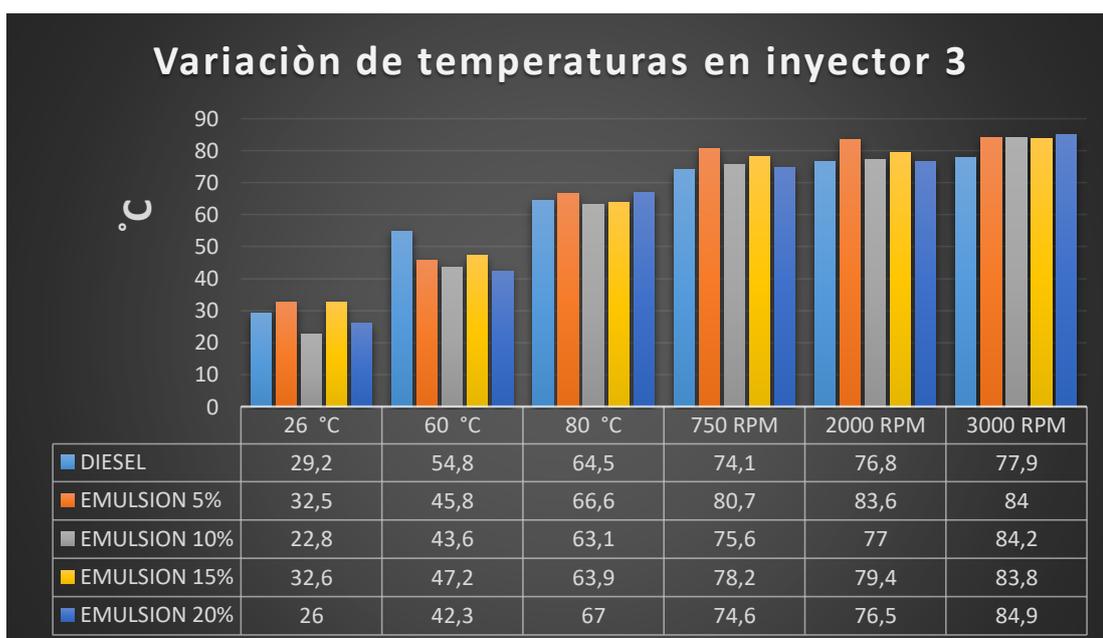


Figura 123. Análisis termográfico en inyector 3

En la prueba de 26 °C el diésel comercial tiene una temperatura de 29,2 °C luego sube a 32,5 °C que un aumento del 10,15 %, luego baja 29,84% con la emulsión de 10%, vuelve a subir un 69,93% con la emulsión de 15 % y concluye bajando un 12,30%. Esto muestra las variaciones aleatorias entre el diésel comercial y las emulsiones cada vez que se pone en funcionamiento el motor.

e. Análisis termográfico en inyector 4

Tabla 45.

Temperaturas del inyector 4 obtenidas en pruebas termográficas

Temperaturas y régimen de trabajo	Temperaturas en inyector 4				
	Diésel	Emulsión 5%	Emulsión 10%	Emulsión 15%	Emulsión 20%
	°C	°C	°C	°C	°C
26 °C	29,6	32,8	24,9	33,6	32,3
60 °C	55,5	47,7	44,7	48,5	45,4
80 °C	67,4	65,5	64,3	65,2	64,8
750 RPM	76,0	81,7	76	76,5	74,6
2000 RPM	78,3	84,1	75,2	77,8	77,6
3000 RPM	78,7	83,1	84,1	83,8	85,8

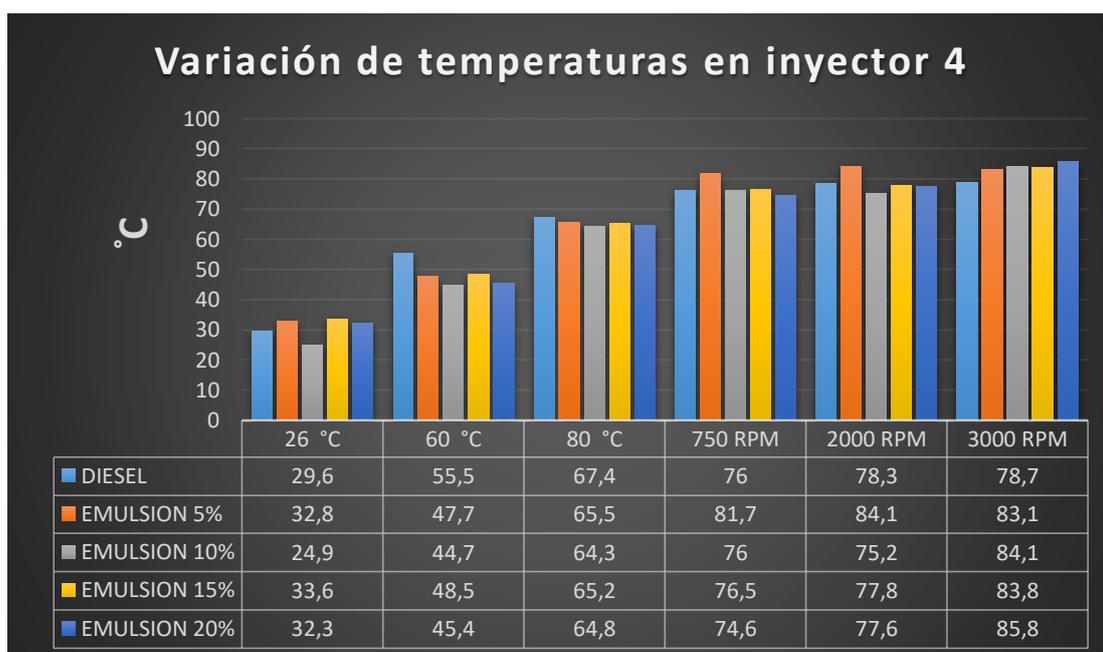


Figura 124. Variación de temperatura en inyector 4

Al igual que todos los inyectores en las pruebas de 80 °C y las de rpm los inyectores 1,2,3,4 no varían más de un 10% a 15%, así como el diésel comercial tiene la mayor temperatura en la prueba de 60° C.

f. Análisis termográfico en múltiple de escape

Tabla 46.

Temperaturas del múltiple de escape obtenidas en pruebas termográficas

Temperaturas del múltiple de escape					
Temperaturas y régimen de trabajo	Diésel	Emulsión 5%	Emulsión 10%	Emulsión 15%	Emulsión 20%
	°C	°C	°C	°C	°C
26 °C	67,7	74,2	81,4	77,7	92,1
60 °C	82,8	102,6	103,9	101,4	102,1
80 °C	109,8	110,7	114	110,7	114,7
750 RPM	156,2	170,3	129,6	124,1	133,5
2000 RPM	142,9	154,8	142,5	150,8	146
3000 RPM	129,3	136,8	185,7	173,2	192,4

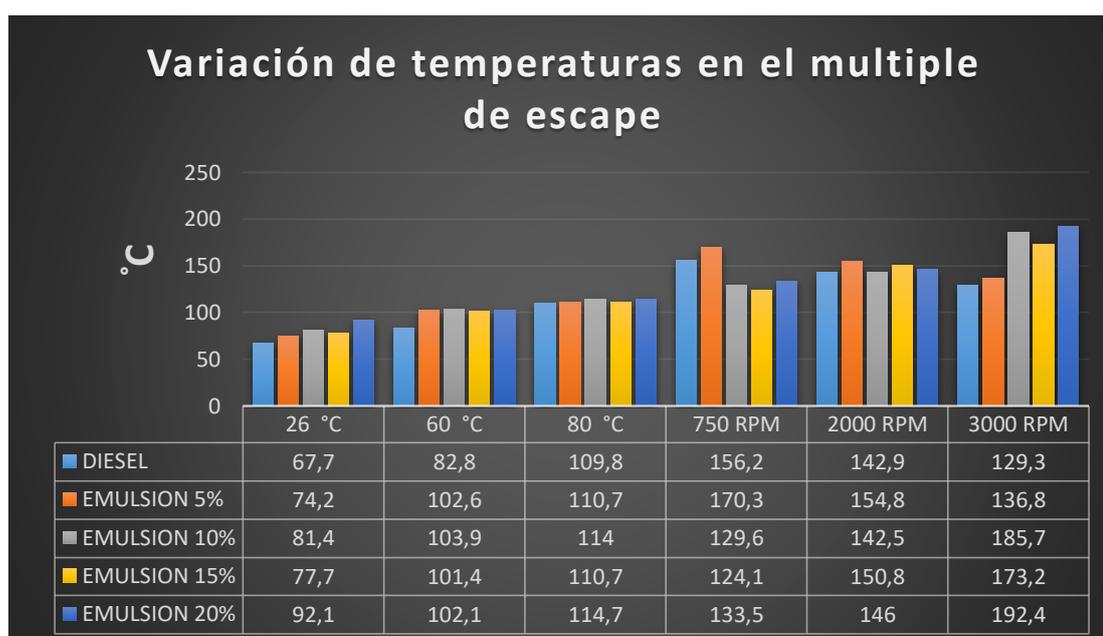


Figura 125. Variación de temperatura del múltiple de escape

En la prueba de 750 rpm el diésel comercial y la emulsión de 5 % agua presentaron una considerable variación a las demás emulsiones. La diferencia más grande es entre las emulsiones de 5% con la del 15% la cual da una variación de 27,12%.

En la prueba de 3000 rpm también se tiene la mayor diferencia la más considerable es entre el diésel 129,3 °C y la emulsión de 192,4 °C que representa el 32,79%.

g. Análisis termográfico en el catalizador

Tabla 47.

Temperaturas del catalizador obtenidas en pruebas termográficas

Temperaturas del catalizador					
Temperaturas y régimen de trabajo	Diésel	Emulsión 5%	Emulsión 10%	Emulsión 15%	Emulsión 20%
	°C	°C	°C	°C	°C
26 °C	21,9	21,8	24,7	26,6	31,7
60 °C	29,4	47,3	38,5	39,6	47
80 °C	47,2	57,8	45,3	47	51,2
750 RPM	56,1	57,8	52,7	57,9	57,8
2000 RPM	54,8	61,1	52,7	58,7	58,9
3000 RPM	58,6	60,5	55,4	59	59,8

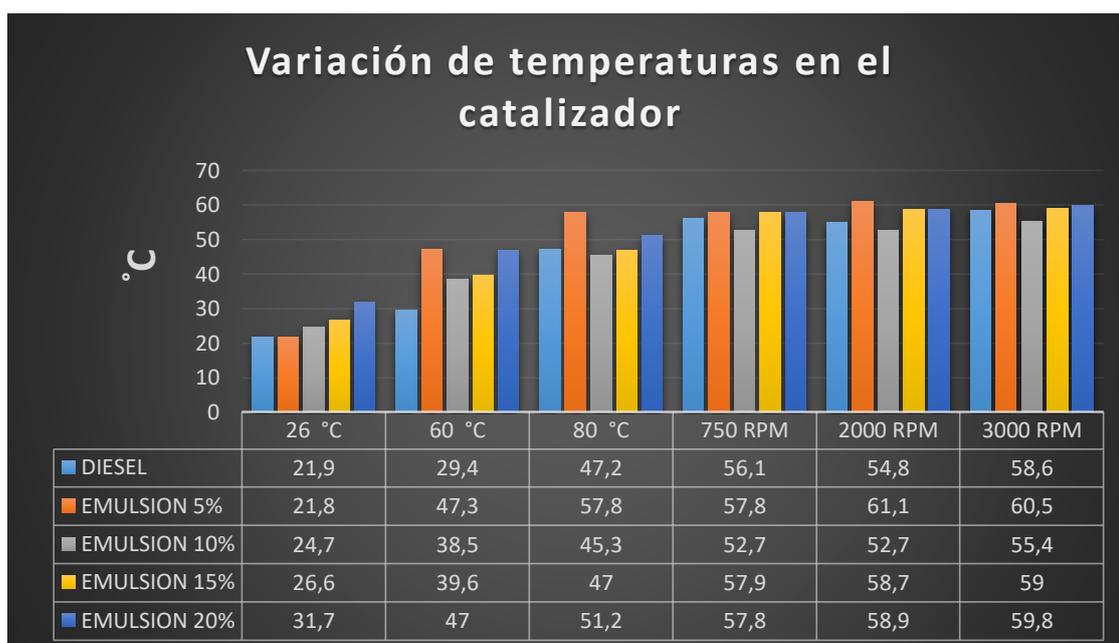


Figura 126. Variación de temperaturas del catalizador

La emulsión de 5% alcanza las mayores temperaturas en casi todas las pruebas con excepción de la prueba de 26 °C de funcionamiento del motor.

En las pruebas de rpm del motor a temperatura de funcionamiento todos los combustibles mantienen la tendencia siendo la emulsión de 10% la menor a todos.

CAPÍTULO V

Un estudio investigativo debe considerar aspectos económicos y administrativos, analizando costos de elaboración del combustible, ensayos al combustible y pruebas de funcionamiento en el motor MZR-D, para poder concluir y recomendar la viabilidad del tema de investigación.

5. Marco administrativo

5.1. Factibilidad de la investigación

La realización de la investigación tuvo un presupuesto, tomando en cuenta recursos materiales, humanos y tecnológicos en los que se detalla parámetros para cumplir con los objetivos propuestos, con la finalidad de verificar si el proyecto es factible.

5.1.1. Recursos materiales

Los recursos materiales son los medios físicos que se utilizaron para ejecutar la investigación, a continuación, se detalla:

Tabla 48.

Recursos materiales

Recursos materiales	
Orden	Materiales
1.	Diésel
2.	Agua Destilada
3.	Kolliphor El
4.	Nonil fenol 6 moles
5.	Ácido Oleico
6.	Abrazaderas
7.	Manguera
8.	Recipiente de mezcla
9.	Recipientes de emulsiones

CONTINÚA



10.	Recipiente para depósito de combustible
11.	Mezclador mecánico

Los tensoactivos emulsionantes fueron adquiridos en la Casa del Químico y el kolliphor EL fue adquirido en la empresa Life S.A. en Quito.

5.1.2. Talento humano

El personal que intervino para efectuar la investigación, se detalla a continuación:

Tabla 49.

Talento Humano

Talento humano	
Talento	Colaboración
Israel Carrillo	Investigadores
Cristian Taco	Investigadores
Germán Erazo	Director del Proyecto de Titulación
Leonidas Quiroz	Jefe de Laboratorio de Mecánica de Patio (Medición Análisis de Gases)
Hebert Molero	Encargado de Laboratorio de Corrosión (Uso de instrumentación)
José Quiroz	Encargado del laboratorio de Autotrónica (uso de equipos)
Alberto Naranjo	Encargado de Laboratorio de Motores (Uso de instrumentación)

5.1.3. Recursos Financieros

Los costos que generó la investigación fueron de 1790,94, a continuación, se detalla los recursos utilizados en la obtención de las emulsiones, en los ensayos al combustible, en las pruebas termográficas y de control de emisiones contaminantes en el motor MZR-D 2.5.

a. Gastos en la obtención de las emulsiones

Tabla 50.

Gastos en la obtención en emulsiones

Gastos en la obtención de las emulsiones				
Nº	Elemento	Cantidad	Valor unitario	Total
1.	Diésel	5 gal.	1,03	5,15
2.	Agua destilada	3 lts	1,25	3,75
3.	Kolliphor EL	1 Kg	140,50	140,50
4.	Ácido Oleico	1,5 Kg	5,34	8,01
5.	Nonil Fenol 6 moles	2 Kg	3,64	7,28
6.	Mezclador mecánico	1	17	17
7.	Recipiente de mezclado	1	2,50	2,50
8.	Vasos de precipitado	5	1,10	5,50
9.	Recipiente de almacenamiento	5	0,25	1,25
TOTAL				190,94

El costo de los compuestos que conforman todas las emulsiones es de \$ 164,69 teniendo en cuenta que el diésel tiene un precio de \$ 1,03 por cada galón y sin considerar los residuos sobrantes de cada compuesto. La formación de las emulsiones, las pruebas de densidad y de viscosidad se realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga en el laboratorio de Petroquímica mientras las pruebas de poder calorífico se hicieron en el laboratorio de mecánica de motores de la misma universidad en la sede en Sangolquí.

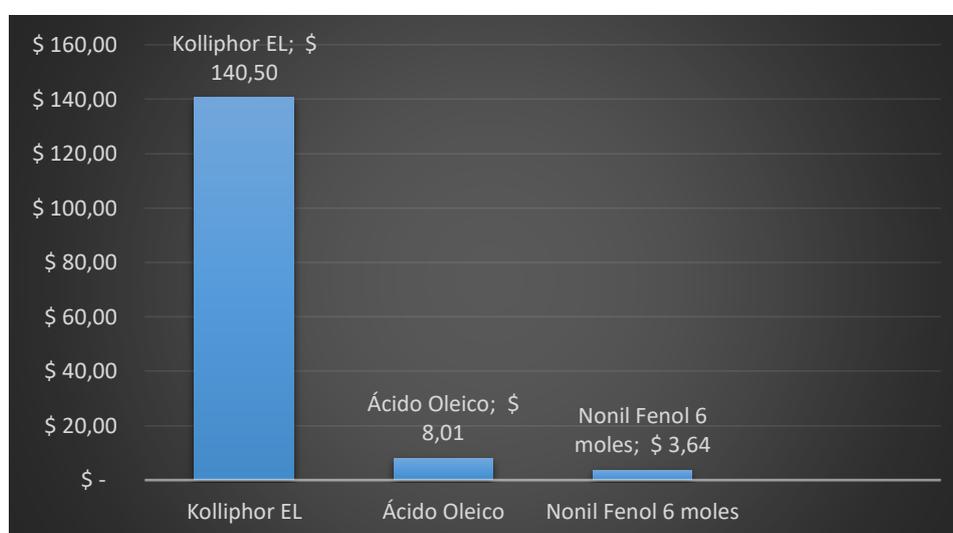


Figura 127. Valor de surfactantes

El valor de los tensoactivos emulsionantes utilizados en la investigación, son factibles para la elaboración de estos combustibles y por ende para más investigaciones, en cambio el tensoactivo kolliphor EL es el más caro y complicado de conseguir.

b. Gastos en las pruebas realizadas en la investigación

Tabla 51.

Gastos tecnológicos

Nº	Detalle	Cantidad	Valor unitario	Costo
1	Prueba de densidad de combustible	5	10	50
2	Prueba de viscosidad de combustible	5	10	50
3	Prueba de poder calorífico	5	10	50
4	Prueba continua de emisiones de gases	35	20	650
5	Pruebas de opacímetro	5	50	200
6	Pruebas termográficas cámara Fluke	5 días	120	600
Total				1600

CONCLUSIONES

- Se realizó las emulsiones diésel – agua al 5%, 10%, 15% y 20% con el uso de surfactantes en un laboratorio autorizado y con los equipos adecuados.
- Los resultados obtenidos en las pruebas de densidad y viscosidad tuvo un aumento paulatino mientras el porcentaje de agua aumenta. El diésel comercial tiene un valor de 0,834 g/ml y 3,36 cSt mientras que la emulsión de 20 % de agua tiene 0,866 g/ ml y 7,68 cSt de densidad y viscosidad respectivamente, que no es más del 4% y 56,25 % de diferencia.
- Se determinó el poder calorífico de todas las muestras de combustibles en un laboratorio autorizado y equipos adecuados para su medición, el cual registro una disminución progresiva mientras más es el porcentaje de agua. El diésel comercial registro 43944,96 J/gr en cuanto la emulsión de 20 % de agua 36403,25 J/gr representando un 17,16% de reducción.
- Se utilizó las emulsiones formadas de diésel- agua al 5%, 10%, 15% y 20% con el uso de surfactantes en un motor MZR-D 2,5.
- Se cotejó el nivel de emisiones de gases contaminantes con el uso de emulsiones en el motor MZR-D 2.5, registrándose la emulsión de 5 % como el mayor generador de NOx con 404 ppm Vol a la temperatura de 26° C reduciendo escalonadamente mientras aumenta su temperatura, hasta 46 ppm Vol a 3000 rpm en temperatura de funcionamiento.
- Se determinó que las emulsiones cumplen con la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 2 207:2002 que indica en la tabla del punto 6.2.1. el límite de emisión de CO. Los índices de CO no sobrepasan los 0,4 % Vol en ninguna de las emulsiones usadas en el motor MZR-D 2,5.
- Se evaluó los índices de opacidad cuyo valor más alto fue de 4,17 % con la emulsión de 20 % de agua, sin embargo el rango de aprobación que es el de 15% por lo a cual todas las emulsiones aprobaron el test.
- Se realizó el análisis termográfico en con el uso de la cámara Fluke en los puntos de incidencia de las emulsiones de diésel- agua con el uso de surfactantes en el motor MZR-D 2,5 con los parámetros que garantizan la pertinente toma térmica para datos exactos.

- Se evaluó mediante las pruebas termográficas que el uso de las emulsiones no varía más del 15 % de temperatura en los 4 inyectores con el diésel comercial cuando el motor MZR-D está a 80 °C en adelante ya que las pruebas de rpm son a temperatura de funcionamiento. En cambio en las pruebas de 26 °C y 80 °C las temperaturas son inestables entre emulsiones y diésel puro.
- Se examinó termográficamente que las emulsiones 5% y 15% de agua son las que alcanzan mayor temperatura en el riel en las pruebas de rpm a temperatura de funcionamiento. De igual manera a bajas temperaturas las emulsiones varían de forma irregular.
- Se constató mediante la termografía que en el múltiple las temperaturas no varían significativamente con excepción de la pruebas de 750 rpm y 3000 rpm siendo en esta última la prueba que registra la temperatura más alta que es de 192,4 °C en la emulsión de 20 % de agua.
- Las termografías en el catalizador determinaron que en las pruebas de temperaturas de 60 °C y 80 °C la emulsión de 5 % presenta temperaturas elevadas en relación a las demás emulsiones, mientras en las pruebas de rpm las temperaturas tienen una variación mínima.
- Se determinó que las emulsiones tienen una incidencia térmica en aumento mientras se eleva el porcentaje de agua en la emulsión en los puntos de análisis del motor detallados en la investigación.

RECOMENDACIONES

- Se requiere una reformulación de las emulsiones de diésel – agua en donde se use otros tensoactivos que cumplan el mismo efecto en la mezcla y sean más económicos.
- Realizar las termografías en un lugar con la menor luminosidad posible para evitar datos falsos por materiales brillantes que reflejan la luz.
- Investigar sobre la emisividad de materiales del motor en donde se realice un análisis termográfico y utilizar medios matemáticos para saber la temperatura real dentro del elemento.
- Desarrollar investigaciones termográficas con el uso biocombustibles tanto en motores diésel y gasolina para su análisis térmico.
- Generar proyectos de investigación con otros medios tecnológicos que ayuden con el análisis y diagnóstico de motores de combustión interna.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [AEVMIEMBROS]. (2016). *automotrizenvideo*. Recuperado el 26 de Enero de 2017, obtenido de automotrizenvideo: <http://automotrizenvideo.com/analizador-de-gases-brain-bee-ags-688/>
- [ARIS]. (2012). *Nonil fenol etoxilado 6 moles*. Lima: ARIS Industrias.
- [AUTO-DATA]. (s.f.). *Características técnicas: Mazda - BT-50 - 2.5*. Recuperado el 11 de Febrero de 2018, obtenido de <https://www.auto-data.net/es/mazda-bt-50-2.5-td-143hp-11236>
- [BASF]. (2012). *Kolliphor EL*. Recuperado el 4 de Enero de 2018, obtenido de <https://pharmaceutical.basf.com/en/Drug-Formulation/Kolliphor-EL.html>
- [Boeco]. (20 de 04 de 2016). *Boeco*. Recuperado el 17 de Febrero de 2018, obtenido de Boeco: <http://www.boeco.com/download/BOECO%20Balanzas%20de%20Laboratorio%202016.pdf>
- [Boeco]. (27 de 07 de 2016). *Proveedor científico*. Recuperado el 17 de Febrero de 2018, obtenido de http://proveedorcientifico.mx/index.php?id_product=1763&controller=product
- [BrainBee]. (13 de 02 de 2018). *Globaltech*. Recuperado el 14 de Febrero de 2018, obtenido de Globaltech: <http://www.globaltechla.com/gases/35-brain-bee-mgt-300-evo.html#.WnppUqjibIU>
- [CEDROSA]. (2004). *ACIDO OLEICO PURO Acido Oleico puro*. Mexico: Central de Drogas S.A.
- [Ecured]. (13 de 02 de 2018). *Ecured*. Recuperado el 13 de Febrero de 2018, obtenido de Ecured: <https://www.ecured.cu/Picnómetro>
- [ETAI], I. S. (2000). *Manual del automovil (reparacion y mantenimiento) Motor diesel*. Madrid: Cultural, S.A.
- [FLUKE]. (2017). *Fluke Connection*. Quito: Protecto Coanci.
- [FLUKE]. (12 de 02 de 2018). *cedesa*. Recuperado el 16 de Febrero de 2018, obtenido de cedsa: <http://www.cedsa.com.mx/fluke/camaras-termograficas/camaras-termograficas/TIS60/>
- [INEN]. (05 de 04 de 2016). *Norma Técnica Ecuatoriana*. Recuperado el 16 de 12 de 2018, obtenido de http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/nte_inen_1489-8.pdf
- [Mazda]. (2017). *auto-data*. Recuperado el 16 de Febrero de 2018, obtenido de auto-data: <https://www.auto-data.net/es/mazda-bt-50-2.5-td-143hp-11236>
- [ProctorSilex]. (14 de 01 de 2018). *Amazon*. Recuperado el 14 de Enero de 2018, obtenido de Amazon: <https://www.amazon.com/Proctor-Silex-62535-5-Speed-Mixer/dp/B0016NM62U>

- Aldana, D., & Rodríguez, C. J. (2017). *Los Libertadores Fundación Universitaria*. (F. U. LIBERTADORES, Ed.) Recuperado el jueves de Febrero de 2018, obtenido de <http://hdl.handle.net/11371/1294>
- Alonso, J. M. (1997). *Técnicas del Automóvil - Motores*. Valladolid: Paraninfo.
- Baskar, A. S. (2016). Investigación experimental sobre las características de rendimiento de un motor diesel que utiliza emulsión diesel-agua con aire enriquecido con oxígeno. *Alexandria Engineering Journal*, 5.
- Bernabé, V. (2007). *Caracterización y determinación de surfactantes y otros componentes en productos de limpieza con aplicación en control de calidad de formulaciones industriales*. Valencia : Universitat de València Servei de Publicacions.
- Bosch, R. (2005). *Manual de la Técnica del Automóvil*. Plochingen: Robert Bosch GMBH 2002.
- Bosch, R. (2005). *Sistema de inyección Diésel por acumulador Common Rail*. Plochingen: Robert Bosch GMBH 2002.
- Carreras, R. (2005). *Motores alternativos de combustión interna*. Barcelona: Edicions UPC.
- Castañeta, H. (2011). Microencapsulación, un metodo para la conservacion. *Boliviana de Química*, 135-140.
- Chávez, G. (2014). Influencia de variables de formulación en la viscosidad de emulsione de surfactante. *ARTIGO*, 200-208.
- Dagel, J. F. (1995). *Motores Diésel y Sistemas de Inyección Tomo 2*. México D.F.: Limusa S.A.
- Flores, M. H. (2014). Determinación de la reflectancia infrarroja de las superficies especulares mediante. *Renewable Energy*, 88-96.
- Gary, J. H., & Handwerk, G. (2003). *Refino de Petróleo*. Barcelona: Reverté S.A.
- González, D. (2015). *Motores termicos y sus sistemas auxiliares*. España: Paraninfo S.A.
- Hervás, J. A. (2017). *Matematicasyoesía*. Recuperado el 4 de Febrero de 2017, obtenido de Matematicasyoesía: http://www.matematicasyoesia.com.es/metodos/melweb08_Cannon.htm
- Incropera, F. P., & De Witt, D. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (Vol. 4). Mexico, Mexico: PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA, S.A.
- Jiménez, F. (2013). Emulsiones múltiples; compuestos bioactivos y alimentos funcionales. *Nutricion Hospitalaria*, 1413-1421.
- Kreith, F., Manglik, R. M., & Bohn, M. S. (2012). *Principios de Transferencia de Calor* (Vol. Septima). Mexico D.F.: Cengage Learning Editores, S.A. Recuperado el 08 de Febrero de 2018, obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xr4uAzjOquoC&oi=fnd&pg=PP1&dq=transferencia+de+calor+conducci%C3%B3n&ots=Jx82yJzMvS&sig=4Cfzee1TW85A-XMUqNRRz93eyw#v=onepage&q&f=false>

- Lagüela. (2011). Calibración y verificación de cámaras termográficas para mediciones geométricas. *Infrared Physics & Technology*, 92-99.
- Larsen, S. F., & Hongn, M. (2012). Termografía infrarroja en la edificación: aplicaciones cualitativas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 08.25-08.32.
- Llamosa, R. L., Moreno, P. M., & Barrios, U. E. (2011). Análisis termográfico para un protocolo de investigación en Hipnotermia. *Scientia et Technica Año XVI*, 157-162.
- Nadeem, M. (2006). Diesel engine performance and emission evaluation using emulsified fuels stabilized by conventional and gemini surfactants (Rendimiento del motor diesel y evaluación de emisiones utilizando combustibles emulsionados estabilizados por tensioactivos conv). *Fuel*, 2111-2119.
- Nur, A. R. (2016). Thermographic study of the preheating plugs in diesel engines. *Applied Thermal Engineering*, 192 -199.
- Ortega, M. (2009). *Comportamiento Reológico de disoluciones acuosas de surfantes comerciales no iónicos* . Granada: Universidad de Granada.
- Parera, A. M. (1996). *Inyección Electrónica en Motores Diésel*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Pérez, M. (2017). *Sistemas Auxiliares del Motor 2da edición*. España : Parafino S.A.
- Prada, P. F. (2016). La termografía infrarroja: un sorprendente recurso para la enseñanza de la física y la química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 13 (3)*, 605.
- Pucuji, D. (2016). *Investigación del potencial energético de la emulsión diésel -agua al 5-10-15 Y 20 % con el uso de surfactante para determinarsu influencia en los parámetros mecánicos y térmicos del motor de combustion interna*. Latacunga: Uversidad de las Fuerzas Armadas Espe.
- Pucuji, D. (18 de 08 de 2016). *Repositorio Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido de Repositorio Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11771/1/T-ESPEL-MAI-0556.pdf>
- Rag. (28 de 01 de 2018). *Rag - Analizadores de Gases*. Recuperado el 16 de Enero de 2018, obtenido de Rag - Analizadores de Gases: <http://gascheck.com.ar/opacimetro.htm>
- Riojas, H. (2011). Sinergia en surfactantes para la remediacion de suelos contaminados con hidrocarburos. *Quimica y Medio Ambiente*, 243-249.
- Romo, L. (1993). *Emulsiones Fundamentos FisicoquímicosFormulacion y Aplicaciones*. Quito: Editorial Universitaria.
- Royo, R. (2012). Thermographic study of the preheating plugs in diesel engines (Estudio termográfico de los tapones de precalentamiento de los motores diesel). *Applied Thermal Engineering*, 412-419.
- Salager, J. L. (1986). Uso de los Surfactantes en la Industria Petrolera. *saber.ula.ve*, 85-92.

Salcedo, R. (20 de 04 de 1987). *Repositorio UNI*. Recuperado el 18 de Enero de 2018, obtenido de Repositorio UNI:

http://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/uni/1776/1/salcedo_mr.pdf

Secundino. (2009). *Motores*. España: Macmillan Iberia, S.A.

Villacis, C., & Burgos, D. (2016). *Caracterización de la mezcla combustible diesel a partir de aceite de frituras, en concentración 5% - 10% - 15% - 20% - 30% para determinar los parámetros térmicos y mecánicos del motor*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas.

Xu. (2017). Improving defect visibility in square pulse thermography. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 162–173.

Zhao, Y., Mehnen, J., Xu, W., Alrashed, M., Abineri, S., & Roy, R. (2015). Degradation Assessment of Industrial Composites using Thermography. *ELSEVIER*, 147 – 152.

ANEXOS



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

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **HERNÁN ISRAEL CARRILLO PROAÑO** y **CRISTIAN PATRICIO TACO DÁVILA**

En la ciudad de Latacunga, a los **28 días del mes de febrero del 2018.**

Ing. Germán Erazo
DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Danilo Zambrano
DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Freddy Jaramillo
SECRETARIO ACADÉMICO