



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: INVESTIGACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA
EMULSIÓN DIÉSEL-AGUA AL 5-10-15 Y 20 % CON EL USO DE
SURFACTANTE PARA DETERMINAR SU INFLUENCIA EN LOS
PARÁMETROS MECÁNICOS Y TÉRMICOS DEL MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA**

AUTOR: DIEGO ROBERTO PUCUJI PILLAJO

DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO

LATACUNGA

2016



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ii

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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo titulación, ***“INVESTIGACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA EMULSIÓN DIÉSEL-AGUA AL 5-10-15 Y 20 % CON EL USO DE SURFACTANTE PARA DETERMINAR SU INFLUENCIA EN LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y TÉRMICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA”*** realizado por el señor ***DIEGO ROBERTO PUCUJI PILLAJO***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor ***DIEGO ROBERTO PUCUJI PILLAJO*** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 18 de Agosto del 2016

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la del director, Ing. Germán Erazo.

ING. GERMÁN ERAZO
DIRECTOR



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

iii

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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **DIEGO ROBERTO PUCUJI PILLAJO**, con cédula de identidad N° 172550841-8 declaro que este trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA EMULSIÓN DIÉSEL-AGUA AL 5-10-15 Y 20 % CON EL USO DE SURFACTANTE PARA DETERMINAR SU INFLUENCIA EN LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y TÉRMICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 18 de Agosto del 2016

DIEGO ROBERTO PUCUJI PILLAJO

C.C.: 1725508418



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

iv

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

AUTORIZACIÓN

Yo, **DIEGO ROBERTO PUCUJI PILLAJO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA EMULSIÓN DIÉSEL-AGUA AL 5-10-15 Y 20 % CON EL USO DE SURFACTANTE PARA DETERMINAR SU INFLUENCIA EN LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y TÉRMICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 18 de Agosto del 2016

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Diego R. Pillajo'.

DIEGO ROBERTO PUCUJI PILLAJO

C.C.: 1725508418

DEDICATORIA

Para Dios porque es grande su misericordia para quien lo busca y se arrepiente, ¡cuán grande es su nombre en toda la tierra!, y de mucho poder; su entendimiento es infinito, quien es mi fortaleza, da luz a mis sendas, por medio de su palabra me enseña a perseverar y que así sea hasta el final de los tiempos, a El mi dedicación.

A mi familia por el apoyo y la actuación incondicional en todo momento de la vida, a quienes Dios ha enviado para ser guías humildes, quienes por medio de sus enseñanzas e instrucciones desde niño me han formado para ir hacia caminos rectos que hoy deben seguir hasta el final, para juntos ayudar y poder ser luz en el mundo, así alcanzar con esfuerzo y perseverancia la única esperanza, a ellos mi dedicación.

A mis amigos que de una y otra forma siempre me ayudaron en el transcurso de mi carrera, que forman parte de esta experiencia en la universidad, un gran aprecio hacia ustedes, los mejores deseos y éxitos en sus metas, que Dios sea bendiciéndolos en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos:

A mi tutor Ing. Germán Erazo quien ha sido un gran guía y además de su valiosa ayuda en toda la trayectoria en mi proyecto, ha brindado su cooperación para trabajar en las diferentes instituciones para el progreso de mi proyecto de investigación.

Al Doc. Pablo Bonilla quien con su gran personalidad, sus conocimientos, enseñanzas y motivación ha sido de valiosa ayuda, para desarrollar gran parte de mi investigación.

Al Ing. Juan Naranjo quien con su cordialidad, sus conocimientos y experiencia ha sido apoyo incondicional, y me ha conducido en el transcurso y desarrollo de la investigación para alcanzar esta meta.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
RESUMEN.....	XX
ABSTRACT	XXI

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.	3
1.3. Descripción resumida del proyecto	4
1.4. Justificación e importancia	5
1.5. Objetivos	7
1.5.1. Objetivo general.....	7
1.5.2. Objetivos específicos	7
1.6. Metas	8

	viii
1.7. Hipótesis	8
1.8. Variables de investigación	8
1.8.1. Variable independiente	8
1.8.2. Variable dependiente	8

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS Y MARCO TEÓRICO.....9

2.1. Antecedentes investigativos.....	9
2.2. Motor diésel	12
2.2.1. Inyección de combustible	13
A. Régimen de atomización	14
B. Caudal de inyección	15
2.3. Parámetros del motor diésel	16
2.3.1. Sección del pistón	16
2.3.2. Cilindrada unitaria	17
2.3.3. Cilindrada total	17
2.3.4. Número de ciclos por revolución	18
2.3.5. Régimen de giro y velocidad media del pistón	18
A. Régimen de giro (n)	18
B. Velocidad media del pistón (cm).....	18
2.3.6. Grado de carga	19
2.3.7. Gasto de combustible y poder calorífico	19
2.3.8. Par efectivo	21
2.3.9. Potencia efectiva.....	21

	ix
2.3.10. Rendimiento efectivo	22
2.3.11. Presión media efectiva.....	23
2.3.12. Consumo específico de combustible	23
2.4. Combustibles para motores diésel	24
2.4.1. Combustibles de origen fósil	25
2.4.2. Biodiesel	25
2.4.3. Emulsiones	26
2.4.4. Propiedades fisicoquímicas de los combustibles.	27
A. Densidad	27
B. Viscosidad	30
C. Poder calorífico.....	34
a. Poder calorífico superior.....	34
b. Poder calorífico inferior.....	34
c. Determinación del poder calorífico	35
2.5. Emisiones contaminantes	37
2.5.1. Monóxido de carbono.....	38
2.5.2. Hidrocarburos (HC).....	39
2.5.3. Óxidos de nitrógeno	39
2.5.4. Dióxido de azufre (SO₂)	40
2.5.5. Material particulado.....	40
2.6. Opacidad.....	42
2.7. Surfactantes	43
2.7.1. Clasificación de surfactantes.....	47
A. Tensoactivos no – iónicos	48

	x
2.8. Emulsiones	52
2.8.1. Emulsiones de agua en líquido orgánico (A/O)	52
2.8.2. Emulsiones de líquido orgánico en agua (O/A)	53
2.8.3. Mecanismos de formación de emulsiones	53
2.8.4. Estabilización estérica.....	55
2.8.5. Microemulsiones	55
2.8.6. Balance hidrofílico lipofílico (BHL).....	56
A. Escala de griffin	57
2.8.7. Diagrama de fase.....	59

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO EQUIPOS Y PRUEBAS DE LA INVESTIGACIÓN	62
3.1. Diseño de la investigación	62
3.2. Métodos y técnicas	64
3.2.1. Método de análisis de contenido.....	64
3.2.2. Método deductivo:.....	64
3.2.3. Método inductivo	64
3.2.4. Método de ensayo y error	65
3.2.5. Método experimental.....	65
3.2.6. Método de observación directa	65
3.2.7. Método analítico.....	66
3.2.8. Método sintético	66
3.3. Operacionalización de variables	70

	xi
3.3.1. Variable independiente	70
3.3.2. Variable dependiente	70
3.4. Método de elaboración de emulsiones.....	71
3.4.1. Proceso de elaboración de emulsiones.	71
3.5. Equipos y pruebas	72
3.5.1. Mezclador	72
A. Mezclador vortex	72
a. Proceso para mezclado	73
B. Mezclador silverson L4R	74
a. Proceso para mezclado	74
3.5.2. Balanza	75
A. Balanza electrónica	75
a. Proceso de medición	75
B. Balanza granataria.....	76
a. Proceso de medición	76
3.5.3. Viscosímetro	77
A. Proceso para medir la viscosidad cinemática.....	78
3.5.4. Picnómetro	79
A. Proceso para determinar la densidad.....	79
3.5.5. HORIBA SZ-100 (DLS)	80
A. Proceso para determinar el tamaño de partícula.....	81
3.5.6. Bomba calorimétrica adiabática	82
A. Proceso para determinar el poder calorífico	83
B. Procedimiento de cálculo de la capacidad calorífica	86

	xii
3.5.7. Banco motor PLINT TE-16	86
A. Prueba a velocidad constante y aceleración variable	88
a. Proceso de la prueba.....	88
3.5.8. Medidor de opacidad ndo-6000.....	90
A. Prueba de opacidad.....	91
a. Proceso de prueba	91
3.5.9. Analizador de gases testo.....	91
A. Prueba de medición de gases de combustión	94
a. Proceso de prueba	94

CAPÍTULO IV

OBTENCIÓN ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN 95

4.1. Obtención de la información	95
4.2. Formulación de emulsiones	102
4.2.1. Análisis y ensayos realizados en emulsiones	105
4.3. Poder calorífico	107
4.3.1. Capacidad calorífica del equipo	107
4.3.2. Poder calorífico superior	109
4.3.3. Poder calorífico inferior	111
4.4. Densidad.....	114
4.5. Viscosidad.....	116
4.6. Parámetros del motor de combustión interna diésel	119
4.6.1. Torque y potencia	119
4.6.2. Consumo de combustible.....	123

	xiii
4.6.3. Rendimiento térmico	127
4.6.4. Presión media efectiva	131
4.6.5. Emisiones de gases	135
A. Análisis de emisiones de CO	137
B. Análisis de emisiones de NOx	139
C. Análisis de opacidad	140

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO	143
5.1. Costo de productos para la formulación de emulsiones.....	143
5.2. Costo de generación con diésel emulsionado.....	148
5.3. Recursos	150
5.3.1. Recursos humanos	150
5.3.2. Recursos materiales	151
5.3.3. Recursos tecnológicos	152
5.4. Costo total	152

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	153
6.1. Conclusiones.....	153
6.2. Recomendaciones	155
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156
ANEXOS.....	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades de combustibles emulsionados	11
Tabla 2 Rendimiento efectivo y consumos específicos referidos a gasoil	22
Tabla 3 Presión eficaz media de diferentes motores.....	23
Tabla 4 Valores de poder calorífico inferior de combustibles comunes.....	35
Tabla 5 Análisis de los gases contaminantes.....	41
Tabla 6 Límites máximos de opacidad para fuentes móviles diésel.....	42
Tabla 7 Ejemplos de interfaces involucrando una fase líquida.....	44
Tabla 8 Tensoactivos para la formulación de combustibles emulsionados	49
Tabla 9 Especificaciones técnicas nonil fenol de 6 moles de O.E.....	51
Tabla 10 Especificaciones técnicas del Kolliphor EL.....	52
Tabla 11 Diferentes características entre emulsiones y microemulsiones	56
Tabla 12 Uso del concepto del número BHL de Griffin	57
Tabla 13 Aplicación de una emulsión de acuerdo al BHL	57
Tabla 14 BHL requerido para emulsionar.....	58
Tabla 15 Comparación de BHL calculados y experimentales	59
Tabla 16 Metodología de la investigación	66
Tabla 17 Emulsiones diésel/agua.....	70
Tabla 18 Parámetros mecánicos y térmicos.....	70
Tabla 19 Características banco motor PLINT TE-16.....	87
Tabla 20 Especificaciones opacímetro NDO-6000.....	90
Tabla 21 Datos técnicos para la caja de análisis testo 350 XL.....	93
Tabla 22 Detalles técnicos caja de análisis testo 350 XL.....	93
Tabla 23 Obtención de la información.....	95
Tabla 24 Parámetros con uso de diésel neto	97
Tabla 25 Parámetros con uso de la emulsión con el 5% de H ₂ O	98
Tabla 26 Parámetros con uso de la emulsión con el 10% de H ₂ O	99
Tabla 27 Parámetros con uso de la emulsión con el 20% de H ₂ O	100
Tabla 28 Parámetros con uso de la emulsión con el 20% de H ₂ O	101

Tabla 29 Características de emulsión diésel y agua	106
Tabla 30 Cálculo de la capacidad calorífica del equipo.....	108
Tabla 31 Cálculo del poder calorífico del diésel neto	110
Tabla 32 Cálculo del poder calorífico de la emulsión diésel al 5% de H ₂ O....	110
Tabla 33 Cálculo del poder calorífico de la emulsión diésel al 10% de H ₂ O..	110
Tabla 34 Cálculo del poder calorífico de la emulsión diésel al 15% de H ₂ O..	111
Tabla 35 Cálculo del poder calorífico de la emulsión diésel al 20% de H ₂ O..	111
Tabla 36 Poder calorífico inferior de emulsiones de combustible.....	112
Tabla 37 Cálculo de la densidad de muestras de combustibles.....	115
Tabla 38 Datos para cálculos de viscosidad	117
Tabla 39 Cálculo de viscosidad cinemática de muestras de combustible	117
Tabla 40 Torque y potencia efectuada por la muestra diésel	120
Tabla 41 Torque y potencia efectuada por la muestra con 5% de H ₂ O	120
Tabla 42 Torque y potencia efectuada por la muestra con 10% de H ₂ O	121
Tabla 43 Torque y potencia efectuada por la muestra con 15% de H ₂ O	121
Tabla 44 Torque y potencia efectuada por la muestra con 20% de H ₂ O	121
Tabla 45 Consumos de combustible de la muestra diésel	125
Tabla 46 Consumos de combustible de la muestra con 5% de H ₂ O	125
Tabla 47 Consumos de combustible de la muestra con 10% de H ₂ O	125
Tabla 48 Consumos de combustible de la muestra con 15% de H ₂ O	126
Tabla 49 Consumos de combustible de la muestra con 20% de H ₂ O	126
Tabla 50 Rendimiento térmico efectuado por la muestra diésel.....	128
Tabla 51 Rendimiento térmico efectuado por la muestra con 5% H ₂ O.....	128
Tabla 52 Rendimiento térmico efectuado por la muestra con 10% H ₂ O.....	129
Tabla 53 Rendimiento térmico efectuado por la muestra con 15% H ₂ O.....	129
Tabla 54 Rendimiento térmico efectuado por la muestra con 20% H ₂ O.....	129
Tabla 55 Presión media efectiva generada por la muestra diésel.....	132
Tabla 56 Presión media efectiva generada por la muestra con 5% de H ₂ O ..	132
Tabla 57 Presión media efectiva generada por la muestra con 10% de H ₂ O	133
Tabla 58 Presión media efectiva generada por la muestra con 15% de H ₂ O	133
Tabla 59 Presión media efectiva generada por la muestra con 20% de H ₂ O	133

Tabla 60 Emisiones de gases generados por la muestra diésel	135
Tabla 61 Emisiones de gases generados por la muestra con 5% de H ₂ O	136
Tabla 62 Emisiones de gases generados por la muestra con 10% de H ₂ O...	136
Tabla 63 Emisiones de gases generados por la muestra con 15% de H ₂ O...	136
Tabla 64 Emisiones de gases generados por la muestra con 20% de H ₂ O...	137
Tabla 65 Resumen de resultados de muestras diésel y emulsiones	142
Tabla 66 Precio de productos.....	143
Tabla 67 Costo de formulación de 100 kg de la emulsión de 5% de agua	144
Tabla 68 Costo de formulación de 100 kg de la emulsión del 10% de agua ..	145
Tabla 69 Costo de formulación de 100 kg de la emulsión del 15% de agua ..	146
Tabla 70 Costo de formulación de 100 kg de la emulsión del 20% de agua ..	146
Tabla 71 Costo de generación de energía por muestra de combustible	149
Tabla 72 Recursos humanos.....	151
Tabla 73 Recursos materiales.....	151
Tabla 74 Recursos tecnológicos	152
Tabla 75 Costo total	152

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Causas y efectos generados por el uso de diésel en vehículos.....	3
Figura 2	Consumo energético por tipo de vehículo en el Ecuador.....	6
Figura 3	Emisión de NO utilizando una emulsión del 10 % de agua.....	10
Figura 4	Funcionamiento del motor de combustión interna diésel.....	13
Figura 5	Régimen de atomización.....	15
Figura 6	Clasificación de los combustibles utilizables en los MCIAs.....	24
Figura 7	Emulsiones de diésel y agua en porcentajes del 5, 10, 15 y 20 %	26
Figura 8	Apariencia blanca por dispersión de luz generada por el agua.....	27
Figura 9	Picnómetro 25 ml.....	29
Figura 10	La viscosidad del combustible afecta al modelo de pulverización ...	30
Figura 11	Ábaco de viscosidades de combustible.....	31
Figura 12	Viscosímetro de rutina Cannon-Fenske.....	33
Figura 13	Calorímetro de bomba.....	35
Figura 14	Gases contaminantes del motor diésel.....	38
Figura 15	Opacímetro NDO-6000.....	43
Figura 16	Esquema de un surfactante.....	45
Figura 17	Estructuras por razones geométricas de envoltura.....	46
Figura 18	Parámetro crítico de envoltura de una molécula de surfactante.....	47
Figura 19	Ácido oleico.....	49
Figura 20	Nonil fenol de 6 moles de óxido de etileno.....	50
Figura 21	Kolliphor EL.....	51
Figura 22	Emulsión agua/diésel.....	53
Figura 23	Dispersión de una emulsión O/W.....	53
Figura 24	Formación de la emulsión.....	54
Figura 25	Mezcladores para elaboración de emulsiones.....	54
Figura 26	Estabilización electrostática y estérica de una emulsión.....	55
Figura 27	Diagrama de fases de tres componentes a una temperatura fija.....	60
Figura 28	Diagrama fases de tres componentes A, B, C y punto O.....	61

Figura 29 Diseño experimental de la investigación.....	63
Figura 30 Agitación de mezclador Vortex de Fisher Scientific.	73
Figura 31 Mezclador Silverson L4R	74
Figura 32 Balanza electrónica Denver Instrument.	75
Figura 33 Balanza granataria OHAUS	76
Figura 34 Baño térmico y viscosímetro Cannon-Fenske.....	77
Figura 35 Interface de baño térmico Huber y cronómetro.....	78
Figura 36 Succión para iniciar la prueba.....	78
Figura 37 Masa de combustible emulsionado.....	80
Figura 38 Equipo SZ-100 (DLS) de HORIBA.....	80
Figura 39 Medidor de índice de refracción.....	81
Figura 40 Interface programa HORIBA- [SZ-100]	81
Figura 41 Celda de vidrio equipo HORIBA- [SZ-100].....	82
Figura 42 Equipo HORIBA- [SZ-100] compuerta abierta	82
Figura 43 Bomba calorimétrica adiabática	83
Figura 44 Masa de muestra de combustible emulsionado	83
Figura 45 Elementos de la bomba y llenado de oxígeno	84
Figura 46 Instalación de bomba en el calorímetro	84
Figura 47 Lectura de temperatura en la bomba calorimétrica.....	85
Figura 48 Masa de agua generada por productos de combustión	85
Figura 49 Banco motor PLINT TE-16.....	87
Figura 50 Medición de opacidad	90
Figura 51 Analizador de gases de combustión Testo 350-XL.....	92
Figura 52 Toma de datos de gases de combustión	94
Figura 53 Porcentaje de componentes de emulsión diésel y 5 % de agua....	103
Figura 54 Porcentaje de componentes de emulsión diésel y 10 % de agua ..	104
Figura 55 Porcentaje de componentes de emulsión diésel y 15 % de agua ..	104
Figura 56 Porcentaje de componentes de emulsión diésel y 20 % de agua ..	105
Figura 57 Aspecto físico emulsiones diésel y agua al 5, 10, 15, y 20 %.....	105
Figura 58 Diagrama trifásico del sistema diésel/agua/tensoactivos, a 20 °C. 107	
Figura 59 Poder calorífico superior e inferior de diésel y emulsiones	113

Figura 60 Crisol después de la combustión	113
Figura 61 Potencial energético de emulsiones comparado al diésel	114
Figura 62 Densidad de diésel y emulsiones.....	116
Figura 63 Viscosidad cinemática a 40 °C de diésel y emulsión	118
Figura 64 Torque en función de la carga	122
Figura 65 Potencia en función de la carga.....	123
Figura 66 Consumo específico de combustible en función de la carga	126
Figura 67 Consumo específico de combustible a máxima carga de prueba ..	127
Figura 68 Rendimiento térmico efectivo en función de la carga.....	130
Figura 69 Rendimiento térmico efectivo máximo alcanzado en la prueba	130
Figura 70 Presión media efectiva en función de la carga.....	134
Figura 71 Presión media efectiva a máxima carga de prueba	134
Figura 72 Emisiones de CO generadas por diésel y emulsiones.....	137
Figura 73 Tendencia exponencial de emisiones de CO.....	138
Figura 74 Emisiones de NOx generadas por diésel y emulsiones	139
Figura 75 Tendencia exponencial de emisiones de NOx.....	139
Figura 76 Opacidad generada por diésel y emulsiones	140
Figura 77 Tendencia exponencial de opacidad.....	141
Figura 78 Resumen de los parámetros generados por el diésel vs emulsión	142
Figura 79 Costo para formulación de muestra de combustible por galón	147
Figura 80 Costo para formulación de muestra de combustible por kilogramo	148
Figura 81 Costo para generación de energía con diésel y emulsiones.....	150

RESUMEN

En esta investigación se realiza un análisis de los parámetros característicos y emisiones de un motor Petters PJ 2 W de dos cilindros al usar como combustible emulsiones del 5, 10,15 y 20% de agua, 10.5 al 12% de surfactante y combustible diésel. En los parámetros fisicoquímicos, las emulsiones de combustible registran incremento en la densidad y viscosidad, además muestran una reducción en el poder calorífico frente al presentado por el diésel neto. Los resultados obtenidos en las pruebas a velocidad constante y aceleración variable utilizando emulsiones de combustible muestran incremento en el torque, rendimiento térmico y la potencia efectiva, de la misma forma en el consumo específico de combustible. Respecto a las emisiones de gases contaminantes, los óxidos de nitrógeno (NOx) disminuyeron para todos los rangos de potencia de la prueba al usar emulsiones de combustible, a diferencia las emisiones de monóxido de carbono (CO) aumentan en altos regímenes de potencia en comparación con los resultados obtenidos para el combustible diésel.

PALABRAS CLAVE:

- **EMULSIÓN DE COMBUSTIBLE**
- **MOTORES DIÉSEL**
- **AUTOMÓVILES - COMBUSTIBLE**
- **COMBUSTIBLE DIESEL**

ABSTRACT

In this research a characteristic parameter and emissions analysis of a Petters PJ 2 W engine of two cylinders when using an fuel emulsion of 5, 10,15 y 20% of water, 10.5 to 12% de surfactant y diesel fuel is performed. In the physical chemistry parameters, the fuel emulsions increase in the density and viscosity value, thereto indicate decrease in the calorific power versus diesel neat presented. The result obtained in the test at constant speed and variable acceleration utilizing fuel emulsions show increment in the torque, thermal efficiency and the effective power, likewise in the specific fuel consumption. Concerning the gas emissions, the nitrogen oxides (NOx) declined, for all range power test with use of emulsions fuel, the carbon monoxide emissions (CO) increase in high level power in comparison to result with use of diesel fuel.

KEYWORDS:

- **FUEL EMULSION**
- **DIESEL ENGINE**
- **AUTOMOBILE - FUEL**
- **DIESEL FUEL**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

La observación y análisis de problemas que se presentan son parte de la ingeniería la cual pretende de brindar una solución efectiva, así también trata de investigar sistemas existentes con nuevos análisis y experimentaciones; al introducirse en la ingeniería automotriz, esta se proyecta a exponer conocimientos y análisis investigativos de los motores de combustión interna y la energía para su funcionamiento, las emulsiones de combustibles son alternativas para la reducción de emisiones contaminantes y mejoras en los parámetros de torque y potencia, resultando un tema de gran interés.

(Ecuador. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, 2015), detalla que: “El transporte es una de las actividades con mayor demanda energética según la (International Energy Agency, 2012) dice que consume más del 50% de la demanda mundial de petróleo. Además menciona que hasta el 2010, el sector del transporte ha sido el consumidor de energía predominante en el Ecuador utilizando un 50% de la demanda nacional”.

Debido a los antecedentes sobre la enorme cantidad de energía invertida en este sector, el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), con su equipo de investigadores, está desarrollando el proyecto denominado “Línea base para investigación en eficiencia energética en el sector transporte”.

Existen varias investigaciones que muestran resultados sobre este tema las mismas están encaminadas a mejorar parámetros mecánicos del motor y reducir emisiones contaminantes:

Melo, E., et al., (2013), dicen que: “Los resultados obtenidos con la emulsión muestran un ligero incremento del torque y la potencia efectiva, así como el consumo específico del combustible y retardo de la ignición” (pág. 11). En esta investigación realizó una emulsión de 5% de agua 2% de surfactante y el resto de combustible diésel, las pruebas fueron realizadas en un motor Petters monocilíndrico de inyección directa.

Kannan, T. & Rakkiyanna, M., (2011), mencionan: “Los combustibles emulsionados tienen más prioridad en reducir óxidos de nitrógeno y la opacidad simultáneamente que otros combustibles” (pág. 1185). En esta investigación se obtuvieron resultados de biodiesel emulsionado con agua en porcentajes del 5, 10, 15 y 20 %, en los que registran el mejoramiento de la eficiencia térmica al freno acompañado por una reducción de los gases contaminantes como los NOx y los HC, siendo la emulsión de combustible con un 15% de agua la que presenta el mejor desempeño y menor emisión que las otras combinaciones.

Lif, A., & Holmberg, K., (2006), dicen que: “Los beneficios de un combustible emulsionado es la reducción en las emisiones de óxidos de nitrógeno y material particulado, ambos peligrosos para la salud, menciona además que otro beneficio es la reducción en el consumo de combustible debido a la mejor eficiencia de combustión. Detalla también que un aspecto importante es que el diésel emulsionado puede ser usado sin modificaciones en el motor, por lo que es uno de los factores de bastante importancia como alternativas para su uso” (pág. 231).

En la Universidad de las Fuerzas Armadas no se han realizado investigaciones sobre el análisis de los parámetros térmicos y mecánicos en motor de combustión interna del banco de pruebas PLINT TE-16 mediante el uso de combustible diésel emulsionado con agua, existiendo así la necesidad de encontrar resultados favorables como lo indican los antecedentes detallados en investigaciones realizadas sobre nuevas alternativas para la reducción de gases contaminantes.

1.2. Planteamiento del problema.

El automóvil con motor de gasolina o gasóleo es un producto contaminante durante todo su ciclo; durante la fabricación, en circulación, por los mantenimientos y al final de su vida útil. El objetivo para la viabilidad del automóvil en el entorno ecológico actual es hacerlo amigable con el medio ambiente. Por otro lado cada vez hay más coches y se acumulan masivamente en las ciudades. Una posibilidad para reducir la contaminación son los biocombustibles aunque un inconveniente es el deforestar zonas para cultivar, siendo así, las investigaciones continúan para la búsqueda de alternativas que encaje en el desarrollo sostenible y equilibrado, (Orovio, M., 2010, págs. 628; 634). Los combustibles emulsionados son una alternativa que se investiga, y de acuerdo a su formulación nace la idea sobre qué efectos acarrea el diésel emulsionado en los parámetros mecánicos, térmicos, de opacidad y en los gases contaminantes del motor de combustión interna.

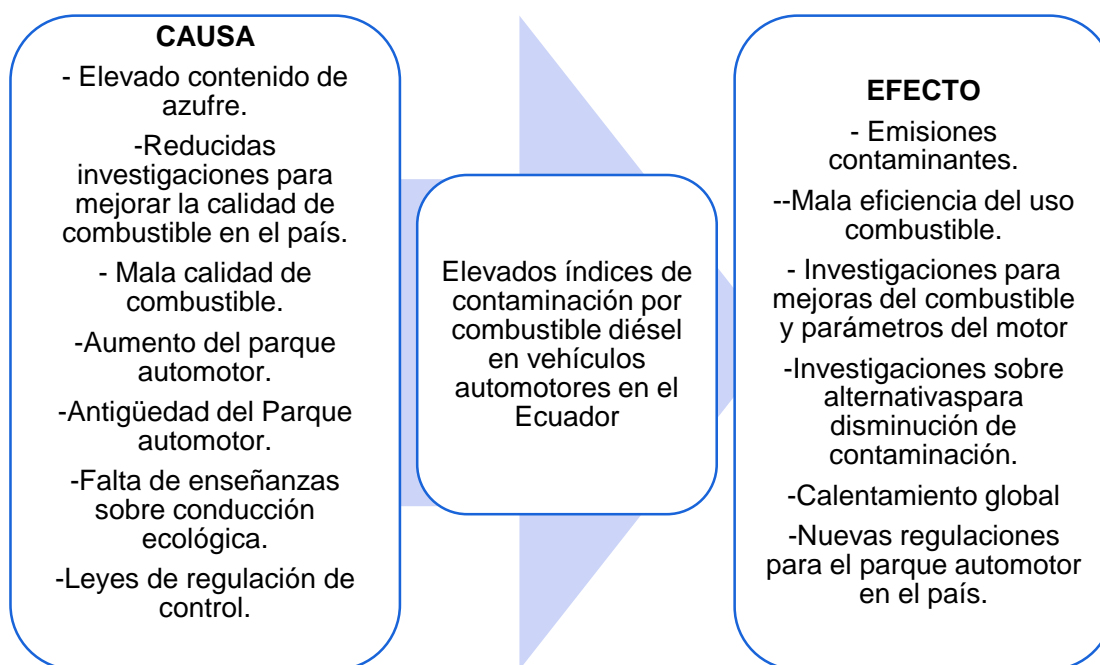


Figura 1 Causas y efectos generados por el uso de diésel en vehículos

1.3. Descripción resumida del proyecto

La investigación inicia con la búsqueda de información teórica de fuentes confiables. Posteriormente se realizó las formulaciones de emulsiones diésel y agua al 5, 10,15 y 20 por ciento utilizando surfactante teniendo como pauta: porcentajes de surfactante utilizados en otras investigaciones.

Para la formulación de las emulsiones se trabajó con diésel de las estaciones de servicio “PETROECUADOR” y se utilizó el Laboratorio de Coloideoquímica de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador.

De las muestras se obtuvo los valores de densidad, viscosidad y poder calorífico del combustible diésel y diésel emulsionado en diferentes porcentajes de agua, esto se realizó respectivamente en el Laboratorio de Coloideoquímica de la Universidad de la Universidad Central del Ecuador, y en el laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Campus Sangolquí.

Se procedió a elaborar el protocolo de pruebas y ajustes necesarios para el funcionamiento con diésel y diésel emulsionado en sus proporciones de agua en el banco de pruebas “PLINT TE-16” del laboratorio de Motores de Combustión Interna la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, campus Sangolquí

Posteriormente se realizaron las pruebas para obtener valores de fuerza, consumo volumétrico de combustible, opacidad y análisis de gases, utilizando diésel y diésel emulsionado en el banco de pruebas mencionado. Con los datos registrados se realizaron cálculos de los parámetros efectivos del motor de los cuales se obtuvieron resultados que permitieron realizar análisis comparativo entre las muestras de prueba, para presentar un informe de la investigación realizada, emitiendo conclusiones para su determinar su factibilidad.

1.4. Justificación e importancia

Las Naciones Unidas en el 2014, menciona que el PK (Protocolo de Kioto), establece metas vinculantes para la reducción de las emisiones para 37 países industrializados y la Unión Europea, el cual reconoce que son los principales responsables de los elevados niveles de emisiones de GEI que hay actualmente en la atmósfera, y que son el resultado de quemar fósiles combustibles durante más de 150 años. En este sentido el Protocolo tiene un principio central como lo manifiestan: el de la responsabilidad común pero diferenciada. El Protocolo ha movido a los gobiernos a establecer leyes y políticas para cumplir sus compromisos, a las empresas a tener el medio ambiente en cuenta a la hora de tomar decisiones sobre sus inversiones (http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/items/6215.php).

Cabe mencionar que el objetivo número cuatro del plan nacional del buen vivir de la república del Ecuador dice: “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable” ello atrae utilizar adecuadamente los recursos energéticos de forma eficiente e investigar propuestas para reducir la emisión de gases contaminantes que afectan a la salud y al ambiente como son los óxidos de nitrógeno (NOx), que afectan al sistema respiratorio, monóxido de carbono (CO), que atrae como efecto las enfermedades cardíacas, dióxido de carbono (CO₂) que influencia en el efecto invernadero, entre otros.

Actualmente, el gobierno nacional del Ecuador a través del INER (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables) propone la creación de nuevas iniciativas para la mejora de la eficiencia energética a través de la investigación y desarrollo de tecnología que permite el uso inteligente y medido de los recursos energéticos que demandan los diferentes tipos de transporte motorizado en el país. De acuerdo con el INER consumo de combustible está representado en base a (ver figura 2):

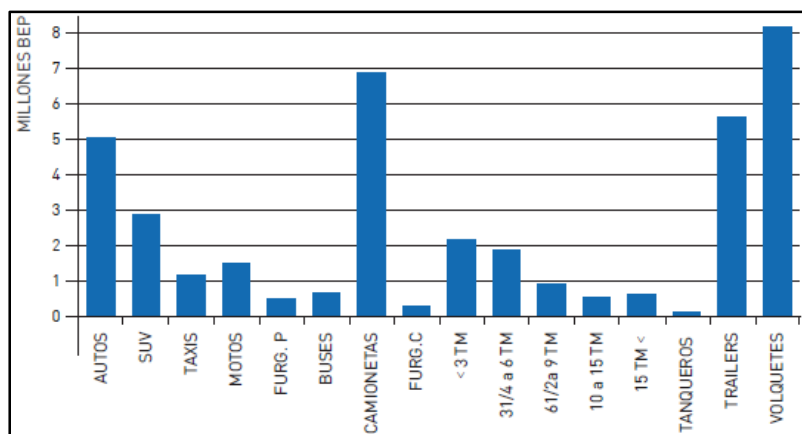


Figura 2 Consumo energético por tipo de vehículo en el Ecuador

Fuente: (Ecuador. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, 2015)

Otra iniciativa del INER para mejorar la eficiencia energética en el sector del transporte, se fundamenta en la creación de una base de datos y su posterior análisis para desarrollar tecnología que permita hacer uso eficiente del recurso energético que requieren todos los tipos de transporte que existen: aéreo, marítimo, ferroviario y transporte de carretera o terrestre (INER, 2015).

De acuerdo a las investigaciones que muestran que se han presentado disminución en los gases contaminantes y se han mejorado los parámetros característicos del motor de combustión interna con emulsiones de diésel y agua, asimismo conociendo que existen inconvenientes en la producción de biocombustibles especialmente por la deforestación de zonas para su cultivo y que además continúa la búsqueda de alternativas para combustibles que encajen en el desarrollo sostenible y equilibrado, existió la necesidad de investigar un tema de gran importancia, para proyectar resultados que son de gran interés para el desarrollo de nuevas propuestas al sector energético, y que brinden conocimiento en ámbitos de la ciencia e innovación.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Investigar el potencial energético de la emulsión diésel/agua al 5-10-15 y 20 % con el uso de surfactante para determinar su influencia en los parámetros mecánicos y térmicos del motor de combustión interna.

1.5.2. Objetivos específicos

- Obtener la información teórica de fuentes confiables para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Realizar las emulsiones de diésel y agua al 5, 10, 15 y 20 % con la utilización de surfactante.
- Obtener y analizar los valores de densidad, viscosidad, valor calorífico del diésel y de cada una de las muestras en sus diferentes porcentajes de agua.
- Elaborar el protocolo de pruebas para el uso de cada una de las muestras de combustible en el banco de pruebas PLINT TE-16.
- Obtener valores característicos mecánicos, térmicos y de opacidad, en funcionamiento con diésel y muestras de diésel emulsionado.
- Realizar un análisis de los parámetros mecánicos y térmicos obtenidos de las pruebas en funcionamiento con cada una de las muestras de combustible.
- Elaborar un informe de los resultados obtenidos y emitir conclusiones para demostrar su factibilidad.

1.6. Metas

Con la elaboración de las emulsiones de combustible, quiero obtener en el funcionamiento del motor de combustión interna aumento de torque entre el 5 y 10 %, a la vez la reducción de los gases contaminantes entre el 5 y 15 % en comparación con el funcionamiento con el uso de combustible diésel comercial durante el año 2016.

1.7. Hipótesis

Las emulsiones de combustible diésel y agua en el funcionamiento del motor de combustión interna mejorarán los parámetros térmicos y mecánicos del mismo y reducirá los niveles de gases contaminantes dependiendo de los porcentajes de agua añadidos a comparación del funcionamiento con diésel neto.

1.8. Variables de investigación

1.8.1. Variable Independiente

Emulsión diésel/agua.

1.8.2. Variable Dependiente

Parámetros mecánicos y térmicos.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS Y MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

Los motores de combustión interna alternativos utilizan combustibles líquidos procedentes del petróleo, siendo estos de origen fósil. En el caso de los motores de encendido provocado se utilizan las gasolinas, y el gasóleo para el funcionamiento de motores de encendido por compresión. La facilidad de almacenamiento en condiciones ambientales, conjuntamente con el alto poder energético que ofrecen a los motores de combustión interna, hace que estos sean ventajosos para el consumo del sector de la automoción (Payri & Desantes, 2011).

Payri, F. & Desantes J. (2011), menciona que : “Las limitaciones impuestas por las normativas de emisiones no solo han obligado a desarrollar mejores sistemas de combustión y post combustión, si no que a la vez llevó consigo a la industria petrolera en la carrera tecnológica para lograr emisiones aún menores”, (pág. 390), entre estos destacando al sector del transporte por su imponente contribución a los gases de efecto invernadero, colaborando a esta información el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) (ver figura 1).

En 1929 una primera norma de combustible para motores estacionarios (British Standard 209) fue publicada, las primeras normas de calidad del gasóleo y la gasolina aparecen en 1957 (la BS 2869) y en 1967 (la BS 4040), en el caso de los combustibles diésel, la aparición de las normativas de emisiones de partículas junto con la preocupación por los efectos adversos de los óxidos de azufre en la atmosfera, hasta llegar a nuevos sistemas de pos tratamiento que requieren la completa eliminación del azufre, (Payri, F. & Desantes, J., 2011, págs. 392-393).

Existen investigaciones de emulsiones diésel desde hace algunas décadas atrás estas datan de alrededor de 1980 y 1990 acorde con lo que referencia (Canfield, C., 1999), quien realizó en su tesis el estudio del “Efecto de la combustión de la emulsión diésel y agua en las emisiones de NOx en un motor diésel”, quien entre sus conclusiones menciona que añadir agua a el combustible baja la temperatura de la flama y amortiza la formación de NOx térmicos en los motores de combustión interna.

Lif, A., & Holmberg, K. (2006). En contribución con lo anterior detallan que: el contenido de agua afecta en dos informes. El primero es reducir la temperatura pico en el cilindro, resultando en la reducción del nivel de NOx formados. El segundo es el fenómeno de las micro explosiones debido a la diferencia volátil entre agua y diésel. Además menciona que hay limitada información sobre los emulsificantes usados en las emulsiones y no hay reportes del comportamiento con la estabilidad de la emulsión (p. 238).

Siguiendo en breve trascendencia de algunas investigaciones, (Sudrajad, A., et al., 2011, pág. 73), mencionó que la encapsulación del agua en aceite en medidas micrométricas previene que el agua entre en contacto con algún metal del motor.

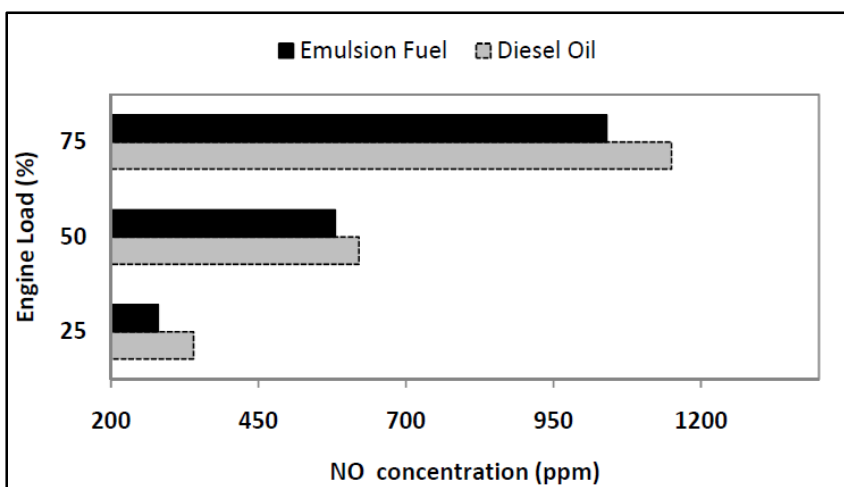


Figura 3 Emisión de NO utilizando una emulsión del 10 % de agua

Fuente: (Sudrajad, Hirotsugu, & Ismail, 2011)

En esta investigación (Sudrajad A., et al., 2011) realizaron el estudio experimental de las emisiones de escape de la emulsión de combustible W/O en motor mono cilíndrico de inyección directa, en el cual utilizaron 10 % de agua, 89% de diésel, y 1% de surfactante en el cual muestran resultados de reducción de emisiones de NO (ver figura 3), además en los resultados presenta disminución de la temperatura de los gases de escape y reducción en el consumo de combustible en comparación con base al diésel común (pág. 73).

De acuerdo con los aspectos físicos de las emulsiones los resultados experimentales presentan que la densidad y viscosidad son mayores que el obtenido por el diésel neto de acuerdo con (Dantas, A., et al, 2011, pág. 521). Así mismo otras investigaciones muestran propiedades que caracterizan a las emulsiones de diésel/agua como detalla la tabla 1, en la que se observa algunas propiedades de varias emulsiones realizadas.

Tabla 1
Propiedades de combustibles emulsionados

Tipo de combustible	Densidad kg/m³	Valor calorífico kJ/kg
Diésel	830	42500
Biodiesel	860	41032
Biodiesel + 5% W	867	38665
Biodiesel + 10% W	874	36337
Biodiesel + 15% W	881	34046
Biodiesel + 20% W	888	31791

Fuente: (Kannan & Marappan, 2011)

(Alternative petroleum technologies [APT], 2013), una empresa Estadounidense afirma que las emulsiones de diésel (DOE) son substitutos

directos para el diésel en todas sus aplicaciones incluyendo motores de encendido por compresión (motores a diésel de alta, media y baja velocidad) turbinas de combustión, hornos y calderos. (<http://www.altpetrol.com/es/2b-pd-doe.html>).

2.2. Motor diésel

El motor de combustión interna a diésel es una maquina térmica en donde se transforma la energía química del combustible en energía calórica y posteriormente en energía mecánica, la conversión de energías son una consecuencia desde el momento que se quema una cantidad de combustible inyectada dentro de las cámaras de combustión del motor.

Orovio, M., (2010) menciona que: “El motor diésel funciona por auto combustión, ya que la inflamación del gasóleo se produce espontáneamente, sin necesidad del sistema de encendido por bujía como en los motores a gasolina” (pág. 218). Las características de funcionamiento del motor a diésel son las siguientes:

- **Admisión:**

En esta etapa del ciclo solo entra aire al cilindro mientras el pistón está en movimiento descendente.

- **Acelerador por regulación de caudal de combustible**

La energía de combustión se regula según la cantidad de combustible inyectado mediante el acelerador.

- **Inflamación por auto combustión**

Los motores diésel disponen de mayor relación de compresión (entre 16-23) lo que hace una temperatura muy elevada en compresión, necesaria para provocar la auto inflamación del combustible inyectado al contacto con el aire sobrecalentado, aquí la presión de combustión es desequilibrada mayor que en el motor de gasolina y se produce más lentamente, por lo que se necesitan elementos móviles más robustos y pesados. Por estas razones y por asegurar que se queme todo el gasóleo en el proceso de la combustión, el motor diésel funciona a menos rpm, (Orovio, M., 2010, pág. 218).

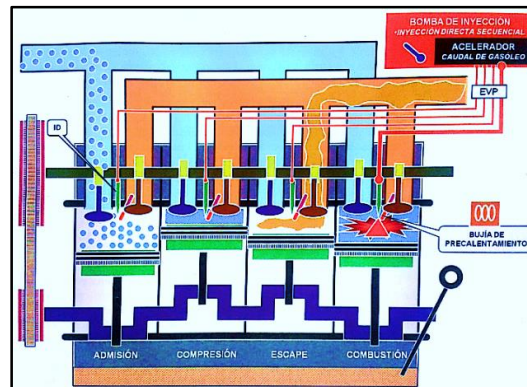


Figura 4 Funcionamiento del motor de combustión interna diésel

Fuente: (Orovio, 2010)

2.2.1. Inyección de combustible

El sistema de alimentación se encarga de transportar el combustible desde el depósito y lo pone a disposición del sistema de inyección. La bomba de inyección genera la presión de combustible necesaria para la inyección.

El combustible llega hasta los inyectores aquí el combustible es inyectado a una presión de 200 a 2200 bares, el diésel es conducido a través de cañerías

de alta presión, la potencia, el ruido originado por la combustión y la composición de los gases de escape se ven influidos por la masa de combustible inyectada y el desarrollo de la inyección o la combustión (Bosch, R., 2005, pág. 17).

A. Régimen de atomización

“Este es uno de los parámetros peculiares importantes ya que esto favorece para la homogenización entre el aire ambiente y el combustible en el cilindro, se puede describir ciertos regímenes de atomización” según (Payri F., & Desantes, J., 2011, pág. 599), quienes manifiestan que existen varios regímenes de atomización de acuerdo a la velocidad del chorro, más exactamente del número de Reynolds como detalla a continuación:

- a. **Régimen de rayleigh:** Para muy bajas velocidades de inyección del orden de 10 m/s.
- b. **Primer régimen inducido por acción aerodinámica:** Para velocidades de inyección más elevadas, el efecto de las fuerzas aerodinámicas aumenta debido a la velocidad relativa entre la vena líquida y el gas ambiente del cilindro.
- c. **Segundo régimen inducido por acción aerodinámica:** A medida que aumenta la velocidad de inyección las fuerzas aerodinámicas empiezan a ser mayores. Se generan perturbaciones a la salida del inyector y por la interacción aerodinámica las mismas que se amplifican hasta llegar a la separación de gotas de combustible.

- d. **Régimen de atomización:** La separación de las gotas ocurre cada vez más cerca del orificio del inyector, entre estas se distingue un proceso de **atomización incompleta** y otro con mayor velocidad de inyección de **atomización completa**.

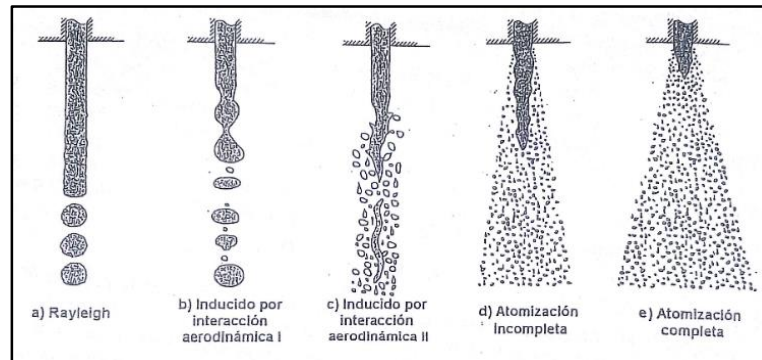


Figura 5 Régimen de atomización

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

B. Caudal de inyección

Según (Bosch, R., 2005, pág. 44), la masa necesaria de combustible m_e , para un cilindro del motor por tiempo de explosión se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$m_e = \frac{P \times b_e \times 33.3}{n \times z} \text{ [mg/carrera]} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

P : Potencia del motor en kW

b_e : Consumo específico de combustible en $\frac{g}{kWh}$

n: Número de revoluciones del motor en rpm

z: Cantidad de cilindros del motor

El volumen de combustible correspondiente al caudal de inyección Q_H , en $[\text{mm}^3/\text{carrera}]$, o bien en $[\text{mm}^3/\text{ciclo}]$, de inyección es entonces:

$$Q_H = \frac{P \times b_e \times 1000}{30 \times n \times z \times \rho} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{carrera}} \right] \quad \text{Ecuación 2}$$

La densidad del combustible ρ , en g/cm^3 .

La masa de combustible inyectada en por el sistema de inyección depende de las siguientes magnitudes:

- Sección de dosificación del inyector.
- Duración de la inyección.
- Desarrollo de la presión diferencial entre la presión de inyección y la presión existente en la cámara de combustión del motor.
- Densidad del combustible.

Bosch, R., (2005), dice: “El gasóleo es comprimible lo que quiere decir que se comprime a elevadas presiones, esto incrementa el caudal de inyección según” (pág. 44).

2.3. Parámetros del motor Diésel

2.3.1. Sección del pistón

Payri, F. & Desantes, J., (2011), dice: “Es la sección sobre la cual ejercen presión los gases combustionados, para obtener trabajo, además la sección de las válvulas está limitada por la sección del pistón, por lo que también es usual

referir el gasto de aire a esta sección” (pág. 47). Y lo expresan en la siguiente ecuación:

$$A_p = \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

D: Diámetro del pistón.

2.3.2. Cilindrada unitaria

Payri, F. & Desantes, J., (2011), dice: “Es el volumen desplazado por el pistón desde el punto muerto inferior hasta el punto muerto superior” (pág. 47).

$$V_D = A_p \times S \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

S: La carrera que realiza el pistón

2.3.3. Cilindrada total

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

$$V_T = V_D * z \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

z: Número de cilindros del motor

2.3.4. Número de ciclos por revolución

De acuerdo a (Payri, F. & Desantes, J., 2011) “Es el número de ciclos completados en una revolución del cigüeñal y utiliza el símbolo específico (i), un motor de cuatro tiempos tiene que realizar dos vueltas para completarlo por lo que $i = \frac{1}{2}$, y para los motores de dos tiempos solo se necesitan una revolución por lo que $i = 1$ ” (pág. 50).

2.3.5. Régimen de giro y velocidad media del pistón

A. Régimen de giro (n)

Payri, F. & Desantes, J., (2011) menciona: “Es el número de revoluciones que genera el motor en una unidad de tiempo, este determina la frecuencia de repetición del ciclo de trabajo” (pág. 50). Las unidades habituales de este parámetro son las revoluciones por minuto (rpm).

B. Velocidad media del pistón (c_m)

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

$$c_m = 2 \times S \times n \quad \text{Ecuación 6}$$

2.3.6. Grado de carga

Este es un parámetro que evalúa, lo que suministra el motor haciendo una comparación con el máximo de su capacidad que puede proveer. De acuerdo con Payri, F. & Desantes, J., (2011), se suele aplicar al par del eje, a la potencia e incluso al caudal de combustible aplicándolo a potencia a las mismas condiciones de funcionamiento, inyectando más o menos combustible, se modifica la calidad de la mezcla al modificar la relación aire combustible, denominada dosado, por ello es una relación cualitativa, por lo que en muchos casos se define como grado de carga en MEC, por el cociente de gasto de combustible: (pág. 51).

$$\alpha = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_{f,\max}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

\dot{m}_f : gasto másico de combustible

$\dot{m}_{f,\max}$: gasto másico de combustible máximo.

2.3.7. Gasto de combustible y poder calorífico

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

$$\dot{m}_f = \dot{V}_f \times \rho_f \quad \text{Ecuación 8}$$

$$\dot{V}_f = \frac{V_{\text{prueba}}}{t} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

\dot{m}_f : Consumo másico de combustible

\dot{V}_f : Consumo volumétrico de combustible

ρ_f : Densidad del combustible

V_{prueba} : Volumen de prueba

t : Tiempo de consumo

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

$$\dot{Q}_{\text{lib}} = \dot{m}_f \text{PC} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde \dot{Q}_{lib} es la potencia térmica liberada, \dot{m}_f es el gasto de combustible y PC es el poder calorífico del combustible, el gasto másico puede estar expresado también en:

$$\dot{m}_{cc} = \dot{m}_f / (\text{inz}) \quad \text{Ecuación 11}$$

La expresión de la potencia térmica liberada será en cada cilindro durante un ciclo de trabajo. En los MCIA de acuerdo con (Payri, F. & Desantes, J., 2011) menciona que: "La temperatura de los gases de escape es generalmente superior

a los 100 °C, por lo que la condensación del agua no se puede aprovechar, de modo que es adecuado utilizar para los cálculos el poder calorífico inferior del combustible” (pág. 53-54).

2.3.8. Par efectivo

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

$$M_e = FL \quad \text{Ecuación 12}$$

2.3.9. Potencia efectiva

Payri, F. & Desantes, J., (2011), dice: “La potencia efectiva se obtiene a partir del par efectivo que el motor entrega a un régimen de giro (n)” (pág. 61).

$$N_e = M_e \omega \quad \text{Ecuación 13}$$

$$\omega = 2\pi n \quad \text{Ecuación 14}$$

2.3.10. Rendimiento efectivo

Payri, F. & Desantes, J., (2011) dice: “Es la relación que existe entre la potencia efectiva desarrollada por el motor y la potencia térmica del combustible” (pág. 62).

$$n_e = \frac{N_e}{\dot{m}_f \text{PCI}} \quad \text{Ecuación 15}$$

A partir de esta ecuación se puede determinar:

$$N_e = n_e \dot{m}_f \text{PCI} \quad \text{Ecuación 16}$$

A partir de la ecuación de dosado; $\dot{m}_f = F \dot{m}_a$ y sabiendo que; $F = F_r F_e$ se tiene:

$$N_e = n_e F \dot{m}_a \text{PCI} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$N_e = n_e F_r F_e \dot{m}_a \text{PCI} \quad \text{Ecuación 18}$$

Tabla 2

Rendimiento efectivo y consumos específicos referidos a gasoil

Motor MEC	n_e [%]	g_{ef} [g/kW-h]
Automóvil (IDI)	35	240
Automóvil (DI sobrealimentado)	44	190
Industrial / Vehículo pesado	47	180
2T gran tamaño	55	150

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

2.3.11. Presión media efectiva

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

$$p_{me} = \frac{W_e}{V_T} = \frac{N_e}{inV_T} \quad \text{Ecuación 19}$$

Para un motor policilíndrico la (p_{me}) que se obtiene es una media de todos los cilindros.

Tabla 3
Presión eficaz media de diferentes motores

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

Fuente: (Jóvaj, 1982)

2.3.12. Consumo específico de combustible

Payri, F. & Desantes, J., (2011) dice: “Otra forma de definir el rendimiento es lo que se conoce como consumo específico el cual se define como el consumo horario de combustible para una potencia producida” (pág. 63).

$$g_{ef} = \frac{\dot{m}_f}{N_e}$$

Ecuación 20

Las unidades usadas habitualmente son g/kWh.

2.4. Combustibles para motores diésel

Payri, F. & Desantes, J., (2011) menciona: “Los combustibles son sustancias capaces de reaccionar exotérmicamente con el oxígeno, transformando por tanto la energía asociada a su estructura molecular en energía térmica” (pág. 390). En la figura 6 se presenta una clasificación de los combustibles líquidos y gaseosos que actualmente se utilizan:

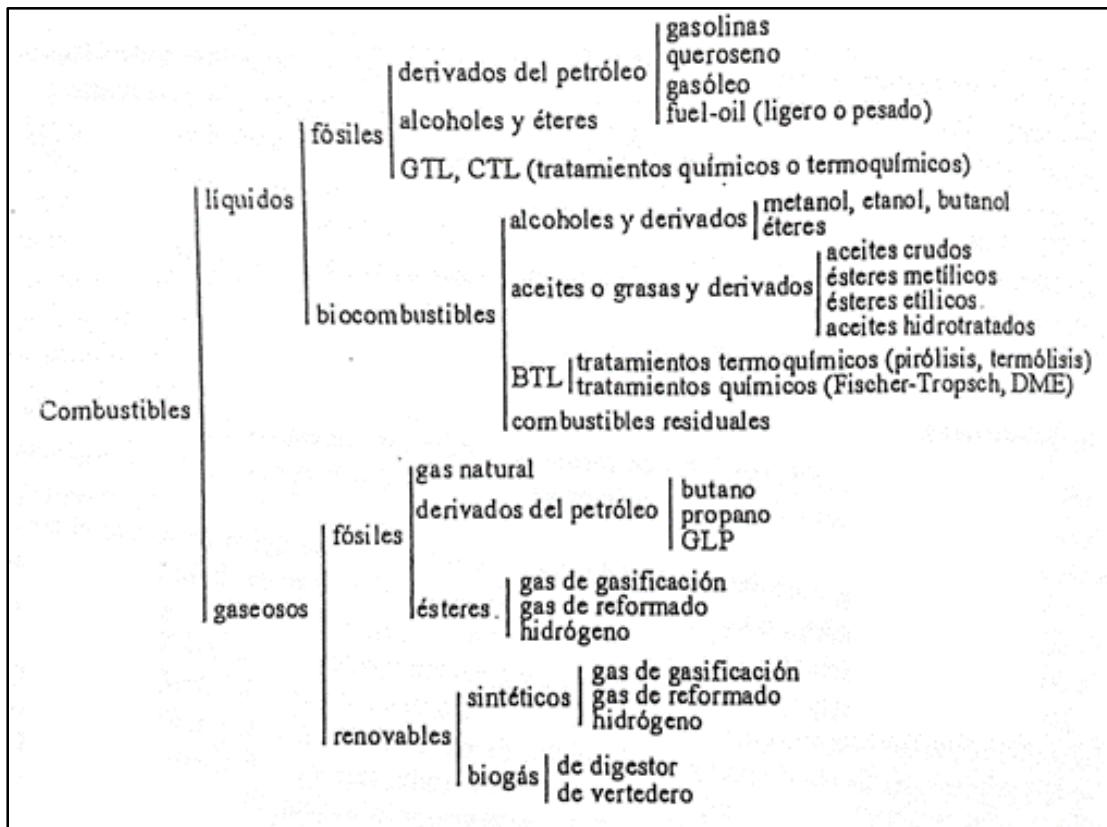


Figura 6 Clasificación de los combustibles utilizables en los MCIA

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

2.4.1. Combustibles de origen fósil

Bosch, R., (2005) dice: “En su mayoría son derivados del petróleo entre estos se encuentra los gasóleos, se obtienen del refinado fraccionario del petróleo crudo, están formados por múltiples hidrocarburos, que se encuentran en ebullición a temperaturas aproximadamente de 180° C y 370 °C” (pág. 78). Además detalla que un gasóleo de alta calidad posee las siguientes características:

- Fin de ebullición relativamente bajo.
- Valores de densidad y viscosidad con reducida dispersión.
- Índice de cetano elevado.
- Bajo contenido en compuestos aromáticos y poli aromáticos.
- Reducido contenido de azufre.

2.4.2. Biodiesel

Se denomina biodiesel a un combustible de origen vegetal o animal, y por tanto de carácter renovable, constituido por esteres alquílicos de ácidos grasos de acuerdo con. Entre varios ejemplos están los ésteres de girasol o de palma, éster de grasa alimenticia vieja, éster de cebo vacuno entre otros (Payri, F. & Desantes, J., 2011, pág. 296).

Según Bosch, R., (2005), menciona que los aceites vegetales puros, sin esterificar, ya no se utilizan casi en los motores diésel de inyección directa, ya que causan problemas de consideración debido a la elevada viscosidad de los aceites vegetales y la fuerte coquización que se genera en los inyectores (pág. 84). La producción de los ésteres metílicos de ácidos grasos no es rentable en comparación de los gasóleos basados en petróleo por lo que en Alemania reciben

exenciones fiscales (exención del impuesto sobre productos petrolíferos), (Bosch, 2005).

2.4.3. Emulsiones

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

Por otra parte menciona Robert Bosch que es preciso además tomar una serie de medidas protectoras contra la oxidación y el desgaste. Con la utilización de las emulsiones pueden rebajarse las emisiones de hollín y óxidos de nitrógeno, ya que la mezcla es más frías debido a la proporción de agua (2005, pág. 85)



Figura 7 Emulsiones de diésel y agua en porcentajes del 5, 10, 15 y 20 %

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



Figura 8 Apariencia blanca por dispersión de luz generada por el agua
Fuente: (Alternative petroleum technologies [APT], 2013)

2.4.4. Propiedades fisicoquímicas de los combustibles.

A. Densidad

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

a. Densidad relativa

De acuerdo con la norma 0011 del Instituto Ecuatoriano de Normalización es la relación entre la densidad de una sustancia y la densidad del agua destilada,

consideradas ambas a una temperatura determinada, esta es expresada para una temperatura de referencia de 20 °C mediante el cálculo de la ecuación:

$$d_{20} = \frac{m_3 - m_2}{m_1} \quad \text{Ecuación 21}$$

Siendo:

d_{20} = densidad relativa a 20 °C

m_1 = masa del agua a 20 °C, en (g).

m_2 = masa del picnómetro vacío, en (g).

m_3 = masa del picnómetro con la sustancia, en (g).

En la ecuación anterior m_3 es una variable para cualquier sustancia.

b. Densidad absoluta:

El cálculo de la densidad absoluta esta expresada mediante la ecuación utilizada por el laboratorio de Coloideoquímica de la Universidad Central del Ecuador, para una temperatura de referencia de 20 °C:

$$\rho^{t1} = d_{20} * \rho_{H_2O}^{t1} \quad \text{Ecuación 22}$$

Siendo:

ρ^{t1} = densidad absoluta a temperatura 1.

d_{20} = densidad relativa a 20 °C.

$\rho_{H_2O}^{t1}$ = densidad del agua a temperatura 1.

Harris, D. (2007), propone la ecuación de la densidad del agua para una temperatura determinada, indicando que esta ecuación es exacta hasta la quinta cifra decimal en el intervalos entre 4C° y 40C° (pág. 39).

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}}^{t_1} = a_0 + a_1 \times T + a_2 T^2 + a_3 T^3 \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

T: temperatura (C°)

$$a_0 = 0.99989$$

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

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

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

Entre los diferentes instrumentos de medición de densidad se encuentran los siguientes:

- Boyas calibradas.
- Picnómetros.



Figura 9 Picnómetro 25 ml

B. Viscosidad

Ralbovsky, E., (2000), dice que: La viscosidad del diésel afecta directamente al modelo o patrón de pulverización del combustible (ver figura 10) en la cámara de combustión y a los componentes del sistema de inyección, el combustible de mayor viscosidad producirá gotas mayores que se queman con mayor dificultad, por el contrario si el combustible tiene una viscosidad baja este se inyecta como neblina fina fácilmente inflamable, cabe resaltar también que, si la viscosidad es demasiado baja, no se produce una buena lubricación ni se enfría la bomba de inyección y las toberas (pág. 42).

La norma 2482 del Instituto Ecuatoriano de Normalización, TABLA 1. Detalla los requisitos de la viscosidad para un biodiésel: la máxima de **5 mm²/s** y mínima de **3,5 mm²/s**, a la temperatura de **40 °C**.

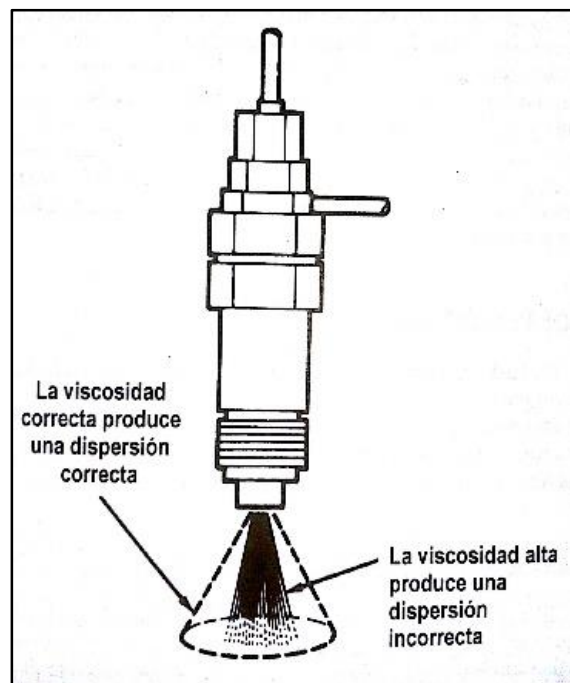


Figura 10 La viscosidad del combustible afecta al modelo de pulverización
Fuente: (Ralbovsky, 2000)

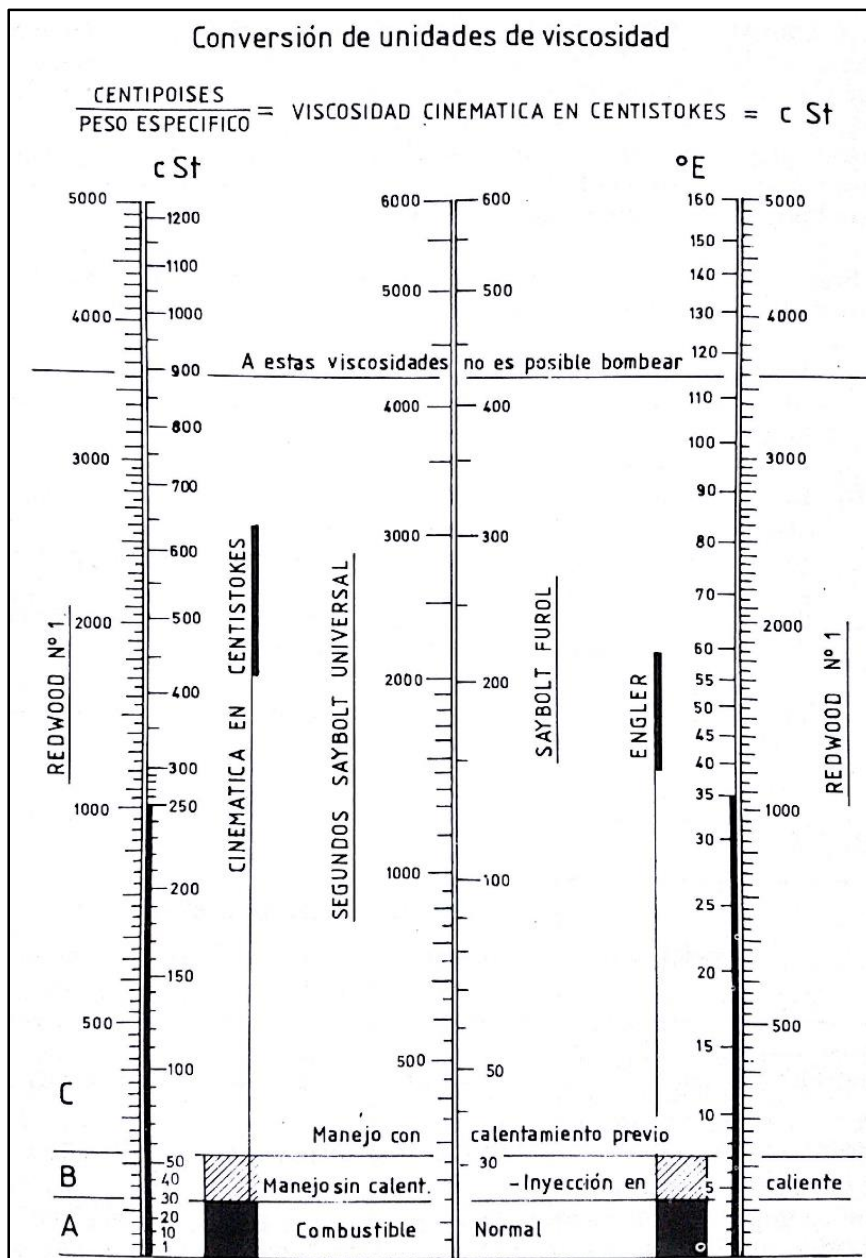


Figura 11 Ábaco de viscosidades de combustible

Fuente: (Millares de Imperial, 1985)

a. Viscosidad dinámica

La norma 810 del Instituto Ecuatoriano de Normalización, dice: "Es la relación entre el esfuerzo cortante aplicado y el coeficiente de corte; es una

medida de la resistencia al flujo de un líquido. En el SI, la unidad de viscosidad dinámica es el pascual por segundo”.

b. Viscosidad cinemática

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

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

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

a. Viscosímetros de vidrio capilar estándar calibrados

En este instrumento se añade una cantidad de la muestra de fluido, después de estabilizar la temperatura, se aplica succión para hacer que el fluido

se desplace por el bulbo hasta llegar ligeramente por encima de la marca superior de toma de tiempo, se suspende la succión y se permite que el fluido circule por gravedad. Se registra el tiempo desde que inicia a circular por la marca superior hasta que llegue a la marca inferior del bulbo.

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

$$V_c = C * t \quad \text{Ecuación 24}$$

Siendo:

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

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

t = tiempo de flujo en segundos.

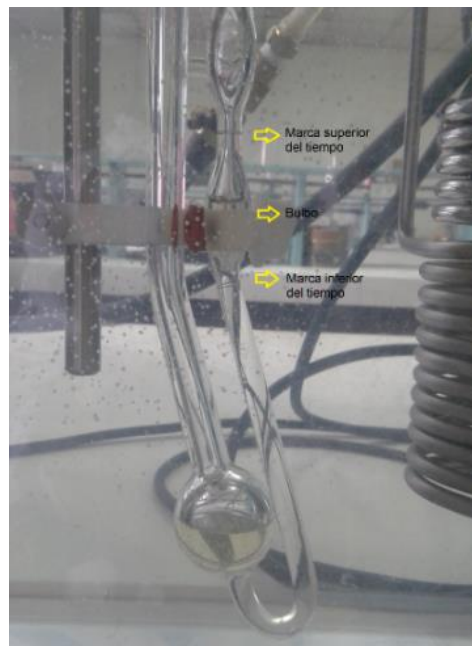


Figura 12 Viscosímetro de rutina Cannon-Fenske

C. Poder calorífico

Payri, F. & Desantes, J., (2011), menciona: Es la expresión del contenido energético de un combustible lo define como la energía liberada en forma de calor en la combustión estequiométrica de una unidad de masa de combustible, donde los productos quemados quedan en las mismas condiciones de temperatura y presión (o presión y volumen) que los reactivos iniciales (pág. 361). Siendo que los combustibles forman agua después de la combustión, el proceso de combustión real variara si el agua está en estado líquido o gaseo siendo la diferencia el calor latente de vaporización del agua (Payri, F. & Desantes, J., 2011, pág. 361). Por ello definen:

a. Poder calorífico superior

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

b. Poder calorífico inferior

Este se genera cuando el agua producto de la combustión no condensa por lo tanto su calor latente no se ha liberado en el proceso de condensación, en otras palabras es el que se obtendría si el agua de los productos permanece en la fase de vapor (Payri, F., & Desantes, J., 2011, pág. 361). En un combustible el poder calorífico depende de su composición química en la tabla número 4 se muestran los valores de varios combustibles usuales.

Tabla 4

Valores de poder calorífico inferior de combustibles comunes

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

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

c. Determinación del poder calorífico

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

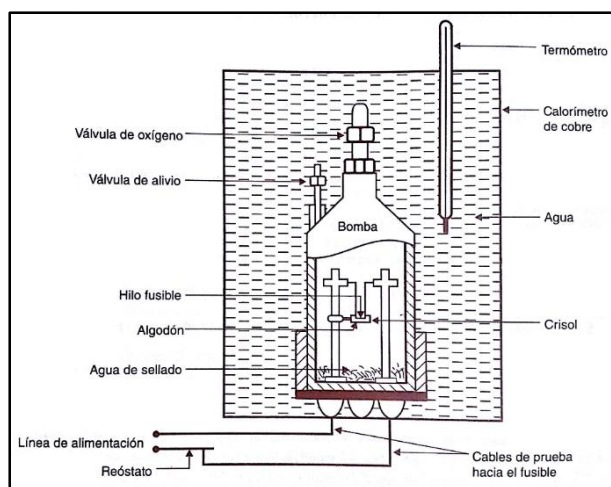


Figura 13 Calorímetro de bomba

Fuente: (Rajput, 2011)

Rajput, R., (2011), dice: La bomba calorimétrica está realizada de acero inoxidable, y permite que soporte alta presión. En el calorímetro se encuentra una bomba cilíndrica en la que ocurre la combustión. Tiene dos válvulas en la parte superior para la carga de oxígeno y para la descarga de gases combustionados. Posee un crisol en el cual se coloca el combustible en el que se coloca los electrodos. Además dispone de una camisa de agua, que rodea a la bomba, que sirve para evitar las pérdidas por radiación. Posee un agitador para mantener la temperatura del agua uniforme y un termómetro para medir la variación de temperatura (pág. 509).

La bomba calorimétrica permite determinar el poder calorífico del combustible al quemar una muestra de este (Jóvaj, M., 1982). El poder calorífico se define como la energía liberada en forma de calor de una unidad de masa de combustible (Payri, F. & Desantes, J., 2011).

$$PCS = \frac{C \times \Delta T - e_1}{m_f} \quad \text{Ecuación 25}$$

$$e_1 = m \times h \quad \text{Ecuación 26}$$

Dónde:

C: Capacidad calorífica de la bomba en J/°C

ΔT: es el cambio de temperatura registrado durante la experiencia en (°C)

m_f: Masa de combustible combustionada en (g)

e₁: Corrección por el calor generado por la combustión del filamento de ignición.

m: centímetros de alambre fusible consumidos

h: Poder calorífico de alambre fusible por cm (J/cm)

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

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

Payri, F. & Desantes, J., (2011), detalla que: “A partir del poder calorífico superior se puede determinar el poder calorífico inferior, donde la diferencia es el calor latente de vaporización del agua de los productos, que en condiciones de temperatura estándar (298 K) es.” (pág. 362).

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

$$\text{PCI}_v = \text{PCS}_v - \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{m_f} \Delta u_{\text{vap}}^0 \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

PCI_v = Poder calorífico inferior a volumen constante.

PCS_v = Poder calorífico superior a volumen constante.

$m_{\text{H}_2\text{O}}$ = Masa de agua de los productos de la combustión.

m_f = Masa de combustible quemado.

2.5. Emisiones contaminantes

El control de las emisiones es un factor primordial en la actualidad para el diseño de motores, muchas industrias destinan un importante presupuesto en limitar el impacto ambiental, la reducción del impacto ambiental se ha convertido en uno de los principales objetivos de la investigación.

Payri, F. & Desantes, J., (2011), dice: Los hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono

(CO), óxidos de azufre (SO_x), también los gases que contribuyen al efecto invernadero como lo es el (CO_2) están entre los contaminantes más importantes derivados de los procesos de combustión. (pág. 416).

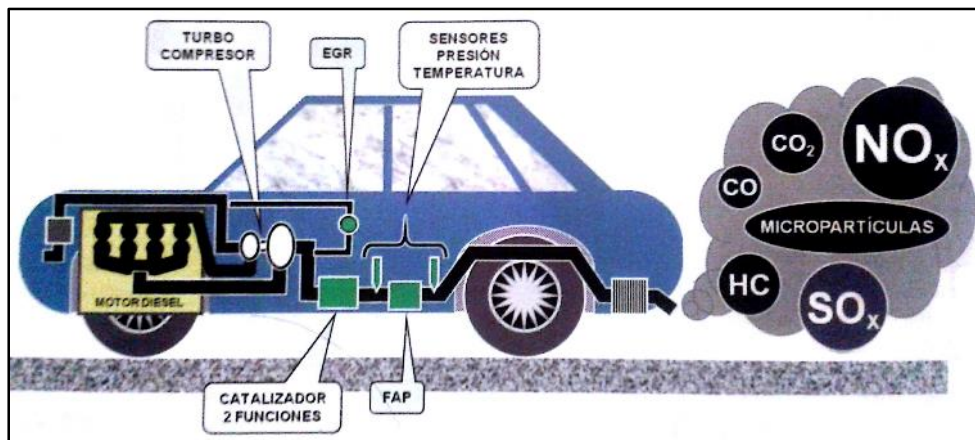


Figura 14 Gases contaminantes del motor diésel

Fuente: (Orovio, 2010)

2.5.1. Monóxido de carbono

Bosch, R., (2005), dice: Este se desarrolla al efectuar una combustión incompleta de una mezcla rica de aire y combustible como consecuencia de la insuficiencia de aire. Por otro lado con exceso de aire este se genera en pequeñas cantidades debido a las mezclas de aire combustible no homogéneas. En el proceso de inyección las gotas de combustible que no se vaporizan crean zonas ricas que no se queman por completo durante la combustión (pág. 88).

Payri, F. & Desantes, J., (2011), menciona: El CO emitido es incoloro e inodoro, este es letal en bajas dosis ya que este se combina con la hemoglobina de la sangre aún más rápido que el oxígeno, reduciendo así la capacidad de transportarlo, el CO atrae consigo dolores de cabeza, cansancio, somnolencia bajo una exposición prolongada (pág. 427).

2.5.2. Hidrocarburos (HC)

Bosch, R., (2005), dice que estas emisiones se deben a una combustión incompleta de la mezcla aire combustible en caso de falta de oxígeno, durante las uniones puede crearse nuevas uniones de hidrogeno y carbono no existentes originalmente en el combustible, (p.ej. en caso de producirse la rotura de cadenas largas de moléculas), estos compuestos se consideran como elementos cancerígenos en caso de exposición permanente, también los hidrocarburos parcialmente oxidados (p.ej. los aldehídos, cetonas), tienen un olor desagradable y forman compuestos derivados bajo la irradiación solar, que pueden ser así mismo cancerígenos a determinadas concentraciones y en explosión permanente (pág. 88).

2.5.3. Óxidos de nitrógeno

Payri, F. & Desantes, J., (2011), dice: “Existen varios mecanismos para la formación de estos compuestos siendo uno de ellos el mecanismo térmico, este a la vez el más importante a altas temperaturas. Se ocasiona por la oxidación del nitrógeno presente en el aire atmosférico” (pág. 419).

Bosch, R., (2005), indica que en los motores de combustión interna se generan principalmente óxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), y también en menor medida óxido nitroso (N₂O), el óxido de nitrógeno (NO) es incoloro e inodoro, este se transforma en el aire formando dióxido de nitrógeno (NO₂), este gas en su estado puro es de color rojo marrón, venenoso y de olor penetrante, en las concentraciones muy polucionadas en la atmosfera puede causar irritaciones en las mucosas, además son responsables de la lluvia ácida y junto con los hidrocarburos de la polución ambiental (pág. 88).

2.5.4. Dióxido de azufre (SO₂)

Bosch, R., (2005), dice que son la consecuencia del contenido de azufre en el combustible, con una parte menor en proporción, este no puede ser convertido por un catalizador pero se acumula firmemente en el mismo o reacciona con el revestimiento y reduce su efecto depurador en los otros componentes de los gases de escape (págs. 88-89).

2.5.5. Material particulado

Payri, F. & Desantes, J., (2011) mencionan: “Se considera partícula a cualquier materia presente en los gases de salida que se encuentren en estado líquido o sólido en condiciones aproximadamente ambientales” (pág. 431).

Bosch, R., (2005) dice que al tener una combustión incompleta se generan sustancias solidas en forma de partículas, estos consisten en función de la combustión y el servicio del motor, principalmente en encadenamiento de partículas de carbono (hollín), según, donde se encuentran aerosoles de combustible y aceite lubricante así como sulfatos (pág. 89).

La comparación estimada de los gases contaminantes del motor diésel en comparación con el de gasolina es el siguiente según (Orovio, M., 2010, pág. 229):

- **Monóxido de carbono (CO)**; el diésel emite el 33% en relación con la gasolina.
- **Hidrocarburos no quemados (HC)**; 50% el diésel frente a la gasolina.
- **Óxidos de nitrógeno NO_x**; el diésel expulsa el 200% o más comparado con el gasolina.

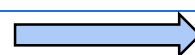
- **Dióxido de carbono CO₂**; un 75% con relación a la gasolina por su menor consumo.
- **Óxidos de azufre SO_x**; El azufre contenido en el gasóleo depende del tipo de combustible.

A continuación se explica las particularidades de cada uno de los gases nocivos:

Tabla 5
Análisis de los gases contaminantes

CONTAMINANTE	CAUSA	EFEECTO	SOLUCIÓN
(CO) Monóxido de carbono	– Combustión incompleta	– Enfermedades cardíacas	– Mejor control de inyección
NO_x Óxidos de nitrógeno	– Exceso de oxígeno – Alta T° de combustión	– Irritación de los ojos – Afecta al sistema respiratorio – Mayor riesgo en infecciones	– EGR y refrigerada – Gasóleo sin azufre – Catalizador específico
(HC) Hidrocarburos no quemados	– Combustión incompleta	– Afecta al sistema respiratorio – Asma – Cáncer	– Mejor control de inyección – Catalizador de dos vías
Micro partículas	– Acumulación de gotas de gasóleo en aceleración – Mala combustión – Falta de oxígeno	– Problemas respiratorios – Potencian las alergias – ¿Cáncer?	– Filtro antipartículas – Gasóleo sin azufre – Inyección más evolucionada

CONTINÚA



CO₂ Dióxido de carbono	– Residuos de combustión	– Efecto invernadero	– Reducir el consumo
	– Proporcional al consumo		
SO_x Óxidos de azufre	– Combustible con azufre	– Irritación de ojos	– Menos azufre en el gasóleo
		– Afecta al sistema respiratorio	– Nuevos catalizadores
		– Impide tecnologías para reducir la polución	

Fuente: (Orovio, 2010)

2.6. Opacidad

La norma 2202 del Instituto Ecuatoriano de Normalización, define a la opacidad como: “Grado de reducción de la intensidad de la luz visible que ocasiona una sustancia al pasar”, el porcentaje de opacidad es la unidad de medición que determina el grado de opacidad de las emisiones de escape de una fuente móvil a diésel.

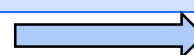
De acuerdo con la norma 2207 del Instituto Ecuatoriano de Normalización, toda fuente móvil con motor diésel no podrá descargar al aire humos en cantidades superiores a las indicadas en la Tabla 6.

Tabla 6

Límites máximos de opacidad para fuentes móviles diésel

Año modelo	% Opacidad
2000 y posteriores	50

CONTINÚA



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



Figura 15 Opacímetro NDO-6000

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

2.7. Surfactantes

Bernabé, V. (2007) explica: “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”.

Holmberg, K., et al. (2003) dicen que la palabra surfactante es una abreviación para agente activo de superficie, que literalmente es un medio activo en una superficie. En otras palabras, un emulsionante o surfactante es caracterizado por su tendencia para absorber a superficies e interfaces (pág. 1). El término interface denota a una frontera o límite entre dos fases inmiscibles

cualquiera; el término superficie indica que una, de las fases es un gas, usualmente aire. Existen completamente cinco diferentes interfaces:

- **Sólido – vapor (superficie)**
- **Sólido – líquido**
- **Sólido – sólido**
- **Líquido – vapor (superficie)**
- **Líquido – líquido**

Los surfactantes pueden adsorber a todos de los cinco tipos de interfaces presentadas anteriormente, a continuación se presenta una tabla con ejemplos de diferentes interfaces y productos, en que estas interfaces son importantes:

Tabla 7

Ejemplos de interfaces involucrando una fase líquida

Interface	Tipo de sistema	Producto
Sólido – líquido	Suspensión	Solvente de Pintura
Líquido – líquido	Emulsión	Leche, crema
Líquido – Vapor	Espuma	Crema de afeitado

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

Holmberg, K., et al., (2003), dice: El grado de concentración del surfactante en un límite depende de la estructura del surfactante y también de la naturaleza de las dos fases para juntarse en la interface. Por tanto, no hay un surfactante bueno universalmente apto para todos los usos. La selección dependerá acerca de la aplicación (pág. 2).

Las moléculas de una sustancia emulsificante se caracteriza por estar constituida por un grupo polar y uno apolar (ver figura 16) tal como es el caso de los alcoholes y de los ácidos grasos con cadenas de carbono-hidrogeno cortas (Romo, L., 1993, pág. 75).

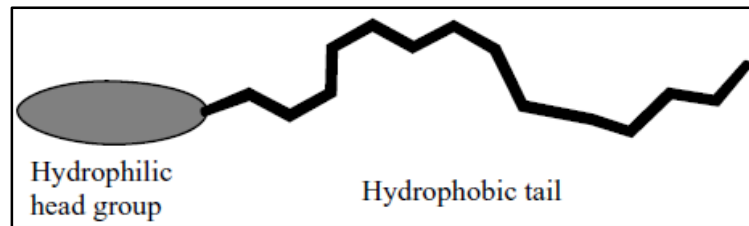


Figura 16 Esquema de un surfactante

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

En estas moléculas, el grupo OH o COOH que es la parte polar tiene afinidad por las moléculas de agua, por lo que es la parte hidrofílica. Por otra parte el grupo apolar constituido por la cadena de carbono - hidrógeno que tiene afinidad por líquidos apolares se denomina lipofílico o hidrofóbico. Usualmente cuando un fluido es agua se habla acerca de partes hidrofílicas e hidrofóbicas (Holmberg, K., et al., 2003). Los surfactantes se auto-agrupan encabezando en una gama de diferentes estructuras como muestra la figura 17.

Holmberg, K., et al., (2003), dice que la geometría de los surfactantes y los parámetros de sus envolturas, se los entiende fácilmente si se trata de llenar los espacios modelos de paquetes de surfactantes dentro de diferentes conjuntos de moldes. Por ejemplo se encuentra que debido a la cabida de la parte hidrofóbica, las moléculas de doble cadena no pueden ser llenadas dentro de micelas esféricas, además en los estudios se notaron que en su simple caracterización geométrica del paquete de cadenas en micelas esféricas la cantidad $V/l_{\max}a$, (ver figura 18) puede ser en mayoría 1/3 para una micela esférica (pág. 89).

EL cálculo electrostático de distancias entre cabezas de grupos puede ser estimado por el valor del CPP (Parámetro crítico de envoltura) o número de surfactante en este caso. Para los no-iónicos, es muy importante la temperatura más que la concentración electrolítica para interacciones entre cabezas de grupos y es decisiva para juntar estructuras (Holmberg, K., et al., 2003, pág. 90).

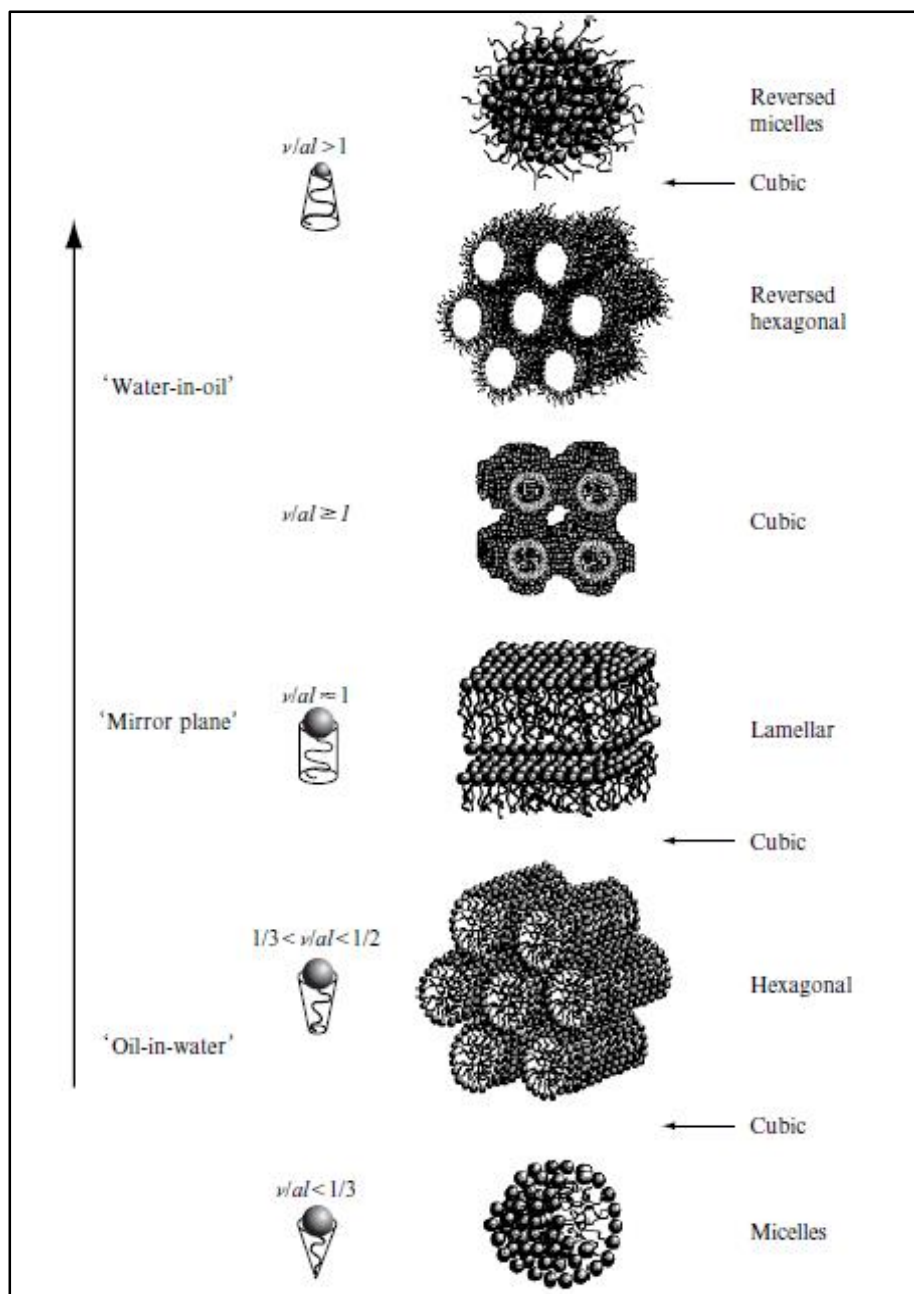


Figura 17 Estructuras por razones geométricas de envoltura

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

El parámetro crítico de envoltura (CPP) o número de surfactante refiere a la área de conjunto de cabeza, la longitud extendida y el volumen de la parte hidrofóbica de una molécula de surfactante (ver figura 18) dentro de un número adimensional $CPP = v/l_{max}a$ (Holmberg, K., et al., 2003, pág. 90).

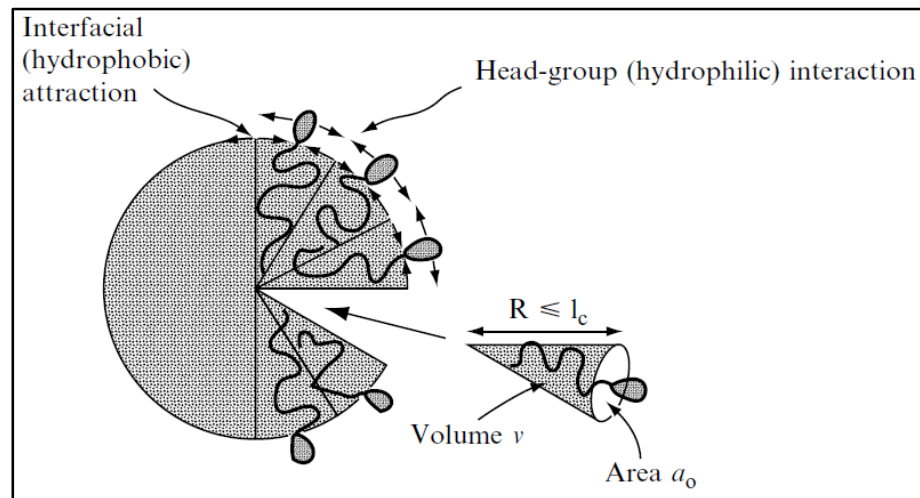


Figura 18 Parámetro crítico de envoltura de una molécula de surfactante
Fuente: (Holmberg, Jönsson, Kronberg, & Lindman, 2003)

2.7.1. Clasificación de surfactantes

La clasificación primaria de los tensoactivos es hecha en base de la carga del grupo de cabeza polar. Es común dividirlos en las siguientes clases de acuerdo a (Holmberg, K., et al., 2003, pág. 8):

- Aniónicos.
- Catiónicos.
- No – Iónicos.
- Zwitterionicos.

A. Tensoactivos No – Iónicos

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

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

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

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

Romo, L., (1993), dice que los alcoholes utilizados para la síntesis de sustancias tensioactivas no-iónicas varían en su origen y composición. Se utilizan alcoholes naturales derivados de aceite de coco, sebo de bovinos y ovinos y "Tall oil" que es un producto secundario de la industria de la madera que contiene una alta concentración de ácidos oleico y linoleico (pág. 79).

En la siguiente tabla se presentan varios ejemplos de surfactantes para la formulación de emulsiones diésel / agua en varias investigaciones:

Tabla 8
Tensoactivos para la formulación de combustibles emulsionados

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

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

Ejemplos de tensoactivos:

Ácido oleico: Es un ácido graso monoinsaturado de la serie omega 9 típico de los aceites vegetales como el aceite de oliva, del aguacate, etc. Ejerce una acción beneficiosa en los vasos sanguíneos reduciendo el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares (http://www.ecured.cu/%C3%81cido_oleico).

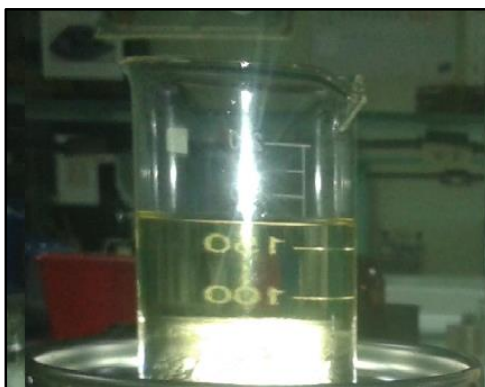


Figura 19 Ácido oleico

El ácido oleico se encuentra en la mayoría de las grasas y aceites naturales aproximadamente en las siguientes proporciones: en el aceite de oliva de 70 a 75%; en el aguacate 70%; en el aceite de semilla de uvas de 15-20%, en el aceite de girasol alto-oleico en un 80% y en de girasol convencional en un 35%, en el aguacate se encuentra en una proporción aproximada del 70%, y en la carne de cerdo alcanza un 38% (http://www.ecured.cu/%C3%81cido_oleico).

Nonil fenol con 6 moles de óxido de etileno: Este es un agente tensoactivo no iónico basado en nonil fenol, al cual se ha agregado óxido de etileno (<http://qae.com.mx/nonil/>), (ver figura 20).

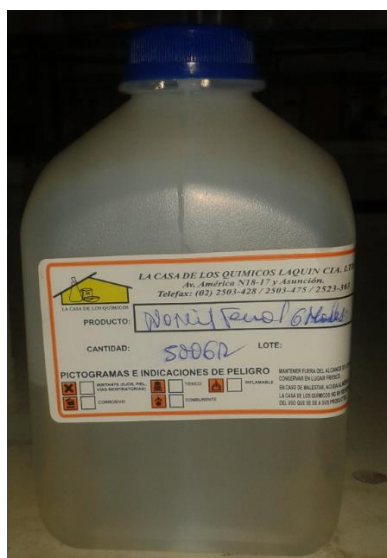


Figura 20 Nonil fenol de 6 moles de óxido de etileno

Este es un agente tensoactivo soluble en hidrocarburos ligeros, útil para formular detergentes industriales, emulsificante para agroquímicos y aceites minerales, agente de re-humectación para toallas de papel (<http://qae.com.mx/nonil/>).

Tabla 9
Especificaciones técnicas nonil fenol de 6 moles de O.E.

Características	Especificaciones
Aspecto a 25 °C	Líquido incoloro
Moles de O.E.	6
% Ingrediente Activo	100 min.
Gravedad específica a 25 °C	1.020 – 1.060 g/ml
Viscosidad a 25 °C	200-300 cPs
Valor BHL	10.9

Fuente: (Químicos y Aceites Especiales [QAE], 2016)

Kolliphor EI: Es un solubilizante y emulsificante no iónico hecho por reacción del aceite castor con óxido de etileno, el BHL de aceite de castor posee valor de BHL de 14 según (Holmberg, K., et al., 2003). Es recomendado en muchas ramas de la industria. Este es ideal para la producción de preparación de líquidos.

Este tensoactivo es emulsificador o solubilizador de la vitamina A, D, E y K de grasa solubles en soluciones acuosas para administración oral. En soluciones alcohólicas-acuosas es muy fácil solubilizar aceites esenciales (BASF SE, 2012).



Figura 21 Kolliphor EL

Tabla 10
Especificaciones técnicas del Kolliphor EL

Características	Especificaciones
Aspecto a 26 °C	Líquido amarillo pálido aceitoso
Moles de O.E.	Razón molar de 1:35
BHL	12-14

Fuente: (BASF SE, 2012)

2.8. Emulsiones

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

Las formulaciones de emulsiones dependen de las características de los líquidos inmiscibles, que por lo general el uno es agua y el otro un líquido orgánico.

En su forma más sencilla son de dos tipos:

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

Estas emulsiones se caracterizan por tener como fase continúa el líquido orgánico y la parte acuosa como fase discontinua o dispersa, en la figura 22 se presenta una fotografía tomada en el microscopio de una emulsión A/O donde la fase continua es diésel y la fase dispersa es agua.



Figura 22 Emulsión agua/diésel

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

Por el contrario de las anteriores estas tienen como fase continua el agua y como fase dispersante el líquido orgánico. Cabe mencionar que la parte líquida de mayor porcentaje en la muestra no siempre es la fase continua.

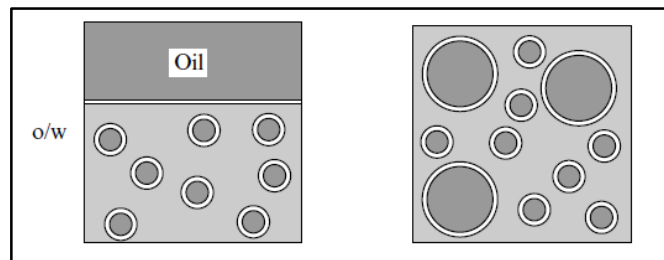


Figura 23 Dispersión de una emulsión O/W

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

2.8.3. Mecanismos de formación de emulsiones

Una emulsión puede formarse a partir de dos líquidos inmiscibles después de un tratamiento físico-químico apropiado, donde el uno constituye la fase dispersa y el otro la fase dispersante. Para preparar una emulsión se añade el

líquido que va a ser la fase continua, el surfactante apropiado para las sustancias y luego la fase dispersante, a esto se le añade trabajo mecánico para la formación de microesferas que constituyen la fase dispersa.

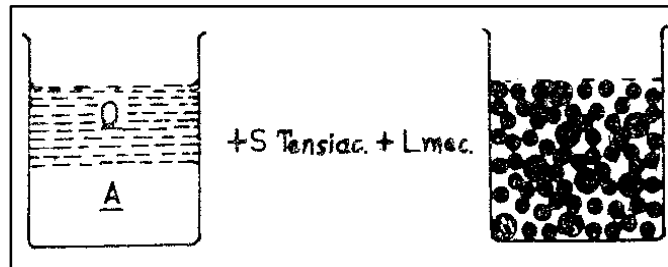


Figura 24 Formación de la emulsión

Fuente: (Romo, 1993)

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

Para la formación de emulsiones se puede encontrar diferentes aparatos emulsionantes como por ejemplo: agitadores, mezcladores, conductos de flujo laminar y turbulento, homogenizadores de alta presión, molinos coloidales y de bolas, generadores de ultrasonido entre otros, en la siguiente figura se observan dos de los mencionados:



Figura 25 Mezcladores para elaboración de emulsiones

2.8.4. Estabilización estérica

Holmberg, K., et al., (2003), dice: Llamada algunas veces estabilización polímero, puede ser alcanzada por surfactantes no-iónicos teniendo larga cadena de polyoxietilenos por los grupos de cabeza polar. La estabilización estérica es causada por la fuerza de repulsión que elevadas como un resultado de un decrecimiento en la entropía cuando las cadenas desde dos gotitas inician a enredarse (pág. 454).

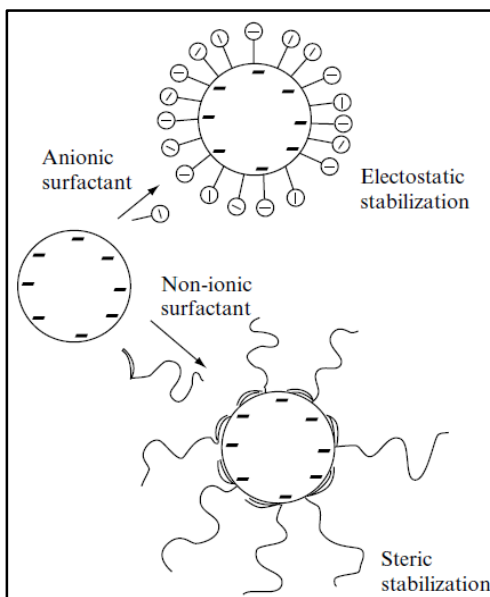


Figura 26 Estabilización electrostática y estérica de una emulsión

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

2.8.5. Microemulsiones

Las microemulsiones, macroscopicamente son mezclas homogéneas de aceite, agua y surfactante, que en nivel microscópico consiste de dominios individuales de aceite y agua separados por monocapas anfifílicas. Las microemulsiones no presentan ser estimadas como emulsiones con medidas muy

pequeñas de gotas, las diferencias fundamentalmente se detallan en la tabla 11 (Holmberg, K., et al., 2003).

Tabla 11

Diferentes características entre emulsiones y microemulsiones

Emulsión	Microemulsión
Inestable, intención de separación eventual	Termodinámicamente estable
Gotas relativamente grandes (1-10 μm)	Conjuntos pequeños (~ 10 nm)
Sistema relativamente estático	Sistema altamente dinámico
Moderadamente larga superficie interna, necesita moderada cantidad de surfactante	Alta superficie interna , Necesaria alta cantidad de surfactante
Pequeña curvatura aceite/agua	La película interface aceite/agua puede ser altamente curvada

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

2.8.6. Balance hidrofílico lipofílico (BHL)

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

Griffin introdujo el concepto del balance hidrofílico-lipofílico (BHL) de un surfactante, debido a la necesidad de establecer criterios para seleccionar sustancias anfífilas que puedan conducir a la preparación de una emulsión ya sea esta A/O u O/A (Holmberg, K., et al., 2003).

A. Escala de Griffin

Esta escala está comprendida entre 1 y 20 asignados al ácido oleico y al oleato de potasio, correspondientemente, lo que lleva a que el primero es 100% lipofílico y el segundo 100% hidrofílico (Romo, L., 1993). A continuación se presenta en la tabla 12, 13 y 14 los usos del número BHL de Griffin, para determinadas aplicaciones.

Tabla 12
Uso del concepto del número BHL de Griffin

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

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

Tabla 13
Aplicación de una emulsión de acuerdo al BHL

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

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

Tabla 14

BHL requerido para emulsionar

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

Fuente: (Oliva i Herrera, 2009)

Cuando se mezclan sustancias tensiactivas de diferentes valores de BHL resulta que el balance hidrofílico-lipofílico de la mezcla resultante se obtiene mediante la ecuación 28 (Romo, L., 1993, pág. 143).

$$BHL = \sum g_i(BHL)_i \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde g_i es la fracción por peso y $(BHL)_i$, es el BHL del componente i , Esta ecuación es válida únicamente cuando se trabaja con sustancias tensiactivas no iónicas, la tabla 15 presenta algunas sustancias tensiactivas con su valor de BHL. De la ecuación 28, (Raheman, H. & Kumari, S., 2014, pág. 111), calculan el BHL de la mezcla usando las ecuaciones:

$$\%_A = \frac{(BHL - BHL_B) \times 100\%}{BHL_A - BHL_B} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$100\% = \%_A + \%_B \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

$\%_A$: Porcentaje de la sustancia A

$\%_B$: Porcentaje de la sustancia B

BHL_A : Valor de BHL de la sustancia A

BHL_B : Valor de BHL de la sustancia B

BHL: Valor de BHL para la aplicación

Tabla 15

Comparación de BHL calculados y experimentales

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

Fuente: (Romo, 1993)

2.8.7. Diagrama de fase

Según (Romo, 1993, p. 161), un sistema heterogéneo alcanza el estado de equilibrio cuando los potenciales químicos de cada componente determinado en todas las fases son iguales, siempre y cuando la presión y la temperatura sean

constantes. Es muy común considerar el comportamiento de fase a temperatura constante y usar el triángulo de Gibbs (Ver figura 27).

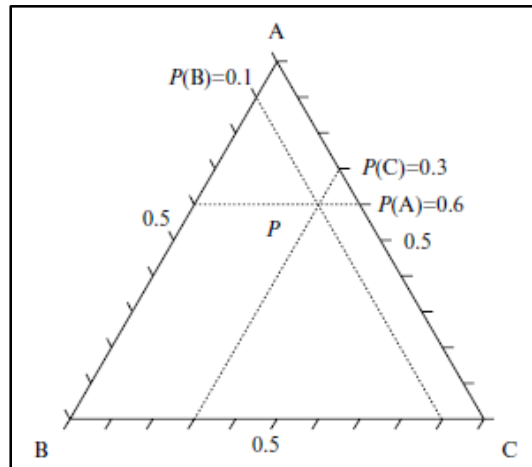


Figura 27 Diagrama de fases de tres componentes a una temperatura fija
Fuente: (Holmberg, Jönsson, Kronberg, & Lindman, 2003)

La cantidad de diferentes componentes en un punto P son dadas por las distancias desde la base opuesta. En la Figura 27, el punto P está compuesto de 60% del compuesto A, 10% del compuesto B y 30 % del compuesto C. Este método es el más adecuado para representar el equilibrio de fases de un sistema haciendo uso de un triángulo equilátero según (Romo, L., 1993, págs. 162-163), esta forma de representación es útil ya que la suma de las líneas perpendiculares trazadas desde cualquier punto (O) dentro del triángulo es igual a la unidad. Así resulta:

$$O_a + O_b + O_c = h \quad \text{Ecuación 31}$$

De la ecuación anterior si $h = 1$, la distancia O_a representa la fracción o el porcentaje del componente de A y así con O_b y O_c . Los vértices: A, B, C son el 100% correspondiente de un compuesto.

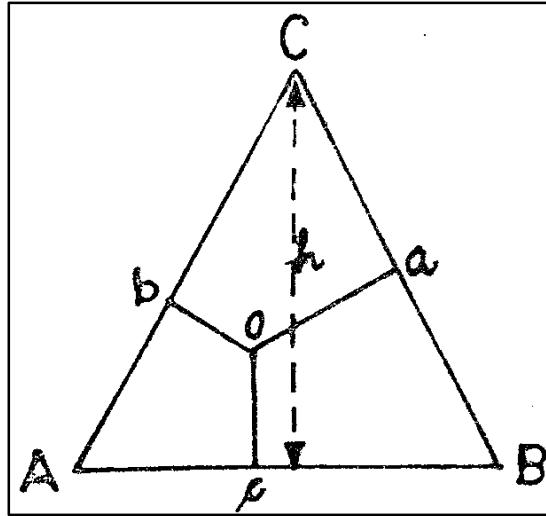


Figura 28 Diagrama fases de tres componentes A, B, C y punto O
Fuente: (Romo, 1993)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO EQUIPOS Y PRUEBAS DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología para el desarrollo de esta investigación es experimental, que por ser de carácter técnico, se realizaron formulaciones, pruebas y ensayos en los laboratorios de la Universidad Central del Ecuador y en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para el proceso de medición y levantamiento de datos se utilizó los protocolos de pruebas de los laboratorios, además equipos tecnológicos especializados que midieron parámetros como: masa, tiempo, volumen, fuerza, opacidad, entre otros, los cuales establecieron parámetros directos que ayudan a caracterizar a las variables de investigación y por medio de operaciones y cálculos permitieron obtener medidas indirectas que ayudan en el análisis de la investigación. La información que se recolecto sirve para el análisis y presentación de resultados en el informe de la investigación.

3.1. Diseño de la investigación

Baena, G., (2014), dice: “La investigación experimental se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular” (pág. 14).

Martínez, R. & Rodríguez, E., (2016), mencionan: “La clasificación de los diferentes tipos de investigación se relaciona con el problema que pretende resolver. Los objetivos que se plantea en la investigación ejercen una influencia fundamental en la determinación del tipo de estudio que se realiza” (pág.13). Las investigaciones pueden clasificarse con arreglo a varios criterios pero, en lo fundamental, éstos siguen la línea de considerar el estado de los conocimientos y el alcance de los resultados (Martínez, R. & Rodríguez, E., 2016).

Baena, G., (2014) menciona que para los diseños experimentales el investigador posee conocimiento del fenómeno que se investiga y dice que: “Rudolf Carnap afirmó que el método experimental es especialmente fecundo en campos en los cuales hay conceptos cuantitativos que es posible medir exactamente” (pág. 14).

En la figura 29 se observa el diseño que pretendido en esta investigación donde a partir de un problema se formuló una hipótesis, la cual, por conclusiones deductivas, se dirigió a una predicción. Para confirmar la hipótesis se planteó el experimento en el cual se necesitó de instrumentos y técnicas de medición. Con la realización del experimento se generaron resultados, los cuales fueron interpretados con técnicas de análisis de datos, se escribieron en el reporte y a la vez se los puede considerar para una nueva hipótesis de acuerdo a los resultados alcanzados.



Figura 29 Diseño experimental de la investigación

3.2. Métodos y técnicas

3.2.1. Método de análisis de contenido

Se inicia por la indagación de información en lugares de libre acceso entre ellas la biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, el Centro de Información Integral de la Universidad Central del Ecuador, además motores de búsqueda como Google y Google Académico, obteniendo diferentes fuentes de bibliografía como: libros, revistas, investigaciones, artículos, normas, que fueron seleccionadas examinando su contenido y su fuente de información, comprobando que es una información veraz, para utilizarla en el desarrollo de esta investigación.

3.2.2. Método deductivo:

En este proyecto de investigación se manejó definiciones matemáticas para la realización de cálculos a partir de parámetros conocidos que fueron obtenidos por pruebas y ensayos en el banco de pruebas PLINT TE-16, los cuales proyectaron parámetros mecánicos y térmicos no conocidos con el uso de combustibles emulsionados en el motor de combustión interna.

3.2.3. Método inductivo

Se alcanzan conclusiones específicas en esta investigación, que se obtuvieron a partir de las experimentaciones realizadas utilizando emulsiones de

combustible diésel y agua al 5-10-15 y 20 % con el uso de determinados agentes químicos, que fueron observados en los parámetros mecánicos y térmicos del motor de combustión interna.

3.2.4. Método de ensayo y error

Se utilizó este método en la formación de las emulsiones de diésel y agua realizadas en el laboratorio de Coloideoquímica de la Universidad Central del Ecuador, en el cual se efectuó varias muestras en tubos de ensayo con diferentes porcentajes de los componentes, se esperó un tiempo determinado para observar los resultados hasta obtener los mejores para reproducirlos.

3.2.5. Método experimental

En este experimento se operó con el manejo de pruebas controladas que se realizaron para la manipulación de los parámetros mecánicos y térmicos en el cual se modificó el combustible utilizado, esto con la ayuda de instrumentos de medición y técnicas para su desarrollo.

3.2.6. Método de observación directa

Esta investigación utilizó instrumentos como: balanzas, termómetros, viscosímetros ente 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 opacidad, variación de temperatura y determinación de tiempos de la viscosidad.

3.2.7. Método analítico

El análisis de resultados partió de la exploración de los datos obtenidos de la recolección, examinándolos por cada variable, con ayuda de la ejecución del programa Excel, para interpretar las pruebas realizadas y comparar las hipótesis planteadas de la investigación.

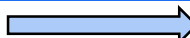
3.2.8. Método sintético

Mediante la experimentación de esta investigación se obtuvieron datos sobre los parámetros mecánicos y térmicos en el cual este método ayudó a recopilarlos y resumirlos para comprender el efecto que trajo el usar combustibles emulsionados con agua de una determinada formulación en el funcionamiento del banco motor PLINT TE-16.

Tabla 16

Metodología de la investigación

Metodología	Descripción	Equipo	Lugar
Análisis de contenido	Se inicia por la indagación de información en lugares de libre acceso entre ellas la biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas, el Centro de Información Integral Central del Ecuador además motores de búsqueda como Google y Google Académico, obteniendo diferentes fuentes de bibliografía como: libros,	<ul style="list-style-type: none"> • Computadora personal (Microsoft Office) • Motores de búsqueda. 	<ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga • Centro de Información Integral Universidad Central el Ecuador

CONTINÚA 

	<p>revistas, investigaciones, artículos, normas, que fueron seleccionadas examinando su contenido y su fuente de información, comprobando que es una información veraz, para utilizarla en el desarrollo de esta investigación.</p>	
Deductivo	<p>En este proyecto de investigación se manejó definiciones matemáticas para la realización de cálculos a partir de parámetros conocidos que fueron obtenidos por pruebas y ensayos en el banco de pruebas PLINT TE-16, los cuales proyectaron parámetros mecánicos y térmicos no conocidos con el uso de combustibles emulsionados en el motor de combustión interna.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía • Instrumentos de laboratorio. • Banco de pruebas PLINT TE-16 • Opacímetro • Analizador de gases <ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga • Laboratorio de Coloideoquímica Universidad Central el Ecuador • Laboratorio de motores de combustión interna Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí.
Inductivo	<p>Se alcanzan conclusiones específicas en esta investigación, que se obtuvieron a partir de las experimentaciones realizadas utilizando emulsiones de combustible diésel y agua al 5-10-15 y 20 % con el uso de determinados agentes químicos, que fueron observados en los parámetros mecánicos y</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía • Instrumentos de laboratorio. • Banco de pruebas PLINT TE-16 • Opacímetro • Analizador de gases <ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga • Laboratorio de Coloideoquímica de la Universidad Central el Ecuador • Laboratorio de motores de combustión

	térmicos del motor de combustión interna.		interna Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí.
Ensayo y error	Se utilizó este método en la formación de las emulsiones de diésel y agua realizadas en el laboratorio de Coloideoquímica de la Universidad Central del Ecuador, en el cual se efectuó varias muestras en tubos de ensayo con diferentes porcentajes de los componentes, se esperó un tiempo determinado para observar los resultados hasta obtener los mejores para utilizarlos.	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía • Instrumentos de laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Coloideoquímica Universidad Central el Ecuador
Experimental	En este experimento se operó con el manejo de pruebas controladas que se realizaron para la manipulación de los parámetros mecánicos y térmicos en el cual se modificó el combustible utilizado, esto con la ayuda de instrumentos de medición y técnicas para su desarrollo.	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía • Instrumentos de laboratorio. • Banco de pruebas PLINT TE-16 • Opacímetro • Analizador de gases 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí. • Laboratorio de Coloideoquímica Universidad Central el Ecuador
Observación directa	Esta investigación utilizó instrumentos como: balanzas, termómetros, viscosímetros	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentos de laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de motores de combustión

	<p>ente 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 opacidad, variación de temperatura y determinación de tiempos de la viscosidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Banco de pruebas PLINT TE-16 • Opacímetro • Analizador de gases 	<p>interna Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí. Laboratorio de Coloideoquímica Universidad Central el Ecuador</p>
Analítico	<p>El análisis de resultados partió de la exploración de los datos obtenidos de la recolección, examinándolos por cada variable, con ayuda de la ejecución del programa Excel, para interpretar las pruebas realizadas y comparar las hipótesis planteadas de la investigación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía • Computadora personal (Microsoft Office) 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Coloideoquímica Universidad Central el Ecuador • Laboratorio de motores de combustión interna Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí
Sintético	<p>Mediante la experimentación de esta investigación se obtuvieron datos sobre los parámetros mecánicos y térmicos en el cual este método ayudó a recopilarlos y resumirlos para comprender el efecto que trajo el usar combustibles emulsionados con agua de una determinada formulación en el funcionamiento del banco motor PLIN TE-16.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía • Computadora personal (Microsoft Office) 	<ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga • Laboratorio de motores de combustión interna Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí

3.3. Operacionalización de variables

3.3.1. Variable Independiente

Tabla 17
Emulsiones diésel/agua

Concepto	Categoría	Indicador	Unidad	Técnicas	Instrumentos
Es la estabilización del agua u otra sustancia no miscible en el diésel, para lo cual se utilizan surfactantes	Parámetros físico-químicos	Densidad	Kg/m ³	Ensayos Cálculos Medición	Laboratorio Ecuaciones
		Viscosidad	mm ² /s	Ensayos Cálculos Medición	Laboratorio Ecuaciones
		Poder calorífico	kJ/kg	Ensayos Cálculos Medición	Laboratorio Ecuaciones
		Tamaño de partícula	nm	Ensayos	Laboratorio Equipos especiales
	Componente de la emulsión	Porcentaje	%	Medición Operación	Balanza Probetas Matemática

3.3.2. Variable dependiente

Tabla 18
Parámetros mecánicos y térmicos

Concepto	Categoría	Indicador	Unidad	Técnicas	Instrumentos
Caracterizan las prestaciones y emisiones de un motor en un determinado punto de operación.	Energía	Torque	Nm	Pruebas Cálculos	Banco Motor Ecuaciones
		Potencia	kW	Pruebas Cálculos	Banco Motor Ecuaciones
	Eficiencia energética	Consumo específico	g/kW-h	Cálculos	Banco Motor Ecuaciones
		Consumo volumétrico	cm ³ /s	Prueba Cálculos	Banco Motor Probeta Ecuaciones
		Rendimiento térmico	%	Cálculos	Ecuaciones
	Emisiones	Opacidad	%	Pruebas	Opacímetro
		Gases contaminantes	ppm	Medición	Analizador de gases

3.4. Método de elaboración de emulsiones

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. Los productos emulsionantes para los ensayos fueron proporcionados por el laboratorio de Coloideoquímica de la Universidad Central del Ecuador y adquiridos también de la distribuidora de productos químicos "La Casa de los Químicos". Las formulaciones realizadas se las hizo en tubos de ensayo en muestras de 10 g, se analizó la estabilidad de la emulsión en periodos, cada doce horas por una semana. Después de elaborar varias formulaciones se eligieron las que mejores resultados alcanzaron en la estabilización a temperatura del laboratorio y presión atmosférica de la ciudad de Quito, para elaborarlas en mayor volumen y ponerlas en funcionamiento en el banco motor PLINT TE-16.

3.4.1. Proceso de elaboración de emulsiones.

Para la elaboración de las emulsiones en mayores cantidades cambia el equipo mezclador y de medición de masa; para la investigación se usó el equipo Silverson L4R y una balanza granataria OHAUS, para pequeñas muestras el equipo mezclador Vortex de Fisher Scientific y una balanza electrónica de Denver Instrument con el siguiente procedimiento:

- 1) Obtener el porcentaje de las sustancias a emulsionar.
- 2) Masar la sustancia que va a ser la fase continua (seguir procedimiento de medición balanza electrónica/granataria).
- 3) Masar la cantidad de surfactante (seguir procedimiento de medición balanza electrónica/granataria).

- 4) Seguir el procedimiento para mezclado en el equipo (Vortex/Silverson L4R).
- 5) Masar la cantidad de agua (seguir procedimiento de medición balanza electrónica/granataria).
- 6) Seguir el procedimiento para mezclado en el equipo (Vortex/Silverson L4R).
- 7) Cubrir y codificar el recipiente.
- 8) Colocarlo en la mesa de trabajo y esperar el tiempo determinado de la prueba para el análisis (12 horas).
- 9) Registrar datos

3.5. Equipos y pruebas

En el desarrollo de este proyecto de investigación se utilizó varios instrumentos de medición, se inició con instrumentos básicos de medida para determinar porcentajes en masa de los compuestos de cada una de las emulsiones, seguidamente varios de los aspectos fisicoquímicos de las muestras de combustible, también instrumentos de medida que están incluidos en el banco motor PLINT TE-16 para determinar sus parámetros efectivos, al igual que los instrumentos analizadores de los gases de escape.

3.5.1. Mezclador

Estos equipos realizan la mezcla de las sustancias con trabajo mecánico, para la elaboración de emulsiones se utilizaron dos instrumentos:

A. Mezclador vortex

Es un mezclador que posee velocidad variable manejada con un controlador analógico, este mezclador tiene contando directo con las sustancias

a mezclar, este aparato agita a un recipiente que las contiene lo que genera la turbulencia de los líquidos que requieren mezclar (ver figura 30), posee un rango de velocidades de entre 300 hasta 3200 rpm.



Figura 30 Agitación de mezclador Vortex de Fisher Scientific.

a. Proceso para mezclado

- 1) Seleccionar las rpm de trabajo para realizar la agitación de los líquidos a emulsionar.
- 2) Encender (seleccionar encendido continuo o encendido automático).
- 3) Sostener firmemente el recipiente y colocar sobre la base del mezclador, esperar el tiempo necesario para la emulsionar los líquidos y observar los resultado alcanzados en determinado tiempo (1 min).
- 4) Apagar el mezclador si no se van a realizar nuevos ensayos.

B. Mezclador Silverson L4R

Este mezclador (ver figura 31) permite realizar aplicaciones de homogenización, mezclado, emulsión, dilución con eficacia y flexibilidad, es ideal para trabajos de laboratorio, investigación y desarrollo, y producción a pequeña escala en todas las industrias, tiene capacidades de mezclado desde 1 ml hasta 12 litros, la unidad de mezclado puede ser elevada y bajada fácilmente por medio del control, ofreciendo mejor manejo en el proceso de emulsión (Silverson, 2016).



Figura 31 Mezclador Silverson L4R

a. Proceso para mezclado

- 1) Seleccionar la altura adecuada para instalar el recipiente que contiene los líquidos a emulsionar.
- 2) Seleccionar la altura adecuada del equipo para realizar el mezclado de los componentes del recipiente.
- 3) Girar en sentido horario el selector de rpm para encender el equipo e iniciar con el mezclado. Esperar el tiempo necesario de la prueba para la

emulsionar los líquidos y observar los resultado alcanzados en determinado tiempo (2 min).

- 4) Apagar el equipo si no se realizan nuevos ensayos.

3.5.2. Balanza

A. Balanza electrónica

Una balanza electrónica posee un electroimán para equilibrar la carga depositada en el platillo (ver figura 32):



Figura 32 Balanza electrónica Denver Instrument

a. Proceso de medición

- 1) Tarar la masa de un recipiente vacío.
- 2) Colocar la sustancia en el recipiente limpio (verificar la cantidad de masa que se desea obtener comparándola con la que se presenta en la pantalla).
- 3) Cerrar las puertas de vidrio para que no interfiera en la medición las corrientes de aire.

- 4) Registrar datos.

Nota: Los productos químicos nunca se deben colocar directamente sobre el platillo de la balanza. (Harris, D., 2007, pág. 26).

B. Balanza granataria

Esta balanza de laboratorio (ver figura 33) permite realizar comparaciones de medida entre las masas estándar del equipo de medición y la masa de un determinado componente.



Figura 33 Balanza granataria OHAUS

a. Proceso de medición

- 1) Encerar la medición de la balanza.
- 2) Colocar el recipiente donde se acumulará la sustancia a medir.
- 3) Encerar nuevamente la balanza colocando las masas graduadas del equipo en el plato contrario del recipiente.

- 4) Colocar la cantidad de masa sumando las masas graduadas del equipo que se desea medir estas serán equivalentes a la cantidad de sustancia que se va a comparar.
- 5) Colocar el líquido hasta que la aguja del indicador se mantenga estable en equilibrio en la línea de referencia de la balanza (agregar lentamente el líquido se puede pasar en la cantidad de masa)
- 6) Registrar los datos.

3.5.3. Viscosímetro

El viscosímetro utilizado para la obtención de la viscosidad cinemática de las muestras de combustibles emulsionados fue el viscosímetro Cannon-Fenske del laboratorio de Fisicoquímica de la Universidad Central del Ecuador, para mantener la temperatura constante de la sustancia se utilizó un baño termostático del laboratorio de Coloideoquímica (ver figura 34), para las pruebas se adaptó el procedimiento de la norma 810 del INEN.



Figura 34 Baño térmico y viscosímetro Cannon-Fenske

A. Proceso para medir la viscosidad cinemática

- 1) Encender el baño térmico y ajustar su temperatura de acuerdo a la prueba que se vaya a realizar (para nuestro caso de acuerdo a la norma 2482 del INEN, a 40 °C).



Figura 35 Interface de baño térmico Huber y cronómetro

- 2) Introducir 10 cm³ del líquido de prueba en el viscosímetro, colocarlo en el sujetador e instalarlo en el baño térmico por 30 minutos hasta que la muestra alcance la temperatura del baño térmico.
- 3) Utilizar vacío o presión, desplazar el nivel superior de la muestra a una posición en el brazo capilar del instrumento alrededor de 5 mm antes de la marca superior registradora del tiempo.



Figura 36 Succión para iniciar la prueba

- 4) Encerar el cronómetro para iniciar la prueba, cuando el líquido pase por la marca superior del tiempo, iniciar el conteo del cronómetro.
- 5) Observar cuando el líquido atraviese las marca inferior del tiempo y parar el cronómetro.
- 6) Registrar datos.
- 7) Calcular la viscosidad a partir de los datos registrados.

3.5.4. Picnómetro

Las pruebas para obtener la densidad se las realizó utilizando el picnómetro de 25 ml, del laboratorio de fisicoquímica de la Universidad Central del Ecuador. Este instrumento permite tomar una cantidad de volumen de una sustancia, para determinar su masa y mediante cálculos su densidad.

A. Proceso para determinar la densidad

- 1) Registrar la temperatura ambiente del laboratorio (20 °C).
- 2) Masar el picnómetro vacío.
- 3) Masar el picnómetro con agua.
- 4) Masar el picnómetro con la muestra de combustible (ver figura 37), tener cuidado en manipular el picnómetro, puede haber intercambio de temperatura entre nuestro cuerpo y el instrumento, se recomienda dejar estabilizar el instrumento con la sustancia a la temperatura del laboratorio por 15 min.
- 5) Registrar datos de masa de la muestra.
- 6) Calcular la densidad de las muestras de combustible con los datos registrados.



Figura 37 Masa de combustible emulsionado

3.5.5. HORIBA SZ-100 (DLS)

El equipo SZ-100 de HORIBA (ver figura 38) es una herramienta analizadora para la caracterización de propiedades físicas de partículas pequeñas. Dependiendo de la configuración y aplicación el sistema puede ser usado como analizador de tamaño de partícula, para medir el potencial zeta, entre otros. Las aplicaciones típicas para el este equipo incluyen nano partículas y emulsiones. El análisis de tamaño de partícula es ejecutado por dispersión de luz dinámica, dependiendo de las propiedades físicas de la muestra, el rango es 0.3 nm – 8 μ m. El límite menor es influenciado por la concentración, cuan fuertemente dispersa luz la muestra, y la presencia de grosor.



Figura 38 Equipo SZ-100 (DLS) de HORIBA

A. Proceso para determinar el tamaño de partícula

- 1) Colocar las pilas AAA, en el equipo de refracción, y encenderlo.



Figura 39 Medidor de índice de refracción

- 2) Colocar en el lente del lector una cantidad mínima de agua destilada, presionar el botón START, cuando se presente el índice de refracción en la pantalla presionar el botón ZERO, para tarar el equipo.
- 3) Limpiar el lente del lector y colocar muestra que se va a determinar (no usar soluciones corrosivas).
- 4) Pulsar el botón START.
- 5) Registrar dato.
- 6) Iniciar el programa HORIBA SZ-100, de la computadora del equipo, y realizar los ajustes, del método, e información de la muestra y el medio dispersante, (Instrucción de laboratorista).

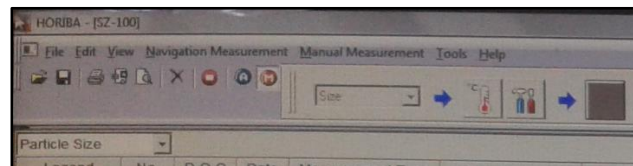


Figura 40 Interface programa HORIBA- [SZ-100]

- 7) Colocar en la celda de vidrio aproximadamente 4 ml de muestra, procurar que esté limpia y libre de polvo y pelusas.

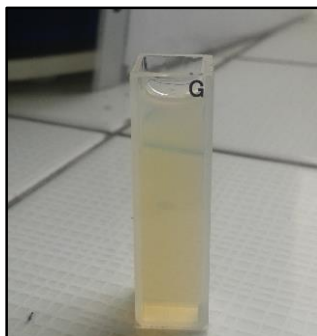


Figura 41 Celda de vidrio equipo HORIBA- [SZ-100]

- 8) Presionar el botón gris del equipo (ver figura 42) para abrir la compuerta, introducir la celda de vidrio con la muestra, cerrar la compuerta.



Figura 42 Equipo HORIBA- [SZ-100] compuerta abierta

- 9) Iniciar el análisis desde el programa.
- 10) Guardar archivos del análisis.

3.5.6. Bomba calorimétrica adiabática

La bomba calorimétrica adiabática (ver figura 43) permite obtener el poder calórico superior de combustibles sólidos y líquidos.



Figura 43 Bomba calorimétrica adiabática

A. Proceso para determinar el poder calorífico

- 1) Obtener la capacidad calorífica del equipo, si se la posee seguir al paso 2, caso contrario ir al procedimiento de cálculo de la capacidad calorífica del equipo.
- 2) Masar la cantidad de combustible a quemar en el crisol (seguir procedimiento de medición de masa).



Figura 44 Masa de muestra de combustible emulsionado

- 3) Armar la bomba de combustión (medir alambre fusible) y por medio la válvula que posee agregar oxígeno necesario desde el tanque con la presión correcta.



Figura 45 Elementos de la bomba y llenado de oxígeno

- 4) Llenar el cubo y el balde del calorímetro hasta las medidas correspondientes de la prueba.
- 5) Colocar la bomba armada dentro del balde en los soportes respectivos manipular cuidadosamente de modo que no se perturbe la muestra de combustible.



Figura 46 Instalación de bomba en el calorímetro

- 6) Colocar la tapa del calorímetro y encender el equipo hasta estabilizar las temperaturas de la camisa externa y camisa interna manteniéndolas en equilibrio.
- 7) Activar el interruptor de combustión para iniciar a quemar la muestra de combustible.

- 8) Verificar el incremento hasta la máxima de temperatura alcanzada en el termómetro de la camisa interna y activar la agitación del termómetro en lapsos de 20 segundos durante el incremento.



Figura 47 Lectura de temperatura en la bomba calorimétrica

- 9) Registrar datos
- 10) Retirar la bomba de combustión y mediante la válvula de despresurización quitar la presión del sistema.
- 11) Abrir la bomba medir el alambre fusible sobrante y con papel absorbente recoger el agua generada por los productos de combustión y masar el agua generada, para cálculos posteriores.



Figura 48 Masa de agua generada por productos de combustión

12) Registrar datos.

13) Calcular el poder calorífico superior e inferior con los datos generados.

B. Procedimiento de cálculo de la capacidad calorífica del equipo

- 1) Conseguir una sustancia de valor calorífico conocido, para esta investigación se utilizó ácido benzoico con poder calorífico de 26454 J/g.
- 2) Masar aproximadamente 1 gr de muestra de ácido benzoico y cortar un hilo de fusible de 7 cm, se estira sobre los electrodos, se asegura que el cable este en contacto estrecho con la sustancia. Para absorber los productos de la combustión de azufre y nitrógeno se vacían 2 ml de agua en la bomba (Rajput, 2011, p. 508).
- 3) Seguir los pasos 3 al 9 del “Procedimiento para calcular el poder calorífico”.
- 4) Calcular la capacidad calorífica del equipo con los datos generados en el experimento.

3.5.7. Banco motor PLINT TE-16

El banco de pruebas en el cual se realizaron las pruebas para obtener los parámetros mecánicos y térmicos del motor de combustión interna pertenece al laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí.



Figura 49 Banco motor PLINT TE-16

Tabla 19

Características banco motor PLINT TE-16

Detalle	Característica
Banco de pruebas	PLINT TE-16
Motor	PETTERS PJ 2 W
Diámetro	96.8 mm
Carrera	110 mm
Número de cilindros	2
r_c	17.5:1
Potencia nominal	22.5 B.H.P a 2000 rpm
Velocidad máxima	2100 rpm
Velocidad mínima	900 rpm
Presión mínima de aceite	2.81 kgf/cm ²
Ángulo de inyección	23° APMS
Brazo de palanca de dinamómetro	318mm
Corriente máxima	Excitación: 40 A
	Generación: 80 A

Fuente: Laboratorio de motores de combustión interna, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí, 2016

A. Prueba a velocidad constante y aceleración variable

Los motores de combustión interna de los vehículos operan con frecuencia a velocidad constante y con cargas variables en una trayectoria determinada por ello es ventajoso saber el comportamiento a estas condiciones, el laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas campus Sangolquí utiliza esta prueba en los ensayos a realizarse en el banco motor PLINT TE-16. En esta prueba trabajó el motor a 1500 rpm, sin carga, luego se incrementó la apertura del acelerador en ampliaciones de 3.8 % (un diente del mecanismo de aceleración), aumentando a la vez la carga del dinamómetro para conservar la velocidad de 1500 rpm, se aumentó la aceleración hasta que las cargas aplicadas por el dinamómetro ya no pudieron mantener esta velocidad, debido a que la potencia del motor supera a la potencia de frenado del dinamómetro.

a. Proceso de la prueba

- 1) Colocar la muestra de combustible que va a ser de prueba en el depósito alterno.
- 2) Verificar que la carga del dinamómetro se encuentre en cero, revisar el nivel de aceite, el nivel del depósito de refrigerante y encender la bomba de refrigeración manteniéndola en el caudal mínimo (variar conforme se eleve la temperatura del motor manteniéndolo entre 70-80 °C).
- 3) Desactivar el cierre de válvulas para evitar resistencias en el arranque, cambiar el modo del dinamómetro de generador a motor, arrancar el motor del dinamómetro hasta alcanzar entre 300-400 rpm, desacoplar el volante de arranque e inmediatamente cambiar el modo del dinamómetro de motor a generador, esperar hasta alcanzar la temperatura de trabajo.

- 4) Cerrar la válvula del tanque principal de combustible, cambiar las conexiones de manguera del tanque principal al tanque alternativo que contiene la muestra de combustible (esto se lo realiza en aproximadamente 10 minutos, tiempo suficiente antes de que el motor consuma la cantidad que se mantiene en la probeta).
- 5) Regular el acelerador hasta alcanzar 1500 rpm, sin carga en el dinamómetro, mantener el motor a esa velocidad por dos minutos hasta alcanzar la estabilización.
- 6) Encerar el cronómetro, cuando el combustible llega al punto A de la probeta iniciar el cronómetro y el registro de los valores que se indican para esta condición.
- 7) Detener el cronómetro cuando el combustible llegue al punto B de la probeta.
- 8) Seguir el procedimiento de medición de opacidad.
- 9) Seguir el procedimiento de medición de gases de combustión.
- 10) Aumentar 3.8 % (un diente del mecanismo de aceleración), del acelerador y aumentar la carga del dinamómetro si lo requiere para mantenerse en 1500 rpm, estabilizarlo en esta nueva condición por dos minutos.
- 11) Encerar el cronómetro, cuando el combustible llega al punto A de la probeta iniciar el cronómetro y el registro de los valores de que se indican, para esta condición.
- 12) Detener el cronómetro cuando el combustible llegue al punto B de la probeta.
- 13) Seguir el procedimiento de medición de opacidad.
- 14) Seguir el procedimiento de medición de gases de combustión.
- 15) Regresar al paso 10, hasta que la máxima carga del dinamómetro no mantenga el motor en 1500 rpm.
- 16) Quitar la carga del dinamómetro, reducir a ralentí la aceleración del motor.
- 17) Apagar el motor.

3.5.8. Medidor de opacidad NDO-6000

El medidor de opacidad mide la turbidez de emisiones de humo diésel generado por la combustión de diésel en el motor y facilita un mantenimiento preventivo en orden de evitar la contaminación de aire, (Nextech, pág. 4). Este instrumento permite medir la opacidad de los gases de escape, las unidades con las que trabaja para este parámetro son: m^{-1} y %, las especificaciones de este instrumento se muestran en la tabla 20.

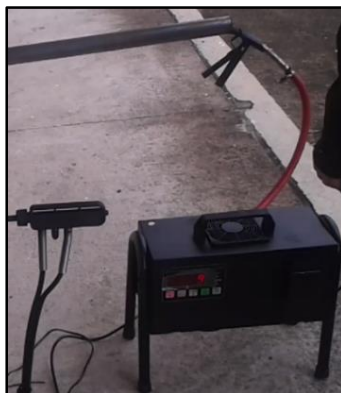


Figura 50 Medición de opacidad

Tabla 20
Especificaciones opacímetro NDO-6000

Característica	Detalle
Rango de medida smoke	0.0~100.0%
Rango de medida (k)	0.00~21.42 m^{-1}
Resolución medida smoke	0.1%
Resolución de medida (k)	0.01 m^{-1}
Precisión	$\pm 1\%$
Tiempo de respuesta	0.5 Segundos (90% más)
Tiempo de calentamiento	Cerca de 6 minutos
Fuente eléctrica	220V / 110V AC 50/60 Hz

Fuente: (Nextech)

A. Prueba de opacidad

Esta prueba permite saber el enturbiamiento del humo de combustión que produce el motor en condiciones específicas haciendo pasar una parte de estos por la cámara de medición a través de la sonda.

a. Proceso de prueba

- 1) Verificar que la medida de opacidad en un área libre de humo marque cero en la pantalla del instrumento.
- 2) Instalar la sonda del opacómetro en el conducto de los gases de escape.
- 3) Presionar la tecla HOLD, para mantener el valor de opacidad que registra el equipo y se mostrará en la pantalla.
- 4) Registrar las medidas de opacidad tomadas por el equipo, para realizar una nueva medida se presiona nuevamente la tecla HOLD, y proseguir al paso 3.
- 5) Retirar la sonda del conducto de los gases de escape después de terminar las mediciones. (tener precaución de quemarse ya que la sonda está caliente).

3.5.9. Analizador de gases Testo

Los analizadores de combustión Testo (ver figura 51) permiten medir, analizar y documentar el cumplimiento de valores de emisiones permitidos durante la generación de energía. Los sensores testo permiten verificar las emisiones con una elevada precisión, incluso en concentraciones pequeñas, (Testo AG, 2016).



Figura 51 Analizador de gases de combustión Testo 350-XL

El funcionamiento de este equipo lo describe (Testo AG) : El análisis inicia cuando la bomba de gases de medición se pone en marcha manual o automáticamente, el gas de combustión pasa por la sonda de gases de combustión hasta la preparadora del gas, aquí el gas se enfría rápidamente a 4-8 °C. Este precipita la condensación con la mínima absorción de NO₂ y SO₂. La bomba peristáltica bombea los condensados a intervalos regulares al tanque de condensados situado en la parte inferior de la unidad, el gas seco pasa a través de del filtro de partículas. Entonces el gas pasa a través de la bomba hacia los sensores de gas, aquí una proporción muy pequeña se difusa a través de los diafragmas de los sensores los cuales emiten una señal, el gas sobrante sale de la unidad a través del conducto de salida de gas. En la tabla 21, se indican varios datos técnicos del equipo de medición testo 350 XL.

Tabla 21
Datos técnicos para la caja de análisis testo 350 XL

Tipo de sonda	Medición de CO (H ₂ compensado)	Medición de NO	Medición de NO ₂
Rango	0... +10000 ppm CO	0... +3000 ppm NO	0... +500 ppm NO ₂
Exactitud ± 1 dígito	± %5 del vm (+100... +2000 ppm CO) ±10 ppm CO (0... +99 ppm CO)	± %5 del vm (+100... +1999.9 ppm NO) ±5 ppm NO (0... +99 ppm NO)	± %5 del vm (+100... +500 ppm NO ₂) ±5 ppm NO ₂ (0... +99.9 ppm NO ₂)
Resolución	1 ppm CO (0... +10000 ppm CO)	1 ppm NO (0... +3000 ppm NO)	0.1 ppm NO ₂ (0... +500 ppm NO ₂)
Tiempo de respuesta	40 s	30 s	40 s

Fuente: (Testo AG)

Tabla 22
Detalles técnicos caja de análisis testo 350 XL

Detalle	Característica
Alimentación	Vía alimentador integrado (90 V a 260 V, 47 a 63 Hz) o pilas recargables sustituibles.
Energía eléctrica necesaria	0.5 A (110 V AC), 0.3 A (230 V AC)
Caudal de la bomba	0.8 m/s con control de caudal
Entrada del disparador testo 350XL	Voltaje: 5 a 12 voltios
Carga	5V/max. 5 mA, 12V/max. 40 mA
Medidas	395x275x95 mm
Peso	3200 g
Temperatura de almacenamiento	-20...+50 °C
Temperatura de funcionamiento	-5...+45 °C

Fuente: (Testo AG)

A. Prueba de medición de gases de combustión

Esta prueba indica la cantidad de determinados gases contaminantes generados por un motor de combustión interna, al tomar muestras de los gases que emite cuando trabaja en condiciones específicas.

a. Proceso de prueba

- 1) Instalar la sonda del analizador de gases en el tubo de los gases de escape.
- 2) Presionar el botón de activación de bomba de succión del analizador de gases testo, y mantenerlo activado hasta el tiempo de respuesta (40 s).



Figura 52 Toma de datos de gases de combustión

- 3) Presionar el botón de desactivación de la bomba de succión, registrar los datos.
- 4) Para realizar una nueva medición, en esta condición se repite los pasos 2 y 3.
- 5) Retirar la sonda del conducto de salida de los gases de escape con precaución de no quemarse ya que la sonda está muy caliente.

CAPÍTULO IV

OBTENCIÓN ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

En este capítulo de la investigación se conoce la obtención de la información para su tratamiento, se calcula, y se analiza los procesos de medición del método experimental, de campo y pruebas de laboratorio aplicados en las muestras de combustibles en el banco motor PLINT TE-16, en cada una de las pruebas comparando los resultados que generaron las muestras de emulsiones de combustible y agua al 5, 10, 15 y 20 % de agua.

4.1. Obtención de la información

La información de esta investigación fue obtenida a través de libros la biblioteca de la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, del Centro de Información Integral de la Universidad Central del Ecuador, además de documentos, revistas científicas y páginas confiables de la red, los datos y resultados para los diferentes parámetros fueron obtenidos con equipos e instrumentos de laboratorios en la tabla 23 se detalla la obtención de los diferentes parámetros, en la tablas 24, 25, 26, 27 y 28 se detalla los datos obtenidos en las pruebas mecánicas y térmicas.

Tabla 23
Obtención de la información

Parámetro	Equipo/Instrumento	Lugar
Densidad	Picnómetro	Universidad Central del Ecuador Laboratorio de Coloideoquímica
	Baño térmico	Universidad Central del Ecuador Laboratorio de Coloideoquímica
Viscosidad	Huber/Viscosímetro	Universidad Central del Ecuador Laboratorio de Coloideoquímica
	Cannon-Fenske	Universidad Central del Ecuador Laboratorio de Coloideoquímica

CONTINÚA 

Tamaño de partícula	HORIBA SZ-100 (DLS)	Universidad Central del Ecuador Laboratorio de Investigación de nanotecnología
Poder calorífico	Bomba calorimétrica adiabática	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna
Torque	Banco de pruebas PLINT TE-16	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna
Potencia	Banco de pruebas PLINT TE-16	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna
Consumo de combustible	Banco de pruebas PLINT TE-16	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna
Opacidad	Opacímetro NDO-6000	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna
Emisiones de gases	Testo 350-XL	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí, laboratorio de Motores de combustión interna

Tabla 24
Parámetros con uso de diésel neto

TEST		DIENTE	ACEL.	CONTAD.	TIEMPO	FUERZA	MANOM.	REFRIGERACIÓN			ESCAPE	GENERACIÓN		
№	№	№	a %	VUELTAS №	t s	F N	h ₀ mm H ₂ O	FLUJO L/min	T _E °C	T _S °C	T _e °C	V V	I A	CARGA #
1	10	38.5		4911	200.3	12	22	29	70	71.5	120	140	0	0
2	11	42.3		4218	172.1	36	22	29.5	71	72.5	120	142	6	2
3	12	46.2		3938	159.5	48	22	29.5	73	75	130	142	10	3
4	13	50.0		3456	139.9	72	22	29.5	71	72	130	142	16	4
5	14	53.8		2778	111.5	110	22	29.5	72	74	165	148	25	8
6	15	57.7		1894	75.7	194	21.5	29.5	72	75	200	145	45	15

ANÁLISIS DE GASES DE ESCAPE								
TEST	DIENTE	ACEL.	CO	NO	NO _x	NO ₂	H ₂	OPACIDAD
№	№	a %	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
1	10	38.5	961.3	201.8	231.0	29.2	216.5	9.5
2	11	42.3	702.8	210.3	252.8	42.5	158.3	9.1
3	12	46.2	506.0	215.0	260.0	45.0	103.5	11.1
4	13	50.0	285.5	275.6	319.3	43.7	60.8	13.5
5	14	53.8	165.5	260.5	279.0	18.5	27.0	22.0
6	15	57.7	294.7	462.3	472.7	10.4	259.0	34.4




		
TESISTA: DIEGO PUCUJÍ P.	LAB.: ING. ALBERTO NARANJO H.	APROBADO POR: ING. GERMÁN ERAZO

Tabla 25
Parámetros con uso de la emulsión con el 5% de H2O

TEST		DIENTE	ACEL.	CONTAD.	TIEMPO	FUERZA	MANOM.	REFRIGERACIÓN			ESCAPE	GENERACIÓN	
№	№	a	VUELTAS	t	F	h ₀	FLUJO	T _E	T _B	T _e	V	I	CARGA
		%	№	s	N	mm H ₂ O	L/min	°C	°C	°C	V	A	#
1	12	46.2	4717	192.5	8	20	29.5	70	72	120	137	0	0
2	13	50.0	4425	180.4	13	21.5	29.5	71.5	74	120	140	0	0
3	14	53.8	3598	144.6	36	22	29.5	71.5	74	130	142	7	2
4	15	57.7	2565	101.3	96	22.5	29.5	72.5	72.5	160	148	22	7
5	16	61.5	1621	63.6	196	22	29.5	72.5	72.5	220	150	46	15
ANÁLISIS DE GASES DE ESCAPE													
TEST	DIENTE	ACEL.	CO	NO	NO _x	NO ₂	H ₂	OPACIDAD					
№	№	a	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%					
		%											
1	12	46.2	151.0	93.0	104.7	11.7	38.3	5.0					
2	13	50.0	159.3	149.3	160.5	11.2	36.8	6.8					
3	14	53.8	151.5	138.0	149.8	11.8	33.3	9.2					
4	15	57.7	197.3	158.5	166.8	8.3	52.0	14.9					
5	16	61.5	671.3	182.3	184.5	2.2	423.0	49.0					

TESISTA: DIEGO PUCUJÍ P.

LAB.: ING. ALBERTO NARANJO H.

APROBADO POR: ING. GERMÁN ERAZO

Tabla 26
Parámetros con uso de la emulsión con el 10% de H2O

TEST		DIENTE	ACEL.	CONTAD.	TIEMPO	FUERZA	MANOM.	REFRIGERACIÓN			ESCAPE	GENERACIÓN		
Nº	Nº	a	VUELTAS	t	F	h_o	FLUJO	T_E	T_B	T_a	V	I	CARGA	
		%	Nº	s	N	mm H ₂ O	L/min	°C	°C	°C	V	A	#	
1	12	46.2	4445	181.5	12	21.75	29.5	73	74.5	120	140	0	0	
2	13	50.0	4203	170.9	15	21.75	29.5	70.8	74.5	120	142	0	0	
3	14	53.8	4060	159	25	23.5	29.5	69	71	120	145	6	2	
4	15	57.7	2965	116.1	62	23.5	29.5	71	73.5	120	150	13	4	
5	16	61.5	2061	80.7	155	24	29.5	72	75.5	180	155	30	9	
6	17	65.4	1427	55.8	216	24.25	29.5	64.5	69.5	245	160	49	15	
ANÁLISIS DE GASES DE ESCAPE														
TEST	DIENTE	ACEL.	CO	NO	NOx	NO2	H2	OPACIDAD						
Nº	Nº	a	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%						
		%												
1	12	46.2	361.0	109.7	133.7	24.0	73.7	18.3						
2	13	50.0	393.0	140.7	164.7	24.0	84.7	20.6						
3	14	53.8	560.3	153.5	191.5	38.0	92.0	18.3						
4	15	57.7	330.0	195.3	218.3	23.0	63.5	38.0						
5	16	61.5	164.3	183.7	191.7	8.0	31.3	49.6						
6	17	65.4	386.8	234.3	237.0	2.7	131.3	52.3						

TESTISTA: DIEGO PUCUJÍ P.

LAB.: ING. ALBERTO NARANJO H.

APROBADO POR: ING. GERMÁN ERAZO

Tabla 27
Parámetros con uso de la emulsión con el 15% de H2O

TEST		DIENTE	ACEL.	CONTAD.	TIEMPO	FUERZA	MANOM.	REFRIGERACIÓN			ESCAPE	GENERACIÓN	
№	№	a	VUELTAS	t	F	h ₀	FLUJO	T _E	T _B	T _e	V	I	CARGA
		%	№	s	N	mm H ₂ O	L/min	°C	°C	°C	V	A	#
1	12	46.2	4185	171.1	8	20	29.5	69	71.5	120	135	0	0
2	13	50.0	3951	161.5	12	21	29.5	69	71	120	140	0	0
3	14	53.8	2954	120	47	21.5	29.5	72	74	125	140	10	3
4	15	57.7	2063	82.7	110	21.5	29.5	71.5	74.5	190	144	25	8
5	16	61.5	1552	60.7	174	21.5	29.5	71.5	74.5	240	150	40	13
6	17	65.4	1356	53	229	23.5	29.5	67	73	290	157	48	15
ANÁLISIS DE GASES DE ESCAPE													
TEST	DIENTE	ACEL.	CO	NO	NO _x	NO ₂	H ₂	OPACIDAD					
№	№	a	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%					
1	12	46.2	391.3	141.3	162.3	21.0	58.7	16.0					
2	13	50.0	232.0	127.3	142.3	15.0	30.3	16.0					
3	14	53.8	326.0	142.3	153.7	11.4	47.7	27.9					
4	15	57.7	808.0	190.4	195.6	5.2	227.5	45.1					
5	16	61.5	699.5	162.8	166.5	3.7	251.8	48.7					
6	17	65.4	991.0	279.5	282.0	2.5	435.8	41.1					







 TESISISTA: DIEGO PUCUJÍ P.	 LAB.: ING. ALBERTO NARANJO H.	 APROBADO POR: ING. GERMÁN ERAZO
---	---	--

Tabla 28
Parámetros con uso de la emulsión con el 20% de H2O

TEST		DIENTE	ACEL.	CONTAD.	TIEMPO	FUERZA	MANOM.	REFRIGERACIÓN			ESCAPE	GENERACIÓN		
№	№	a %	VUELTAS №	t s	F N	h_o mm H ₂ O	FLUJO L/min	T_E °C	T_B °C	T_a °C	V	I	CARGA	
1	13	50.0	3553.0	145.2	11	22	29.5	70	72	130	140	0	0	
2	14	53.8	3388.0	135.4	13	23.5	29.5	67	68.5	120	147	0	0	
3	15	57.7	2334.0	92.3	66	23	29.5	71.5	74	130	150	16	5	
4	16	61.5	1789.0	69.9	130	23.5	29	71	74	180	152	28	9	
5	17	65.4	1344.0	52.5	238	24.5	29.5	70	75.5	122	160	49	15	
ANÁLISIS DE GASES DE ESCAPE														
TEST	DIENTE	ACEL.	CO	NO	NOx	NO2	H2	OPACIDAD						
№	№	a %	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%						
1	13	50.0	217.2	36.8	47.3	10.5	53.0	24.0						
2	14	53.8	182.2	44.0	53.5	9.5	43.3	22.6						
3	15	57.7	214.4	81.0	87.3	6.3	64.0	35.0						
4	16	61.5	344.2	131.8	137.3	5.5	133.5	38.6						
5	17	65.4	344.0	223.8	226.0	2.2	153.0	43.6						

		
TESISTA: DIEGO PUCUJÍ P.	LAB.: ING. ALBERTO NARANJO H.	APROBADO POR: ING. GERMÁN ERAZO

4.2. Formulación de emulsiones

La formulación de emulsiones se las elaboró a partir del procedimiento establecido en el capítulo III, método BHL (Balance hidrofílico lipofílico) por pruebas de ensayo y error, hasta obtener una formulación estable. Se utilizó la tabla 10 como guía para elaborar una emulsión que corresponde a una emulsión W/O, que explica que se debe tener un BHL del tensoactivo entre 3 y 6 para esta aplicación.

Dos de los productos emulsionantes (nonil fenol de 6 moles de óxido de etileno y ácido oleico) fueron adquiridos en la “Casa de los químicos” de la ciudad de Quito el tercer producto (Kolliphor EL), fue proveído por el laboratorio de Coloideoquímica de la Universidad Central del Ecuador.

Con los valores de BHL de los surfactantes encontrados en las tablas 8, 9 y 10 se procedió a calcular la proporción de las sustancias tensioactivas para obtener un BHL para la aplicación de la tabla 13 utilizando la ecuación 37 y 38. Además tomando en cuenta que los combustibles de origen fósil tiene entre sus principales componentes parafinas como lo menciona (Payri, F., & Desantes, J., 2011, pág. 393), hay que dirigir atención a la tabla 14, nuestro BHL requerido para esta aplicación es 4, siendo nuestro compuesto A: nonil fenol de 6 moles y nuestro compuesto B: ácido oleico, se obtiene:

$$\%_A = \frac{(4 - 1) \times 100\%}{10.9 - 1}$$

$$\%_A = 30.30\%$$

$$\%_B = 100\% - 30.30\%$$

$$\%_B = 69.70\%$$

De acuerdo a los resultados calculados se va a necesitar en una formulación del 100%, el 30.30% del tensoactivo nonil fenol de 6 moles de óxido de etileno, y el 69.70% del tensoactivo ácido oleico, para obtener una mezcla de tensoactivos que me permitan obtener un BHL apropiado para la aplicación que se requiere en esta investigación.

Estos son porcentajes son base, para la formulación de la emulsión diésel y agua. Además en la formulación se añadió Kolliphor EL, que ayuda en la estabilización de la emulsión, de los resultados experimentales indicaron que las proporciones de Kolliphor EL, desplegadas en las figuras 53, 54 ,55 y 56, presentan los mejores resultados para la estabilización respectivamente de cada formulación.

Para cada una de las emulsiones fueron realizados varios ensayos con la mezcla de tensoactivos, para seleccionar las muestras se observó que las fases de los componentes no se separen durante cuatro semanas manteniéndolas en tubos de ensayo a temperatura ambiente ($\sim 20^{\circ}\text{C}$), además se las sometió a una prueba de temperatura a 40°C por 30 minutos en las que presentaron buenos resultados ya que no se observó separación de las fases en el momento, seleccionando así las muestras con mejores resultados.

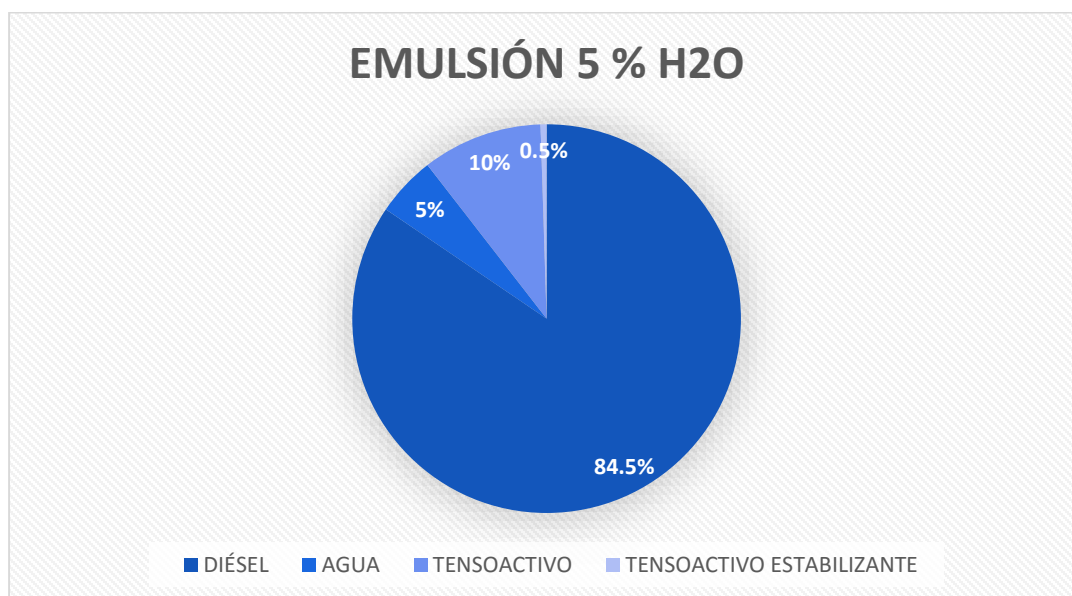


Figura 53 Porcentaje de componentes de emulsión diésel y 5 % de agua

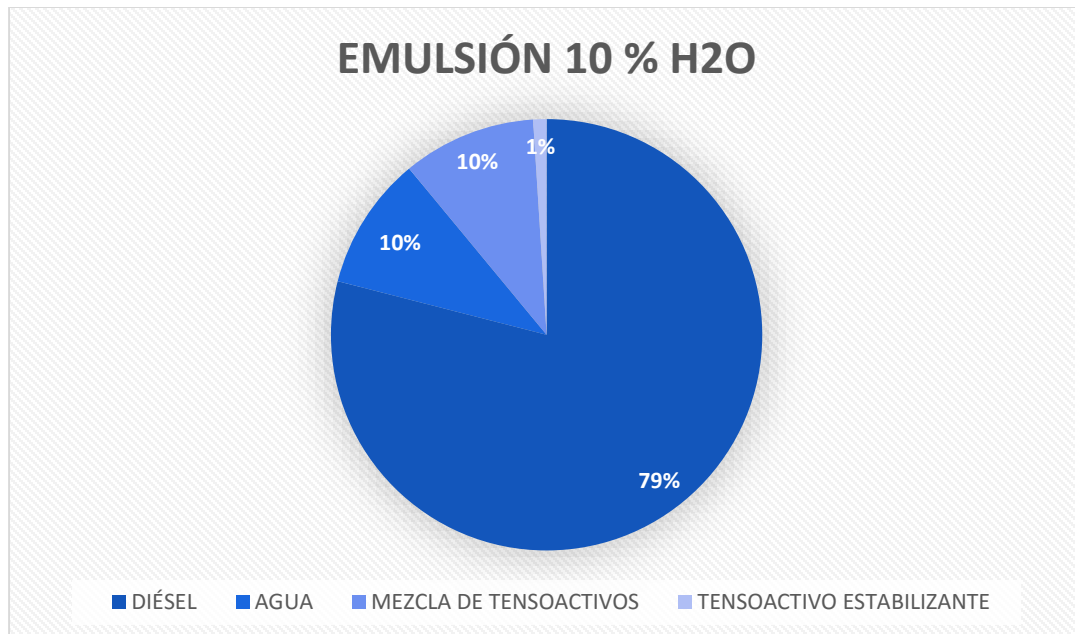


Figura 54 Porcentaje de componentes de emulsión diésel y 10 % de agua

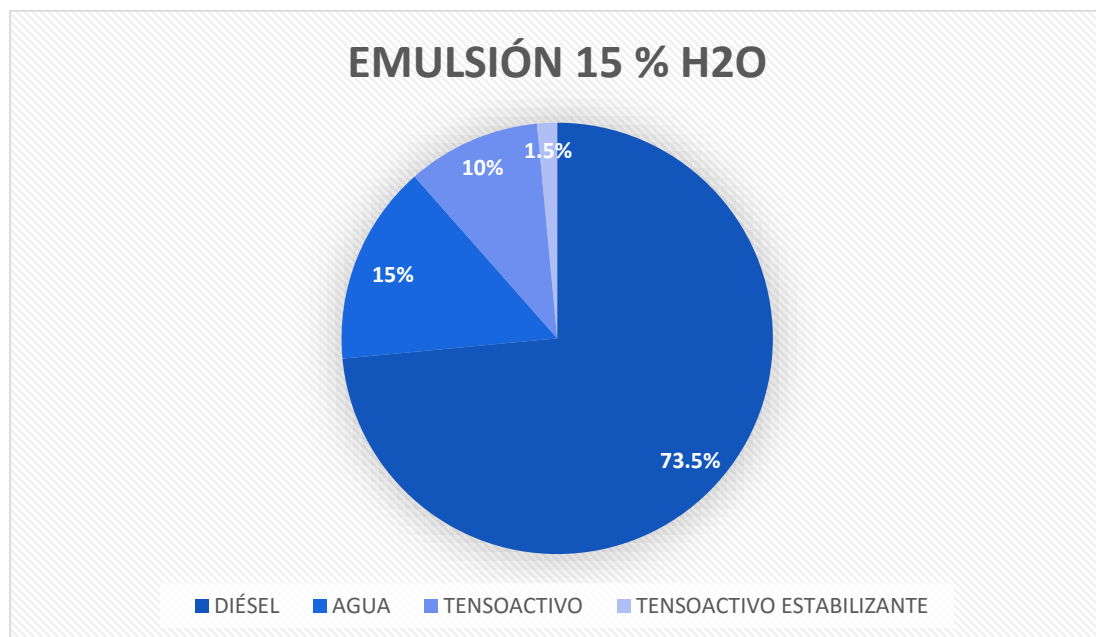


Figura 55 Porcentaje de componentes de emulsión diésel y 15 % de agua

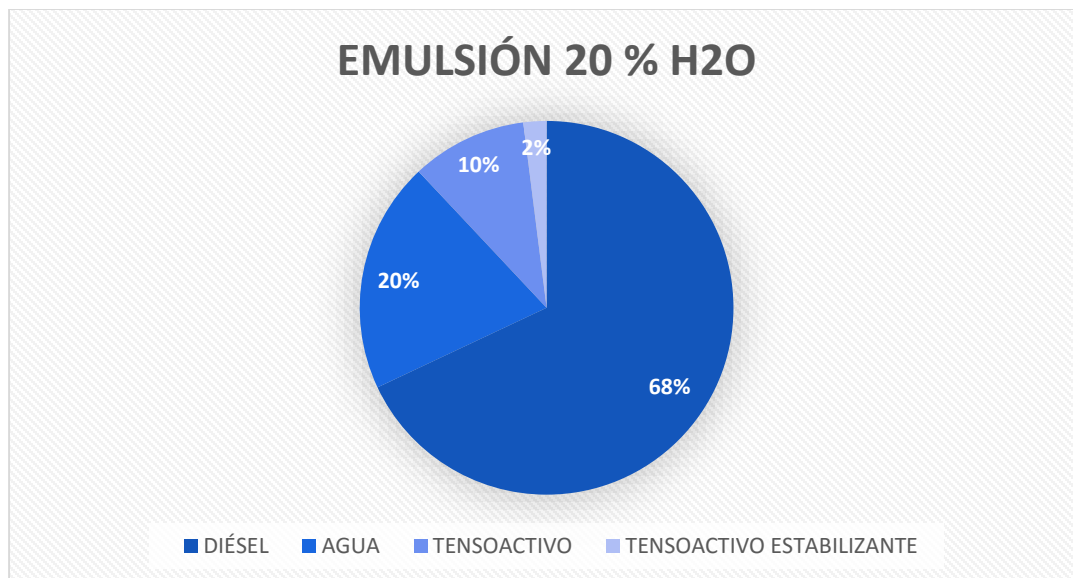


Figura 56 Porcentaje de componentes de emulsión diésel y 20 % de agua

4.2.1. Análisis y ensayos realizados en emulsiones

En la figura 57 y la tabla 29 se presenta el aspecto físico en diferente volumen y cualidades de las emulsiones de diésel y agua en sus diferentes porcentajes.



Figura 57 Aspecto físico emulsiones diésel y agua al 5, 10, 15, y 20 %

Tabla 29
Características de emulsión diésel y agua

Muestra	Estabilidad observada [Semanas]	Estabilidad a 40°C [Cualitativo]	Tamaño de partícula [nm]	Aspecto [Cualitativo]
Diésel y 5% H₂O	4	No existe separación de fases	9.8	Translúcida
Diésel y 10% H₂O	4	No existe separación de fases	11.2	Traslucido-Lechoso
Diésel y 15% H₂O	4	No existe separación de fases	13.2	Lechoso
Diésel y 20% H₂O	4	No existe separación de fases	14	Lechoso

El tamaño de partícula de las muestras es aproximado a 10 nm, además con las pruebas realizadas a una determinada temperatura indican una cualidad buena de la emulsión ya que no existió separación de las fases por lo que indica la tabla 11, que se tratan de micro emulsiones, ya que también necesitan una elevada cantidad de tensoactivo en comparación con (Melo, E., et al., 2013), quien utiliza solo un 2 % de tensoactivo 5 % de agua y combustible diésel. Con datos empíricos se establecieron varios puntos (ver figura 58), donde es estable el sistema.

Los puntos investigados del diagrama trifásico (ver figura 58) indica el porcentaje de sustancia (diésel, agua y tensoactivo) que se utilizó en la formulación. En el desarrollo de la investigación se pudo generar una zona donde se obtuvieron microemulsiones a partir de ensayos experimentales.

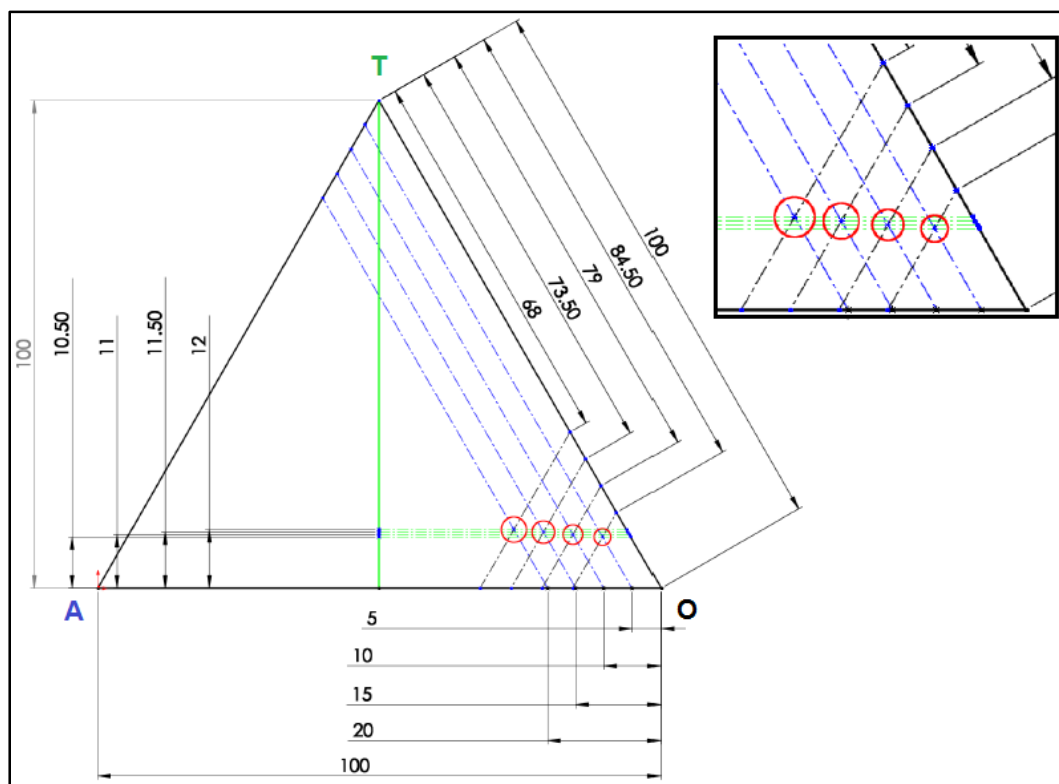


Figura 58 Diagrama trifásico del sistema diésel/agua/tensoactivos, a 20 °C

4.3. Poder calorífico

4.3.1. Capacidad calorífica del equipo

A partir de la sustancia con poder calorífico conocido y datos de la experimentación se determinó la capacidad calorífica del equipo con uso de la ecuación 25 y 26.

Despejando C de la ecuación 25:

$$C = \frac{PCS \times m_f + e_1}{\Delta T} \quad \text{Ecuación 32}$$

El poder calorífico del ácido benzoico:

$$PCS = 26454 \text{ J/g}$$

Masa de combustible:

$$m_f = 1\text{g}$$

Corrección de alambre fusible:

$$e_1 = 11.3 \frac{\text{J}}{\text{cm}} \times 5.7 \text{ cm}$$

$$e_1 = 64.41 \text{ J}$$

Elevación de temperatura:

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

$$T_f = 23.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 2.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Capacidad calorífica del equipo usando la ecuación 34:

$$C = \frac{26454 \frac{\text{J}}{\text{g}} \times 1\text{g} + 64.41 \text{ J}}{2.2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$C = 12053.82 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}}$$

Tabla 30

Cálculo de la capacidad calorífica del equipo

Ítem	Descripción	Unidad	Valor
1	Valor calorífico del Ácido Benzoico	J/gr	26454
2	Masa de Ácido Benzoico	gr	1
3	Energía liberada por el Ácido Benzoico (1x2)	J	26454
4	Corrección por calor de filamento de ignición	J	64.41
5	Temperatura inicial	°C	21.00
6	Temperatura final	°C	23.20
7	Elevación de temperatura (3-2)	°C	2.20
8	Capacidad calorífica total del aparato ((3+4)/6)	J/°C	12053.82

4.3.2. Poder calorífico superior

Siguiendo el procedimiento para el cálculo del poder calorífico, para la muestra de diésel neto:

Masa de combustible:

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

Corrección de alambre fusible:

$$e_1 = 11.3 \frac{\text{J}}{\text{cm}} \times 6.1 \text{ cm}$$

$$e_1 = 68.93 \text{ J}$$

Elevación de temperatura:

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

$$T_f = 24 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 2.82 \text{ }^\circ\text{C}$$

Poder calorífico superior:

$$\text{PCS} = \frac{12053.82 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}} \times 3^\circ\text{C} - 68.93 \text{ J}}{0.8 \text{ g}}$$

$$\text{PCS} = 45115.66 \frac{\text{J}}{\text{g}}$$

Tabla 31
Cálculo del poder calorífico del diésel neto

Ítem	Descripción	Unidad	Valor
1	Masa de la muestra de combustible	g	0.8
2	Temperatura inicial	°C	21
3	Temperatura final	°C	24.00
4	Elevación de temperatura (3-2)	°C	3
5	Energía total liberada por la muestra (4xC)	J	36073.62
6	Corrección por calor de filamento de ignición	J	68.93
7	Poder calorífico superior ((5-6)/1)	J/g	45115.66

Tabla 32
Cálculo del poder calorífico de la emulsión diésel al 5% de H₂O

Ítem	Descripción	Unidad	Valor
1	Masa de la muestra de combustible	g	0.8
2	Temperatura inicial	°C	21
3	Temperatura final	°C	23.7
4	Elevación de temperatura (3-2)	°C	2.7
5	Energía total liberada por la muestra (4xC)	J	32545.31
6	Corrección por calor de filamento de ignición	J	66.67
7	Poder calorífico superior ((5-6)/1)	J/g	40598.31

Tabla 33
Cálculo del poder calorífico de la emulsión diésel al 10% de H₂O

Ítem	Descripción	Unidad	Valor
1	Masa de la muestra de combustible	g	0.8
2	Temperatura inicial	°C	21
3	Temperatura final	°C	23.53
4	Elevación de temperatura (3-2)	°C	2.53
5	Energía total liberada por la muestra (4xC)	J	30496.17
6	Corrección por calor de filamento de ignición	J	67.8
7	Poder calorífico superior ((5-6)/1)	J/g	38035.46

Tabla 34**Cálculo del poder calorífico de la emulsión diésel al 15% de H₂O**

Ítem	Descripción	Unidad	Valor
1	Masa de la muestra de combustible	g	0.8
2	Temperatura inicial	°C	21
3	Temperatura final	°C	23.3
4	Elevación de temperatura (3-2)	°C	2.3
5	Energía total liberada por la muestra (4xC)	J	27723.79
6	Corrección por calor de filamento de ignición	J	66.67
7	Poder calorífico superior ((5-6)/1)	J/g	34571.40

Tabla 35**Cálculo del poder calorífico de la emulsión diésel al 20% de H₂O**

Ítem	Descripción	Unidad	Valor
1	Masa de la muestra de combustible	g	0.8
2	Temperatura inicial	°C	21
3	Temperatura final	°C	23.25
4	Elevación de temperatura (3-2)	°C	2.25
5	Energía total liberada por la muestra (4xC)	J	27121.10
6	Corrección por calor de filamento de ignición	J	65.54
7	Poder calorífico superior (5/1)	J/g	33819.44

4.3.3. Poder calorífico inferior

A partir del Poder Calorífico Superior del combustible se procedió a calcular el poder calorífico inferior del combustible con el dato registrado de la cantidad de agua generada por los productos.

Cálculo del poder calorífico inferior, para la muestra de diésel neto con el uso la ecuación 27 y el calor latente de vaporización del agua:

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

La masa de agua del residuo de los productos de combustión del diésel neto es:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 0.91 \text{ g}$$

$$\text{PCI}_V = 45115.66 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - \frac{0.91 \text{ g}}{0.8 \text{ g}} \times 2305.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{PCI}_V = 42493.61 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Tabla 36
Poder calorífico inferior de emulsiones de combustible

Muestra	PCS [kJ/kg]	Masa de agua [g]	PCI [kJ/kg]
Diésel	45115.66	0.91	42493.61
Diésel 5 % H2O	40598.31	0.90	38005.07
Diésel 10 % H2O	38035.46	0.89	35471.04
Diésel 15 % H2O	34571.40	0.84	32151.05
Diésel 20 % H2O	33819.44	0.84	31399.09

Con los experimentos realizados en se obtuvieron los valores del poder calorífico de las muestras de combustible para esta investigación, estos resultados permiten tener una hipótesis para los efectos que pueden producir en los parámetros mecánicos motor de combustión interna.

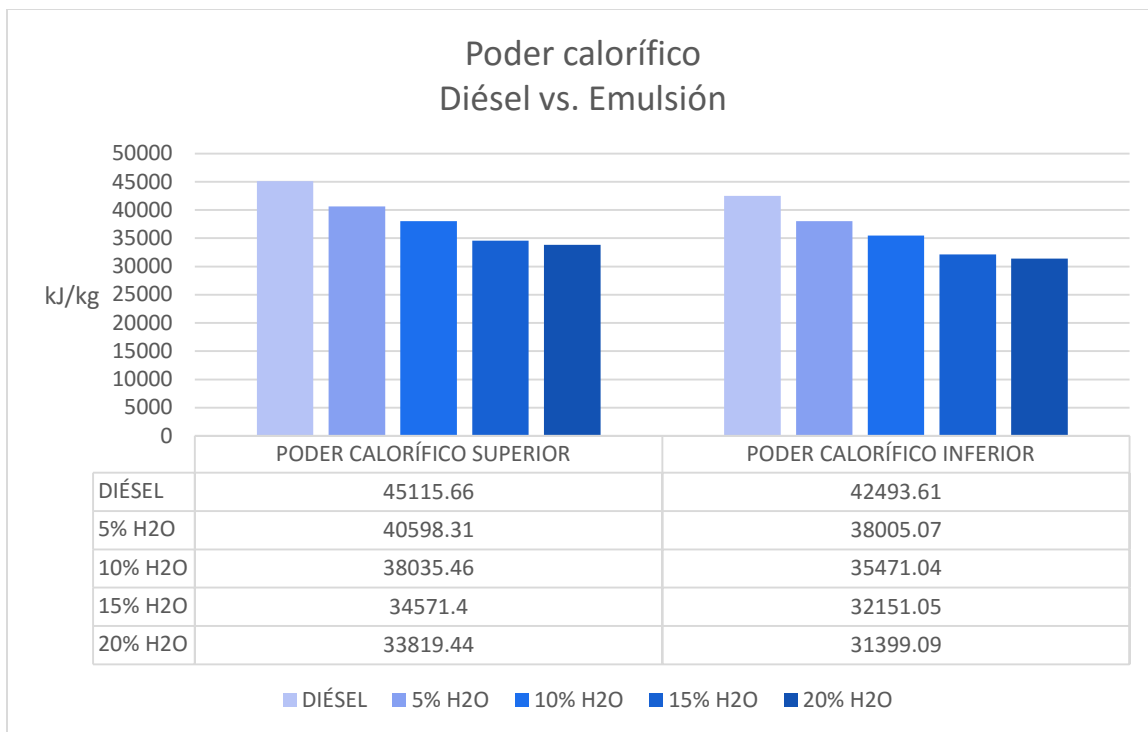


Figura 59 Poder calorífico superior e inferior de diésel y emulsiones

Al aumentar la cantidad de agua en la emulsión de combustible, las muestras presenta disminución del poder calorífico, en comparación al valor del diésel puro, en acuerdo con la tabla 1 del trabajo experimental de (Kannan, T., & Marappan, R., 2011).

Los resultados de residuos de combustión fueron buenos ya que estos no existieron, al finalizar los ensayos de combustión, debido a que el combustible se quemó totalmente (ver figura 60).



Figura 60 Crisol después de la combustión

La disminución del potencial energético de las muestras emulsionadas se ven reflejadas por la pérdida en porcentaje comparándolo con el diésel

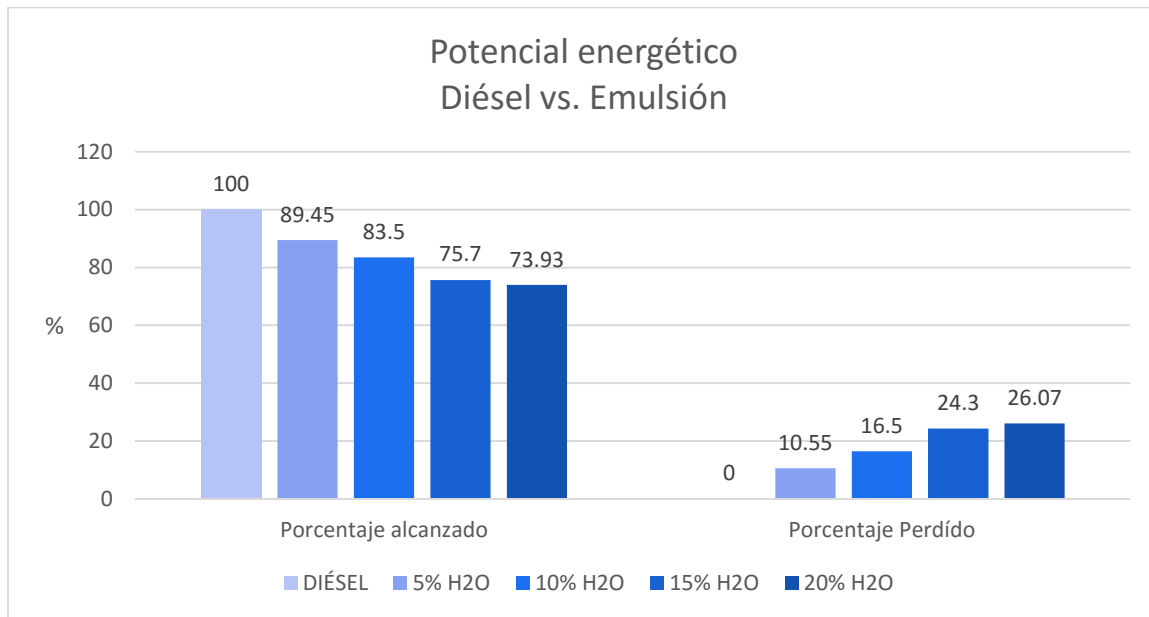


Figura 61 Potencial energético de emulsiones comparado al diésel

La disminución del poder calorífico de las emulsiones de combustible, debieron ser analizadas en el banco motor, ya que existen investigaciones muestran mejoras en los parámetros mecánicos y en las emisiones de gases contaminantes que son presunciones de mucho interés con estos resultados.

4.4. Densidad

A partir de los datos experimentales realizados en el laboratorio se obtuvieron los siguientes resultados:

Cálculos de densidad para la emulsión con el 10% de agua:

d_{20} = densidad relativa a 20 °C

$$m_1 = (48.607 - 23.677)g = 24.93 \text{ g}$$

$$m_2 = 23.677 \text{ g}$$

$$m_3 = 45.301 \text{ g}$$

Cálculo de densidad relativa de la muestra a temperatura determinada:

$$d_{20} = \frac{(45.301 - 23.677)g}{24.93 \text{ g}}$$

$$d_{20} = 0.867$$

Cálculo de densidad del agua a temperatura determinada:

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}}^{t1} = 0.99989 + 5.3322 \times 10^{-5} \times (20 \text{ C}^\circ) - 7.5899 \times 10^{-6} \times (20 \text{ C}^\circ)^2 + 3.6719 \times 10^{-8} \times (20 \text{ C}^\circ)^3$$

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

Cálculo de densidad absoluta de la muestra a temperatura determinada:

$$\rho^{t1} = 0.867 * 0.999 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho^{t1} = 0.866 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 37

Cálculo de la densidad de muestras de combustibles

Muestra	Masa de la sustancia (m_3) [g]	Densidad absoluta	
		g/cm ³	kg/m ³
Diésel	44.702	0.843	843
Diésel 5% H2O	45.188	0.862	862
Diésel 10% H2O	45.301	0.866	866
Diésel 15% H2O	45.626	0.880	880
Diésel 20% H2O	45.713	0.883	883

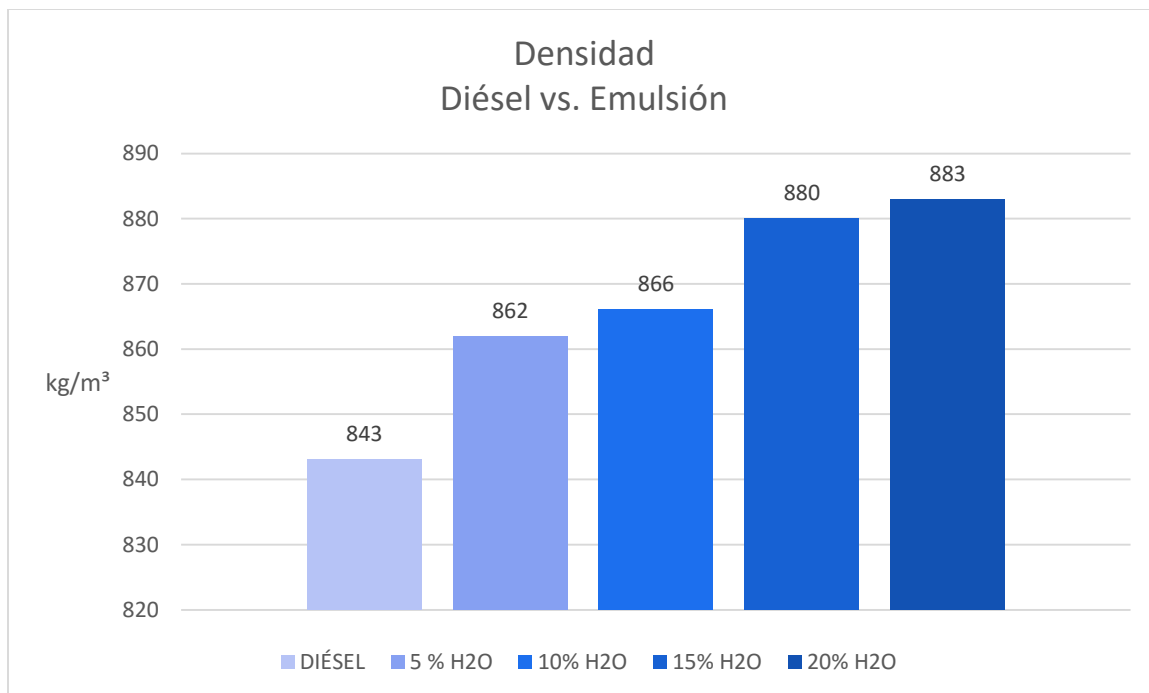


Figura 62 Densidad de diésel y emulsiones

Existe incremento en la densidad en las muestras de combustible con el aumento de agua en la emulsión, debido a que la densidad del agua es superior a la del combustible y por lo tanto proporciona a la emulsión sus características de acuerdo a su porcentaje, concordando resultados experimentales (ver Tabla 1) de (Kannan, T., & Marappan, R., 2011). Este es un factor muy importante el cual va a influir en el consumo de combustible en el motor de combustión interna.

4.5. Viscosidad

Las pruebas de viscosidad fueron realizadas con datos registrados de experimentaciones y con ayuda de cálculos fueron comparadas con la figura 11 y con la norma NTE INEN 2482, que presenta los requisitos para el biodiesel, debido a que en el Ecuador no existe una norma para las emulsiones de combustible.

Tabla 38
Datos para cálculos de viscosidad

Detalles	Valores
Constante de viscosímetro (C)	$4 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}^2$
Temperatura (°C)	40 °C

Cálculos de viscosidad empleando la ecuación 24, para la emulsión con el 10% de agua de datos experimentales:

Tiempo de cronometrado:

$$t = 1463.60 \text{ s}$$

Cálculo de la viscosidad cinemática:

$$V_c = 4 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}^2 \times 1463.60 \text{ s}$$

$$V_c = 5.854 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Tabla 39
Cálculo de viscosidad cinemática de muestras de combustible

Muestra	Tiempo [s]	Viscosidad a 40 °C	
		[m ² /s]	[mm ² /s]
Diésel	870.07	3.480×10^{-6}	3.480
Diésel 5% H2O	1303.96	4.522×10^{-6}	4.522
Diésel 10% H2O	1463.60	5.854×10^{-6}	5.854
Diésel 15% H2O	1928.92	7.716×10^{-6}	7.716
Diésel 20% H2O	1963.22	7.853×10^{-6}	7.853

La viscosidad de las emulsiones incrementa conforme al porcentaje de agua añadida, afirmando los resultados con otras investigaciones realizadas, esto debido a los tensoactivos utilizados que actúan en la emulsión para mantener el sistema en equilibrio ya que la viscosidad del agua a esta temperatura es de $0.656 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ según (Mott, R., 2006, pág. 589), y viscosidad del diésel como se indica en la figura 63 no sobrepasa el máximo establecido por la norma INEN 2482 (**5 mm²/s**).

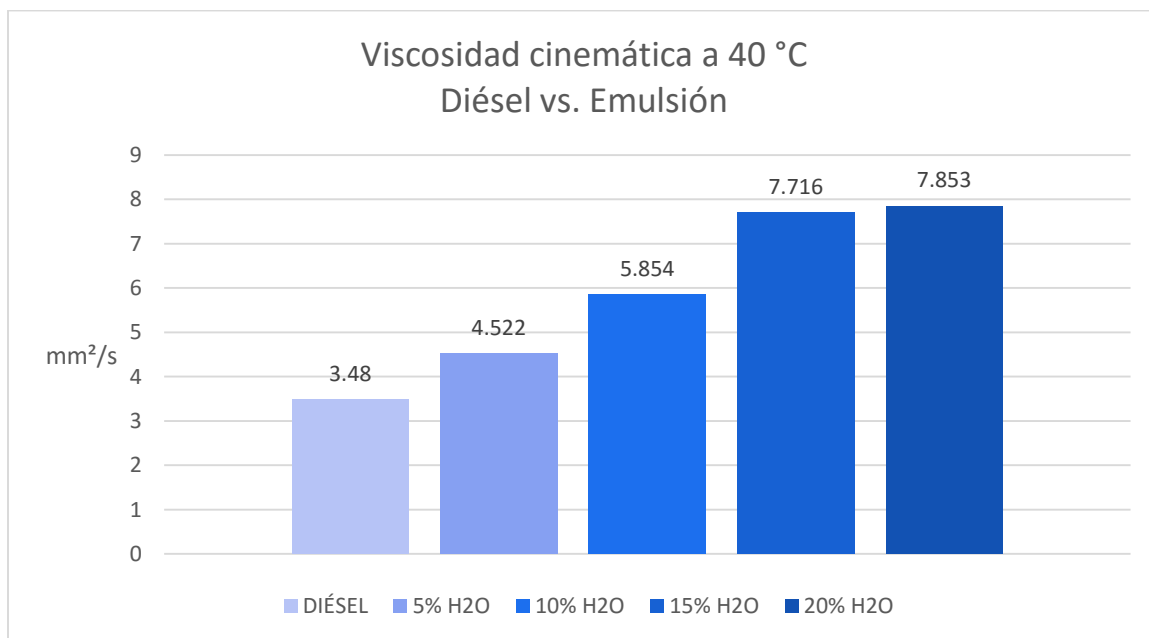


Figura 63 Viscosidad cinemática a 40 °C de diésel y emulsión

La figura 11 indica que en los motores diésel la viscosidad de un combustible normal está en un rango de 1 a 30 cSt, para trabajar sin necesidad de calentamiento previo, la máxima viscosidad presentada es por la emulsión con el 20 % de agua siendo 7.853 mm²/s, valor que se encuentra en un rango normal según (Millares de Imperial, J., 1985, pág. 58).

4.6. Parámetros del motor de combustión interna diésel

Los parámetros mecánicos y térmicos del motor de combustión interna fueron obtenidos de experimentos con ayuda de instrumentos de medición y herramientas de cálculo, así también con ecuaciones expuestas en el capítulo II para el desarrollo de los resultados.

El grado de carga esta dado en función del caudal de combustible que puede inyectar el motor siendo 26 dientes del mecanismo de aceleración el máximo caudal que puede entregar.

$$\alpha = \frac{\# \text{ de dientes de aceleración}}{26 \text{ dientes}}$$

En porcentaje:

$$\alpha = \frac{\# \text{ de dientes de aceleración}}{26 \text{ dientes}} \times 100\%$$

4.6.1. Torque y Potencia

Cálculo de torque y potencia en funcionamiento con la emulsión con el 10% de agua y acelerador al 46.2% de la carga.

El brazo de palanca del dinamómetro del banco PLINT TE-16 es: 318mm.

$$M_e = 12 \text{ N} \times 0.318 \text{ m}$$

$$M_e = 3.816 \text{ Nm}$$

A partir del torque generado por el motor y el régimen de revoluciones con el que se trabajó en la prueba de velocidad constante y aceleración variable se obtuvo la potencia efectiva:

$$N_e = 3.816 \text{ Nm} \times 1500 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}}$$

$$N_e = 0.599 \text{ kW}$$

Tabla 40
Torque y potencia efectuada con la muestra diésel

Aceleración	Fuerza	Torque	Potencia
[%]	[N]	[Nm]	[kW]
38.5	12	3.816	0.599
42.3	36	11.448	1.798
46.2	48	15.264	2.398
50.0	72	22.896	3.596
53.8	110	34.980	5.495
57.7	194	61.692	9.691

Tabla 41
Torque y potencia efectuada con la muestra con 5% de H2O

Aceleración	Fuerza	Torque	Potencia
[%]	[N]	[Nm]	[kW]
46.2	8	2.544	0.400
50.0	13	4.134	0.649
53.8	36	11.448	1.798
57.7	96	30.528	4.795
61.5	196	62.328	9.790

Tabla 42

Torque y potencia efectuada por la muestra con 10% de H2O

Aceleración [%]	Fuerza [N]	Torque [Nm]	Potencia [kW]
46.2	12	3.816	0.599
50.0	15	4.770	0.749
53.8	25	7.950	1.249
57.7	62	19.716	3.097
61.5	155	49.290	7.742
65.4	216	68.688	10.789

Tabla 43

Torque y potencia efectuada por la muestra con 15% de H2O

Aceleración [%]	Fuerza [N]	Torque [Nm]	Potencia [kW]
46.2	8	2.544	0.400
50.0	12	3.816	0.599
53.8	47	14.946	2.348
57.7	110	34.980	5.495
61.5	174	55.332	8.692
65.4	229	72.822	11.439

Tabla 44

Torque y potencia efectuada por la muestra con 20% de H2O

Aceleración [%]	Fuerza [N]	Torque [Nm]	Potencia [kW]
50.0	11	3.498	0.549
53.8	13	4.134	0.649
57.7	66	20.988	3.297
61.5	130	41.340	6.494
65.4	238	75.684	11.888

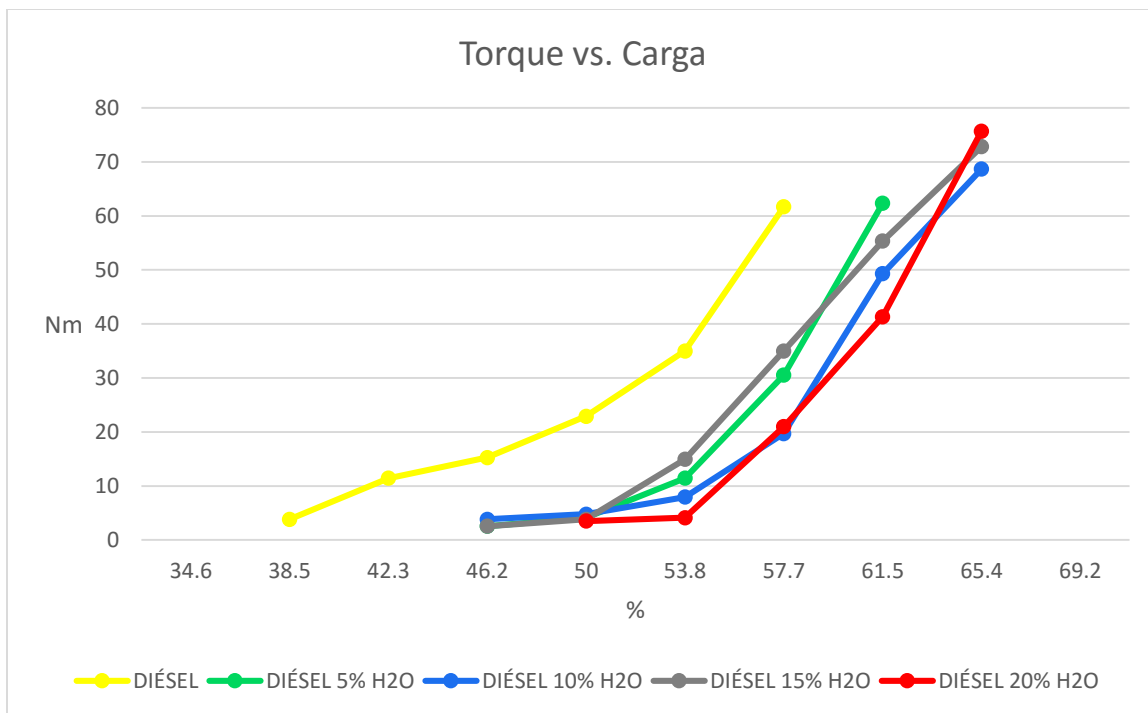


Figura 64 Torque en función de la carga

La figura 64 presenta que en el régimen a 1500 rpm, el mayor torque alcanzado es de 73.14 Nm, generado por la emulsión diésel y 20% de agua, pero destacando que existe mayor apertura del acelerador.

Los datos de la figura 64 indican que a una apertura del acelerador del 57.7% el valor máximo es de 61.692 Nm generado al utilizar diésel neto, mientras que todas las emulsiones muestran un menor valor, como en el caso del 10% de agua que genera una valor de 19.716 Nm. La emulsión que presenta mayor valor de torque en ese punto es la del 15% de agua que alcanza 34.98 Nm pero que está por debajo del valor en funcionamiento con diésel puro.

Por otro lado las emulsiones de combustible alcanzan mayor torque a un mismo régimen de revoluciones (1500 rpm), pero con una mayor apertura del acelerador, por lo que hay que analizarlo conjuntamente con el consumo de combustible.

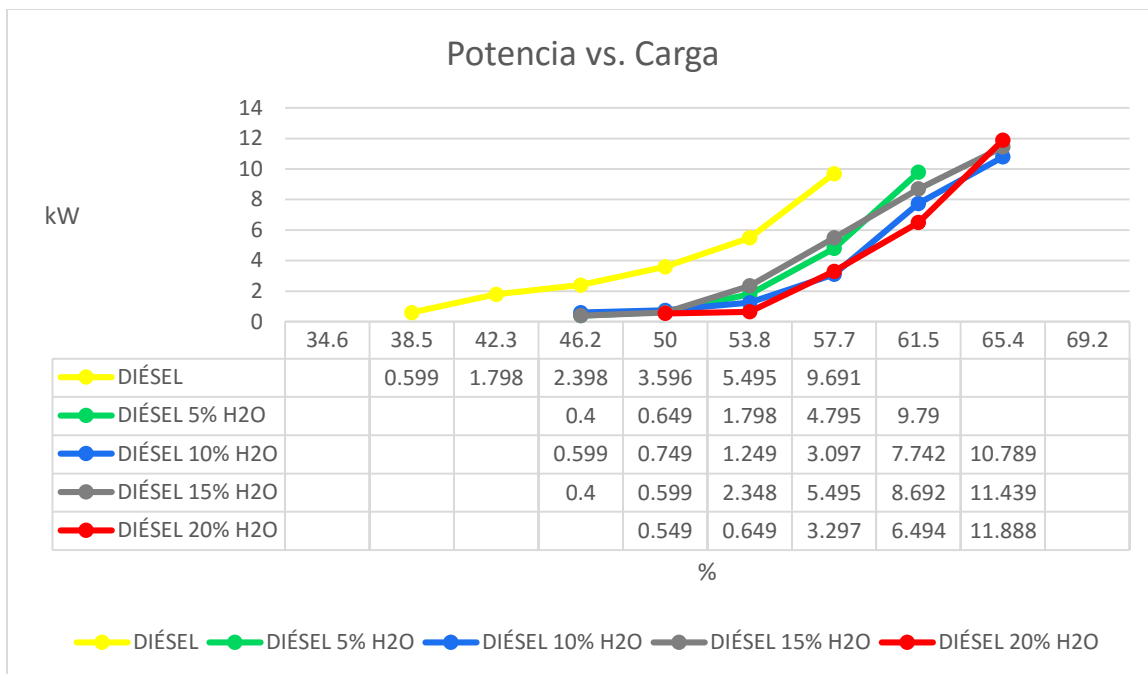


Figura 65 Potencia en función de la carga

El torque influye directamente en la potencia, y existen similares resultados (ver figura 64), al 57.7% de la carga (máxima para el combustible diésel) genera 9.691 kW, a diferencia de las emulsiones de combustible, que en ese régimen el mayor valor generado es 5.495 kW de por la emulsión del 15% de agua.

En el régimen de 1500 rpm, la emulsión de combustible del 20% de agua genera un valor máximo de 11.888 kW, sobrepasando por 2.189kW al generado por el diésel por lo que se debe analizar estos resultados conjuntamente con el consumo de combustible.

4.6.2. Consumo de combustible

Para la prueba de consumo de combustible se empleó una probeta graduada, en la cual se determinó el tiempo en que el motor consume 50 cm³ de combustible.

Cálculo de consumo volumétrico de combustible en funcionamiento con la emulsión con 10% de agua y acelerador al 65.4% de la carga.

$$t = 55.8 \text{ s}$$

$$\dot{V}_f = \frac{50 \text{ cm}^3}{55.8 \text{ s}}$$

$$\dot{V}_f = 0.896 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Cálculo de consumo másico de combustible en funcionamiento con la emulsión con 10% de agua y acelerador al 65.4% de la carga con ayuda de los datos de densidad de la tabla 31.

$$\dot{m}_f = 0.896 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \times 0.866 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\dot{m}_f = 0.776 \text{ g/s}$$

El consumo específico de combustible fue calculado con la ecuación 20 y datos experimentales de las tablas 40-41-42-43-44.

$$g_{ef} = \frac{0.770 \text{ g/s}}{10.789 \text{ kW}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$g_{ef} = 256.93 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$$

Tabla 45
Consumos de combustible de la muestra diésel

Aceleración [%]	Tiempo [s]	\dot{v}_f [cm ³ /s]	\dot{m}_f [g/s]	g_{ef} [g/kW-h]
38.5	200.3	0.250	0.210	1263.84
42.3	172.1	0.291	0.245	490.31
46.2	159.5	0.313	0.264	396.78
50.0	139.9	0.357	0.301	301.58
53.8	111.5	0.448	0.378	247.68
57.7	75.7	0.661	0.557	206.85

Tabla 46
Consumos de combustible de la muestra con 5% de H2O

Aceleración [%]	Tiempo [s]	\dot{v}_f [cm ³ /s]	\dot{m}_f [g/s]	g_{ef} [g/kW-h]
46.2	192.5	0.260	0.224	2016.00
50.0	180.4	0.277	0.239	1325.73
53.8	144.6	0.346	0.298	596.66
57.7	101.3	0.494	0.426	319.83
61.5	63.6	0.786	0.678	249.32

Tabla 47
Consumos de combustible de la muestra diésel con 10% de H2O

Aceleración [%]	Tiempo [s]	\dot{v}_f [cm ³ /s]	\dot{m}_f [g/s]	g_{ef} [g/kW-h]
46.2	181.5	0.275	0.239	1432.80
50.0	170.9	0.293	0.253	1217.34
53.8	159.0	0.314	0.272	785.07
57.7	116.1	0.431	0.373	433.53
61.5	80.7	0.620	0.537	249.48
65.4	55.8	0.896	0.776	258.91

Tabla 48
Consumos de combustible de la muestra con 15% de H2O

Aceleración [%]	Tiempo [s]	\dot{v}_f [cm ³ /s]	\dot{m}_f [g/s]	g_{ef} [g/kW-h]
46.2	171.1	0.292	0.257	2313.00
50.0	161.5	0.310	0.273	1640.73
53.8	120.0	0.417	0.367	562.69
57.7	82.7	0.605	0.532	348.54
61.5	60.7	0.824	0.725	300.28
65.4	53.0	0.943	0.830	261.21

Tabla 49
Consumos de combustible de la muestra con 20% de H2O

Aceleración [%]	Tiempo [s]	\dot{v}_f [cm ³ /s]	\dot{m}_f [g/s]	g_{ef} [g/kW-h]
50.0	145.2	0.344	0.304	1993.44
53.8	135.4	0.369	0.326	1808.32
57.7	92.3	0.542	0.479	523.02
61.5	69.9	0.715	0.631	349.80
65.4	52.5	0.952	0.841	254.68

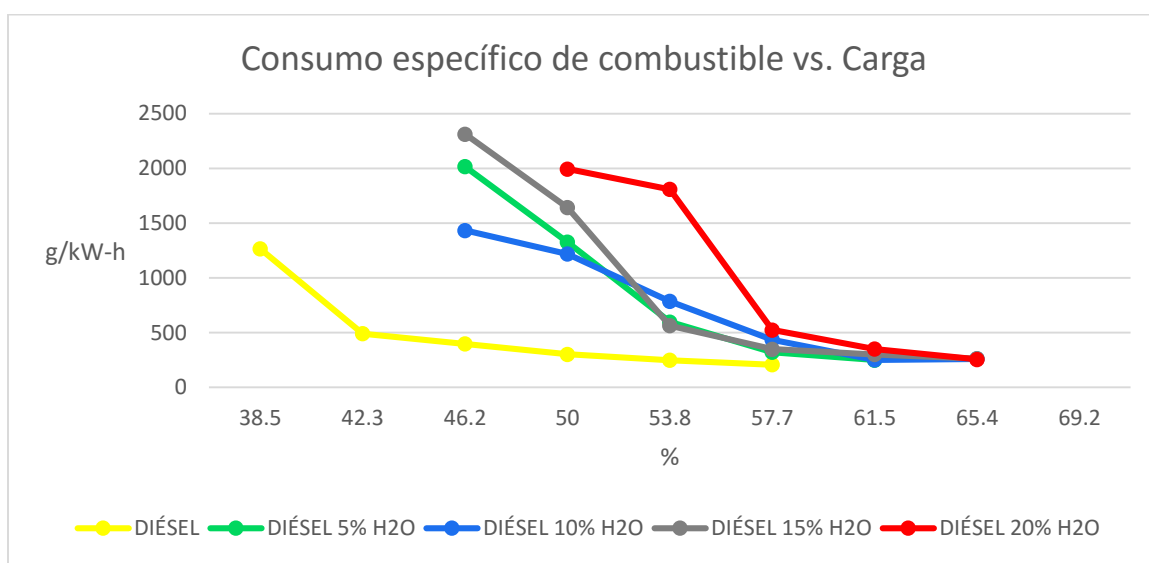


Figura 66 Consumo específico de combustible en función de la carga

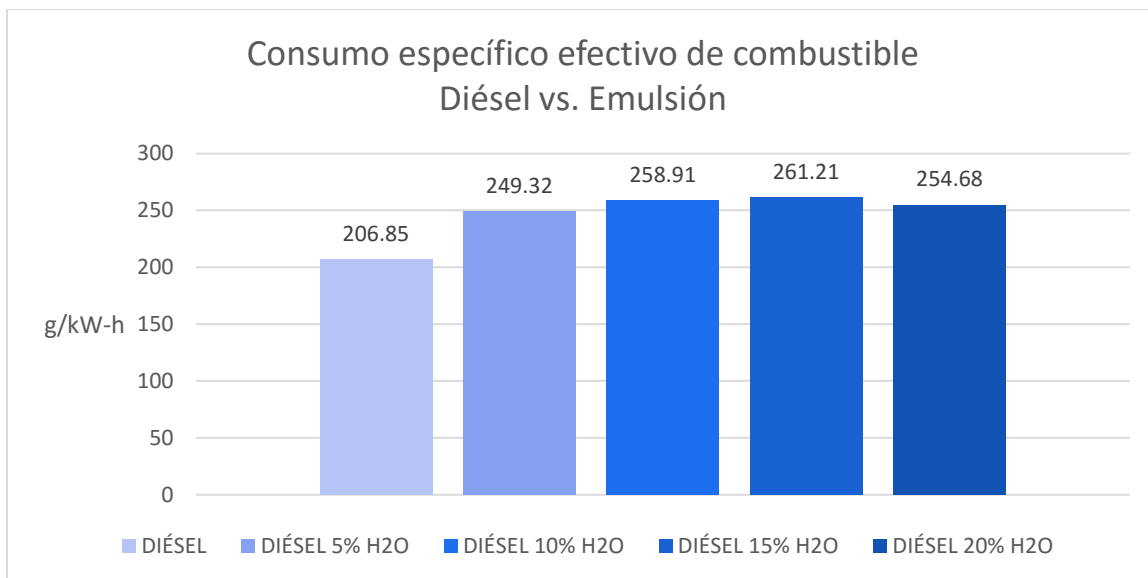


Figura 67 Consumo específico de combustible a máxima carga de prueba

Los resultados experimentales, muestran un menor consumo específico de combustible con la muestra de diésel base con un valor de 206.91 g/kW-h, a comparación de las emulsiones de combustible de las cuales el menor valor registrado es 249.32 g/kW-h, de la emulsión que contiene 5% de agua.

Económicamente no corresponderían las emulsiones de combustible ya que en la masa de combustible gastada para generar un kW-h, es superior a la del combustible base que se comercializa, por otro lado se necesita analizarlo con los costos del combustible emulsionado y con las emisiones generadas.

4.6.3. Rendimiento térmico

El rendimiento térmico se lo calculó a partir de la ecuación 15 con los datos de potencia experimentales de las tablas 40-41-42-43-44, el consumo másico de combustible de las tablas 45-46-47-48-49 y el poder calorífico inferior del combustible datos de la tabla 36.

Cálculo del rendimiento térmico para la potencia máxima generada con el uso de la emulsión con el 10% de agua:

$$n_e = \frac{10.789 \text{ kW}}{0.776 \text{ g/s} \times 35.471 \text{ kJ/g}}$$

$$n_e = 0.39$$

Tabla 50
Rendimiento térmico efectuado por la muestra diésel

Aceleración [%]	Potencia [kW]	\dot{m}_f [g/s]	Rendimiento térmico
38.5	0.599	0.210	0.07
42.3	1.798	0.245	0.17
46.2	2.398	0.264	0.21
50.0	3.596	0.301	0.28
53.8	5.495	0.378	0.34
57.7	9.691	0.557	0.41

Tabla 51
Cálculo de rendimiento térmico con emulsión al 5% H2O

Aceleración [%]	Potencia [kW]	\dot{m}_f [g/s]	Rendimiento térmico
46.2	0.400	0.224	0.05
50.0	0.649	0.239	0.07
53.8	1.798	0.298	0.16
57.7	4.795	0.426	0.30
61.5	9.790	0.678	0.38

Tabla 52

Cálculo de rendimiento térmico con emulsión al 10% H₂O

Aceleración [%]	Potencia [kW]	\dot{m}_f [g/s]	Rendimiento térmico [-]
46.2	0.599	0.238	0.07
50.0	0.749	0.253	0.08
53.8	1.249	0.272	0.13
57.7	3.097	0.373	0.23
61.5	7.742	0.537	0.41
65.4	10.789	0.776	0.39

Tabla 53

Rendimiento térmico efectuado por la emulsión con 15% H₂O

Aceleración [%]	Potencia [kW]	\dot{m}_f [g/s]	Rendimiento térmico [-]
46.2	0.400	0.257	0.05
50.0	0.599	0.273	0.07
53.8	2.348	0.367	0.20
57.7	5.495	0.532	0.32
61.5	8.692	0.725	0.37
65.4	11.439	0.830	0.43

Tabla 54

Rendimiento térmico efectuado por la muestra con 20% H₂O

Aceleración [%]	Potencia [kW]	\dot{m}_f [g/s]	Rendimiento térmico [-]
50.0	0.549	0.304	0.06
53.8	0.649	0.326	0.06
57.7	3.297	0.479	0.19
61.5	6.494	0.631	0.33
65.4	11.888	0.841	0.45

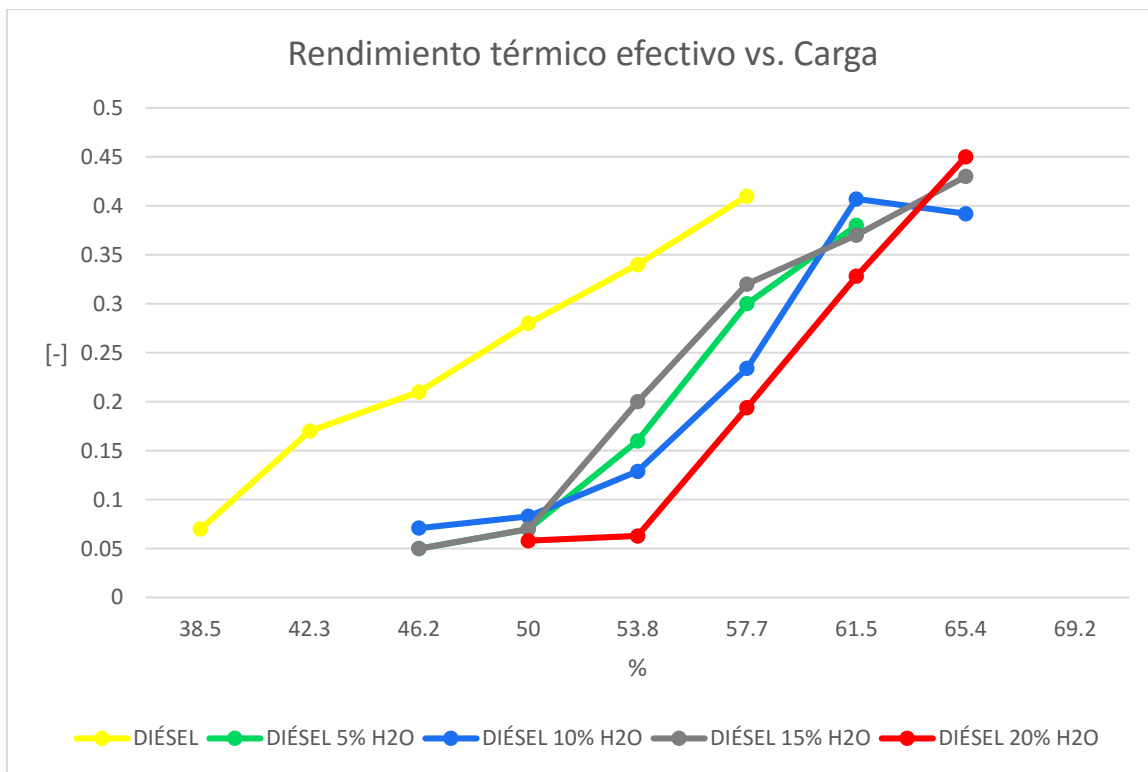


Figura 68 Rendimiento térmico efectivo en función de la carga

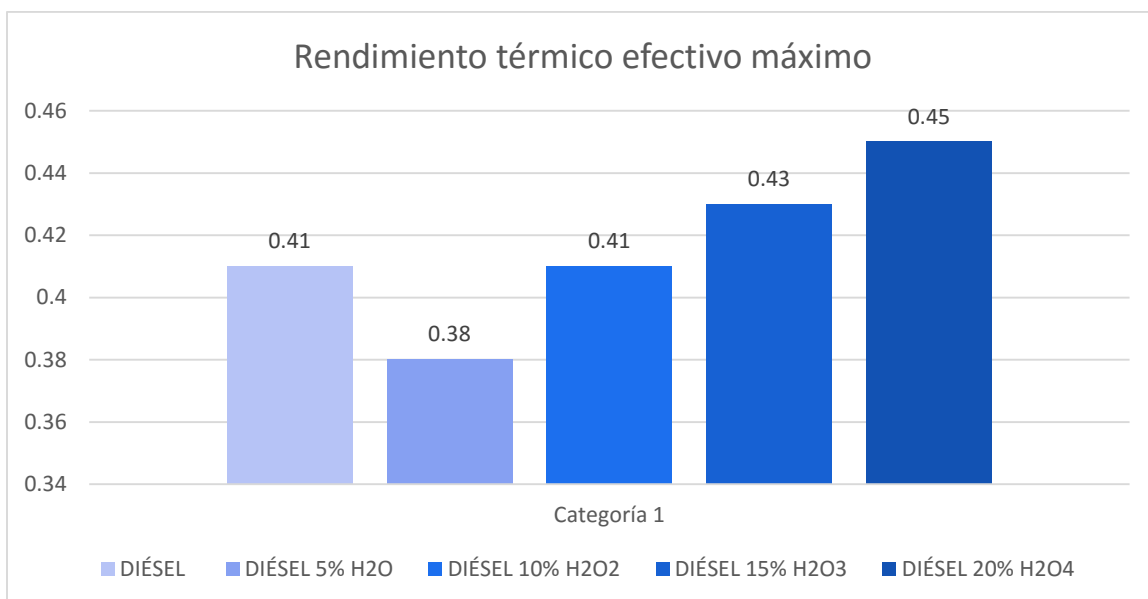


Figura 69 Rendimiento térmico efectivo máximo alcanzado en la prueba

El rendimiento térmico del motor aumenta para las emulsiones con 15 y 20 por ciento de agua (ver figuras 68 y 69), sobrepasando al rendimiento del diésel base por el 2 y el 4 por ciento respectivamente, esto debido a que el poder calorífico de las muestras de combustible son menores, pero a su vez indica que existe mayor beneficio en la energía térmica generada en la combustión para transformarla en trabajo mecánico, aprovechado por el motor.

Por otra parte “las micro explosiones causadas por la evaporación de la gasificación rápida del agua en la atomización provee beneficiosas ventajas” (Kadota, 2002) citado en (Sudrajad, Hirotsugu, & Ismail, 2011, pág. 74), estas se presentan en el rendimiento del motor.

4.6.4. Presión media efectiva

La presión media efectiva se la calculó con la ecuación 19 a partir de los datos experimentales de la potencia efectiva de las tablas 40-41-42-43-44, el número de ciclos por revolución, el número de revoluciones (1500 rpm o 25 rps), y la cilindrada total del motor.

Cálculo de la sección del pistón a partir de la ecuación 3 y datos de la tabla 19:

$$A_p = \frac{\pi \times (9.68\text{cm})^2}{4}$$

$$A_p = 73.59 \text{ cm}^2$$

Cálculo de la cilindrada total a partir de la ecuación 4 y 5 y datos de la tabla 19:

$$V_T = 73.59\text{cm}^2 \times 11\text{cm} \times 2$$

$$V_T = 1618.98 \text{ cm}^3$$

Cálculo de la presión media efectiva para la máxima potencia generada utilizando la emulsión de 10% de agua:

$$p_{me} = \frac{10.789 \text{ kW}}{\frac{1}{2} \times 25 \frac{\text{rev}}{\text{s}} \times 1618.98 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000000 \text{ cm}^3}}$$

$$p_{me} = 533.22 \text{ kPa}$$

$$p_{me} = 0.533 \text{ MPa}$$

Tabla 55

Presión media efectiva generada por la muestra diésel

Aceleración	Potencia	$i \times n \times V_T$	Pme
[%]	[kW]	[m³/s]	[MPa]
38.5	0.599	$2023.73 \times 10^{(-5)}$	0.03
42.3	1.798		0.09
46.2	2.398		0.12
50.0	3.596		0.18
53.8	5.495		0.27
57.7	9.691		0.48

Tabla 56

Presión media efectiva generada por la muestra con 5% de H2O

Aceleración	Potencia	$i \times n \times V_T$	Pme
[%]	[kW]	[m³/s]	[MPa]
46.2	0.400	$2023.73 \times 10^{(-5)}$	0.02
50.0	0.649		0.03
53.8	1.798		0.09
57.7	4.795		0.24
61.5	9.790		0.48

Tabla 57

Presión media efectiva generada por la muestra con 10% de H₂O

Aceleración [%]	Potencia [kW]	$i \times n \times V_T$ [m ³ /s]	Pme [MPa]
46.2	0.599	$2023.73 \times 10^{(-5)}$	0.03
50.0	0.749		0.04
53.8	1.249		0.06
57.7	3.097		0.15
61.5	7.742		0.38
65.4	10.789		0.53

Tabla 58

Presión media efectiva generada por la muestra con 15% de H₂O

Aceleración [%]	Potencia [kW]	$i \times n \times V_T$ [m ³ /s]	Pme [MPa]
46.2	0.400	$2023.73 \times 10^{(-5)}$	0.02
50.0	0.599		0.03
53.8	2.348		0.12
57.7	5.495		0.27
61.5	8.692		0.43
65.4	11.439		0.57

Tabla 59

Presión media efectiva generada por la muestra con 20% de H₂O

Aceleración [%]	Potencia [kW]	$i \times n \times V_T$ [m ³ /s]	Pme [MPa]
50.0	0.549	$2023.73 \times 10^{(-5)}$	0.03
53.8	0.649		0.03
57.7	3.297		0.16
61.5	6.494		0.32
65.4	11.888		0.59

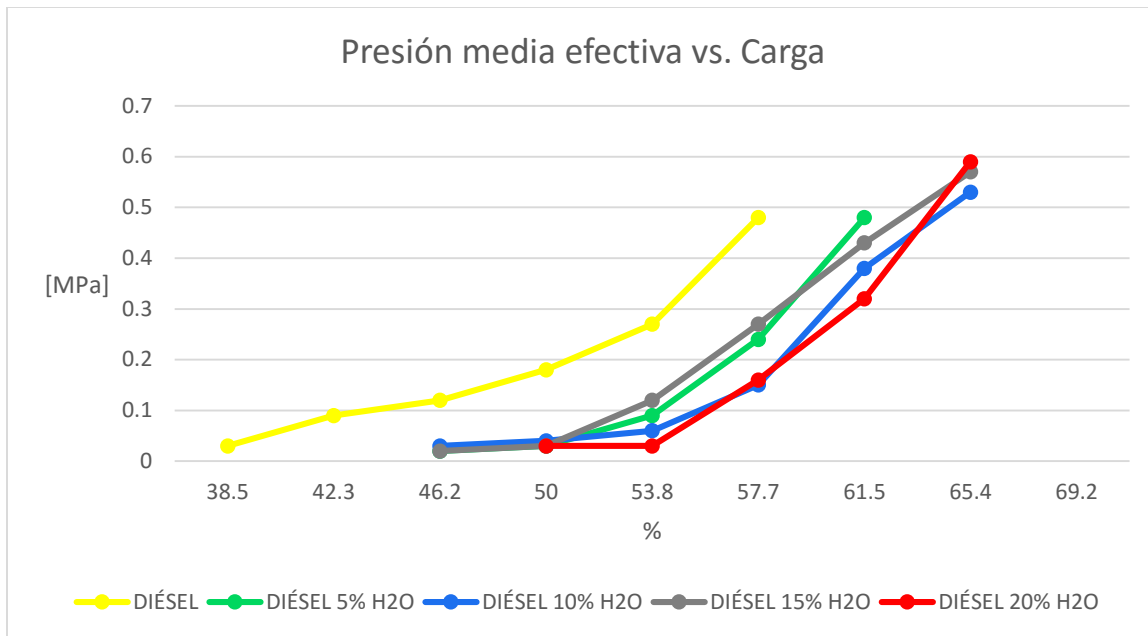


Figura 70 Presión media efectiva en función de la carga

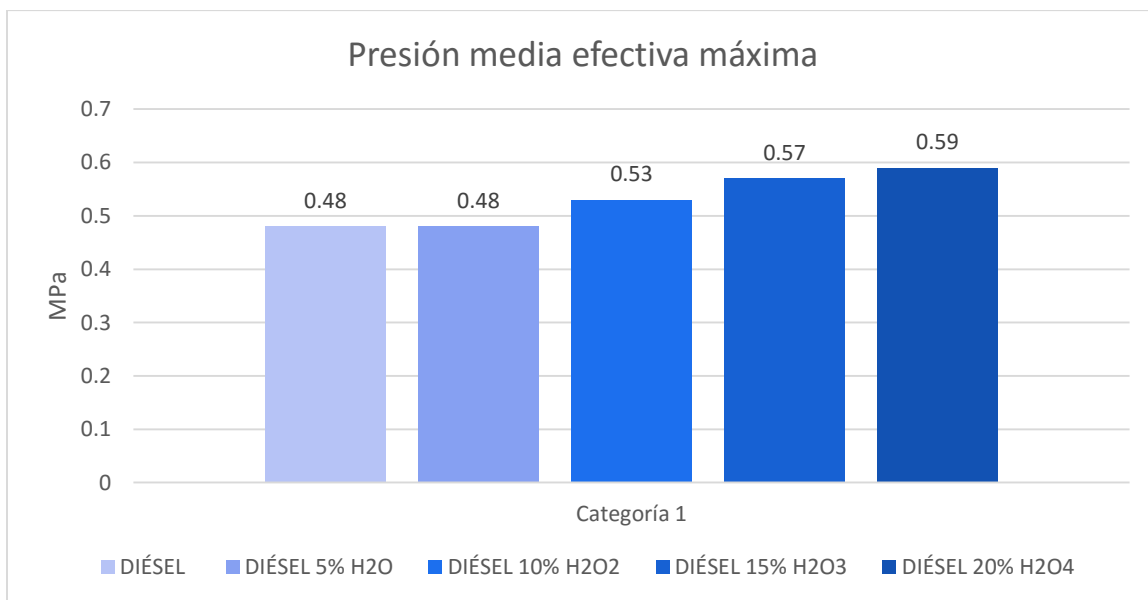


Figura 71 Presión media efectiva a máxima carga de prueba

Como causa de existir mayor consumo de combustible, el efecto que produce es el aumento de potencia y a la vez mayor presión media efectiva.

Por otra parte, las micro explosiones que se producen por la evaporación del agua al quemarse el combustible, son causantes de que exista mayor presión media efectiva dentro del cilindro. En los datos experimentales calculados la emulsión con el 20% de agua produce la mayor presión media efectiva en la prueba realizada, en comparación al diésel neto la presión la presión media generada por la emulsión con 20% de agua sobrepasa en 0.11 MPa, que corresponde al 18.64%.

4.6.5. Emisiones de gases

Las emisiones gases contaminantes y opacidad fueron tomadas en los puntos en los cuales se registraron los parámetros de torque y potencia, las gráficas que se generan están dadas en función de la potencia que realiza el motor.

Tabla 60
Emisiones de gases generados por la muestra diésel

Potencia [kW]	CO [ppm]	NOx [ppm]	Opacidad [%]
0.599	961.3	231.0	9.5
1.798	702.8	252.8	9.1
2.398	506.0	260.0	11.1
3.596	285.5	319.3	13.5
5.495	165.5	279.0	22.0
9.691	294.7	472.7	34.4

Tabla 61

Emisiones de gases generados por la muestra con 5% de H2O

Potencia [kW]	CO [ppm]	NOx [ppm]	Opacidad [%]
0.400	151.0	104.7	5.0
0.649	159.3	160.5	6.8
1.798	151.5	149.8	9.2
4.795	197.3	166.8	14.9
9.790	671.3	184.5	49.0

Tabla 62

Emisiones de gases generados por la muestra con 10% de H2O

Potencia [kW]	CO [ppm]	NOx [ppm]	Opacidad [%]
0.599	361.0	133.7	18.3
0.749	393.0	164.7	20.6
1.249	560.3	191.5	18.3
3.097	330.0	218.3	38.0
7.742	164.3	191.7	49.6
10.789	386.8	237.0	52.3

Tabla 63

Emisiones de gases generados por la muestra con 15% de H2O

Potencia [kW]	CO [ppm]	NOx [ppm]	Opacidad [%]
0.400	391.3	162.3	16.0
0.599	232.0	142.3	16.0
2.348	326.0	153.7	27.9
5.495	808.0	195.6	45.1
8.692	699.5	166.5	48.7
11.439	991.0	282.0	41.1

Tabla 64

Emisiones de gases generados por la muestra con 20% de H₂O

Potencia [kW]	CO [ppm]	NOx [ppm]	Opacidad [%]
0.549	217.2	47.3	24.0
0.649	182.2	53.5	22.6
3.297	214.4	87.3	35.0
6.494	344.2	137.3	38.6
11.888	344.0	226.0	43.6

A. Análisis de emisiones de CO

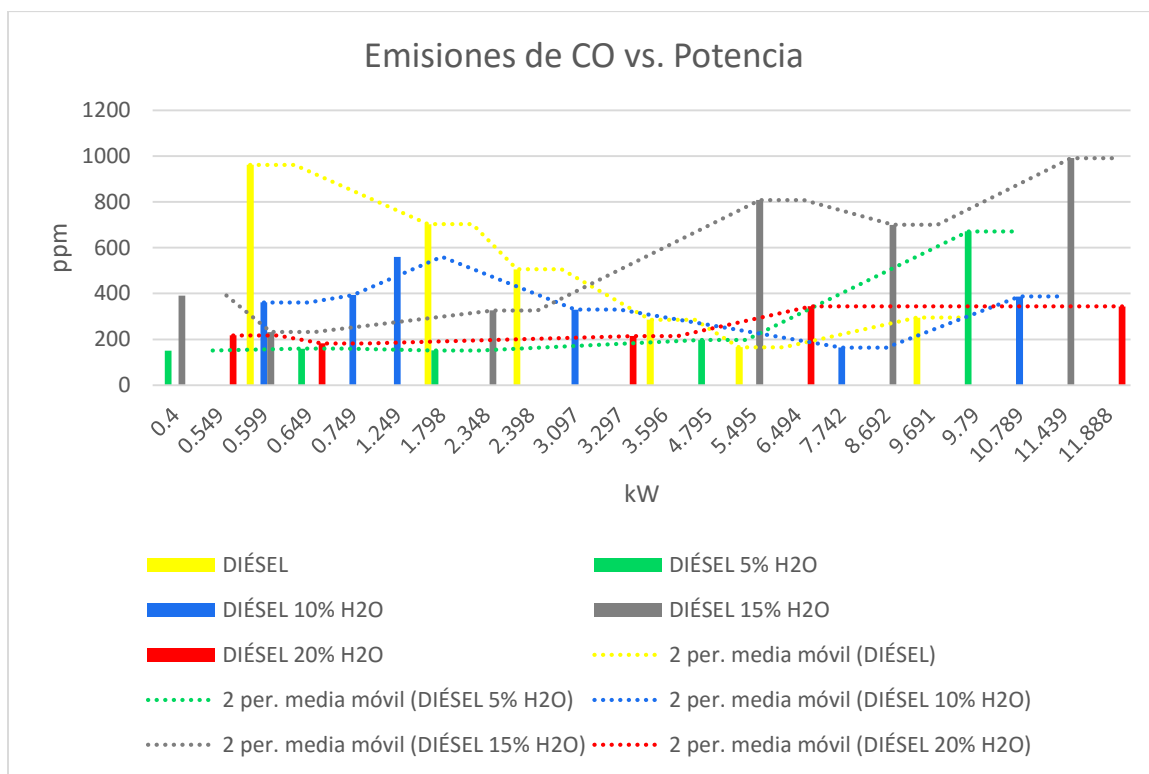


Figura 72 Emisiones de CO generadas por diésel y emulsiones

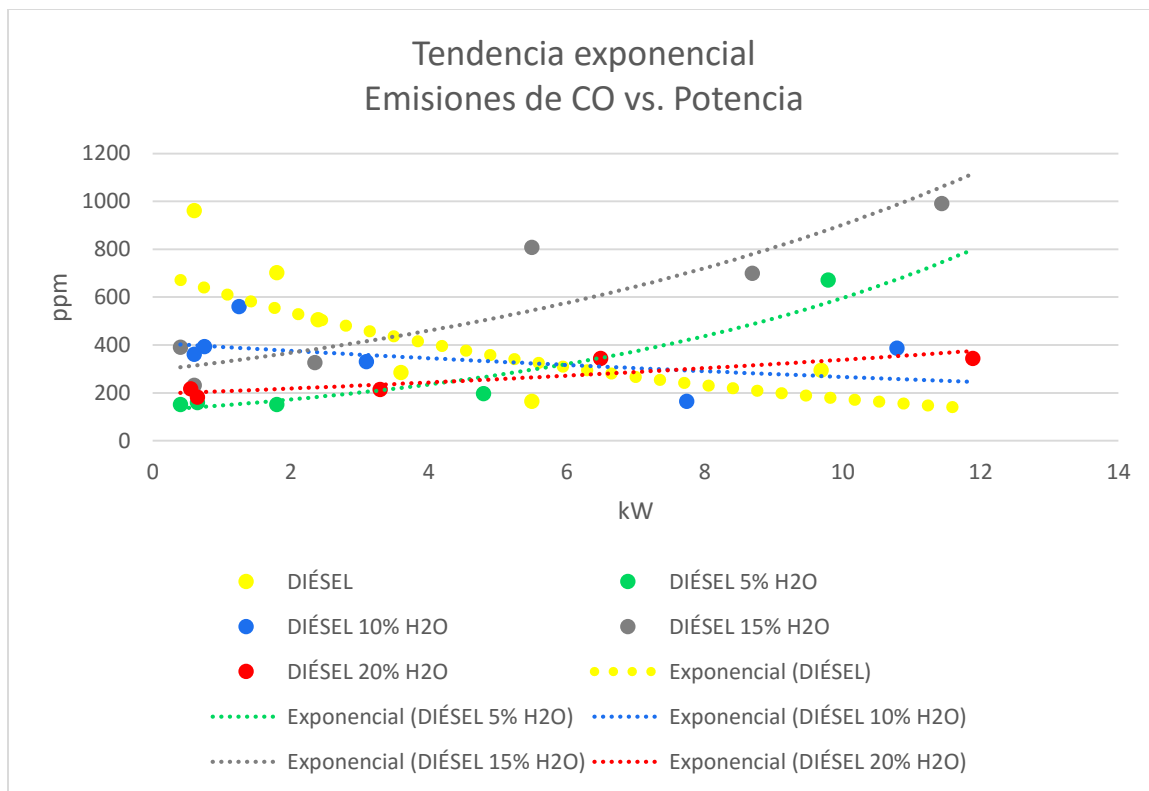


Figura 73 Tendencia exponencial de emisiones de CO

. Cuando el rango de potencia incrementa también lo hacen las emisiones de monóxido de carbono al usar emulsiones de combustible y agua, como lo detalla también (Raheman & Kumari, 2014) en su investigación.

Por otra parte la formación del monóxido de carbono está ligado al dosado, y una de las causas es cuando existen mezclas ricas como se observa en las tablas 39-43, existe mayor consumo de combustible másico y específico por lo que se produce mayor emisión de CO, por este mecanismo.

Otro factor influyente es que debido que a las gotas de combustible no evaporizadas crean zonas ricas que no se queman por completo esto puede ser debido que la viscosidad que poseen las emulsiones de combustible afectan en la pulverización y se manifiestan en el régimen de atomización de combustible como se presentó en el capítulo II (ver figuras 5 y 10).

B. Análisis de emisiones de NOx

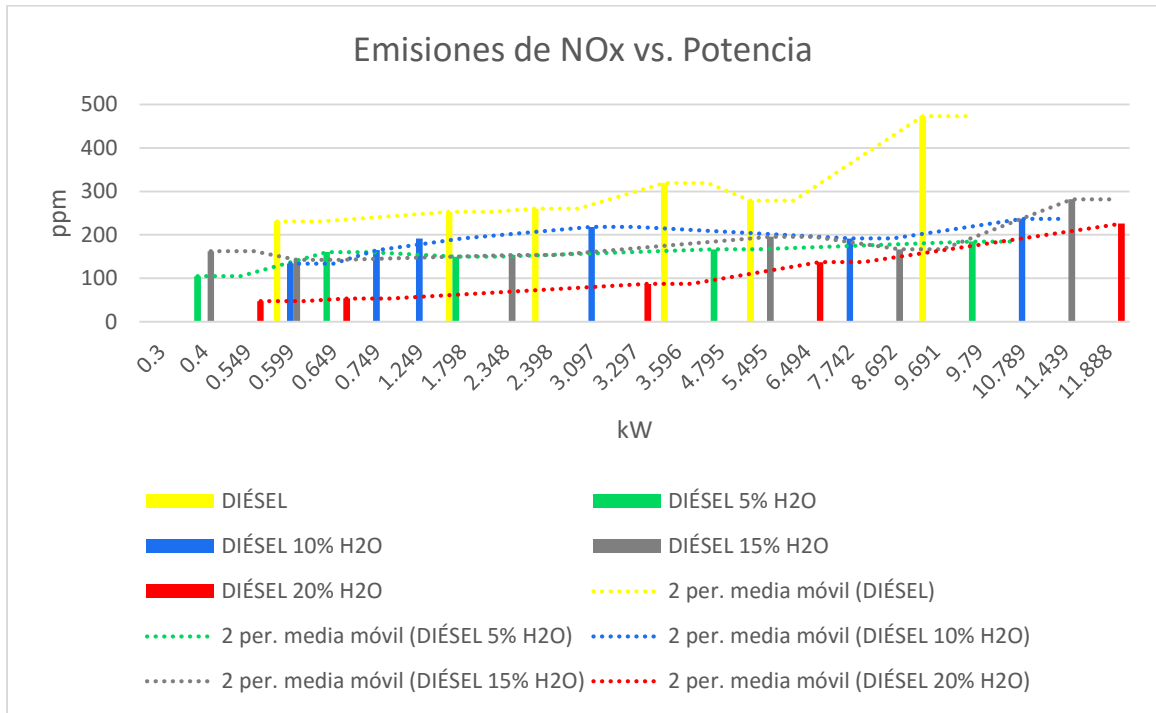


Figura 74 Emisiones de NOx generadas por diésel y emulsiones

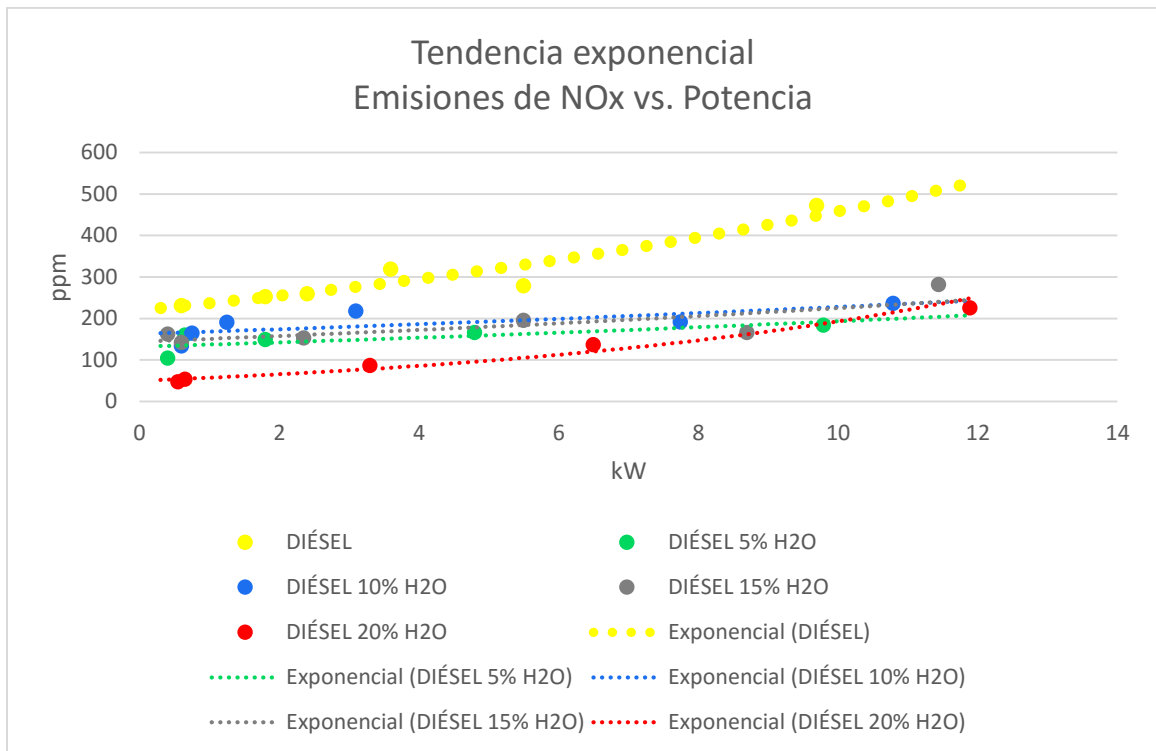


Figura 75 Tendencia exponencial de emisiones de NOx

Las emisiones de NOx disminuyen en todo régimen de potencia en comparación con las emisiones con el uso de diésel base, un mecanismo para la generación de NOx son las altas temperaturas de combustión, el agua contenida en el combustible mantiene la temperatura del motor a pesar de incrementar la carga de motor, disminuyendo así la cantidad de ppm de NOx formados por estos efectos.

Para altas potencias alcanzadas por el banco motor las emisiones de NOx no superan las 300 ppm, para las muestras la emulsión diésel y agua del 5% al 20%, a comparación de las alcanzadas por el diésel neto que en la potencia máxima llega a 472.7 ppm.

Las curvas de tendencia de las emisiones de NOx indican que a mayor potencia del motor las van a ser menores con el uso de combustible diésel emulsionado con agua.

C. Análisis de opacidad

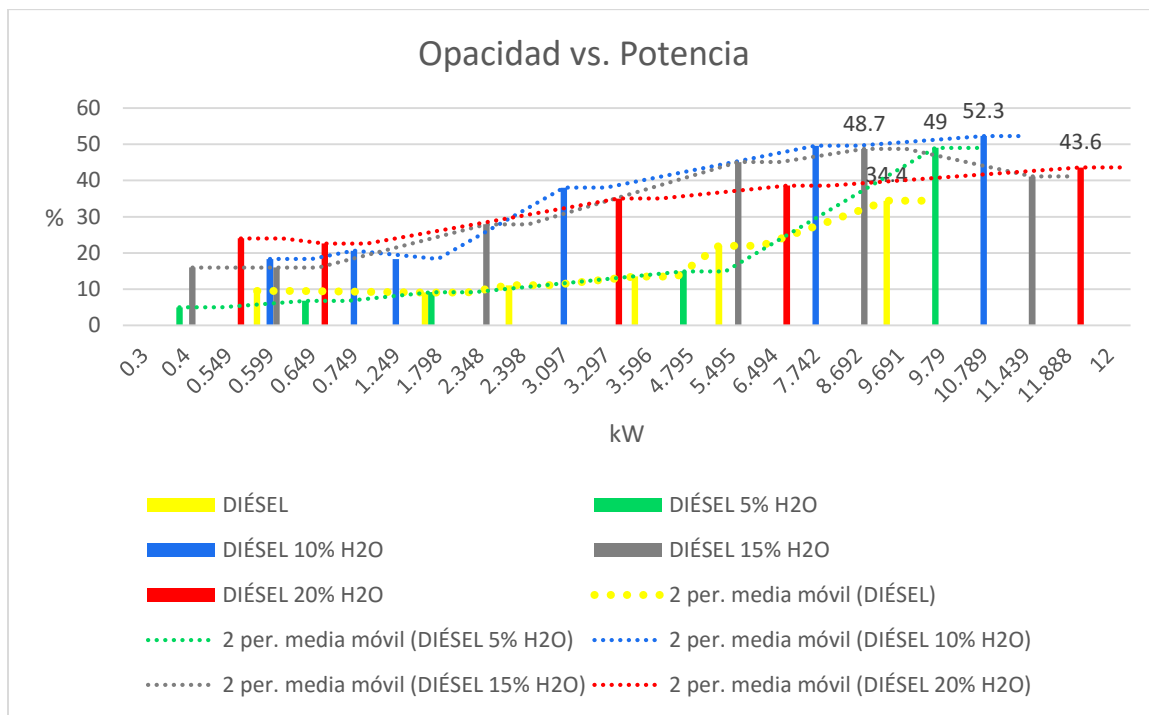


Figura 76 Opacidad generada por diésel y emulsiones

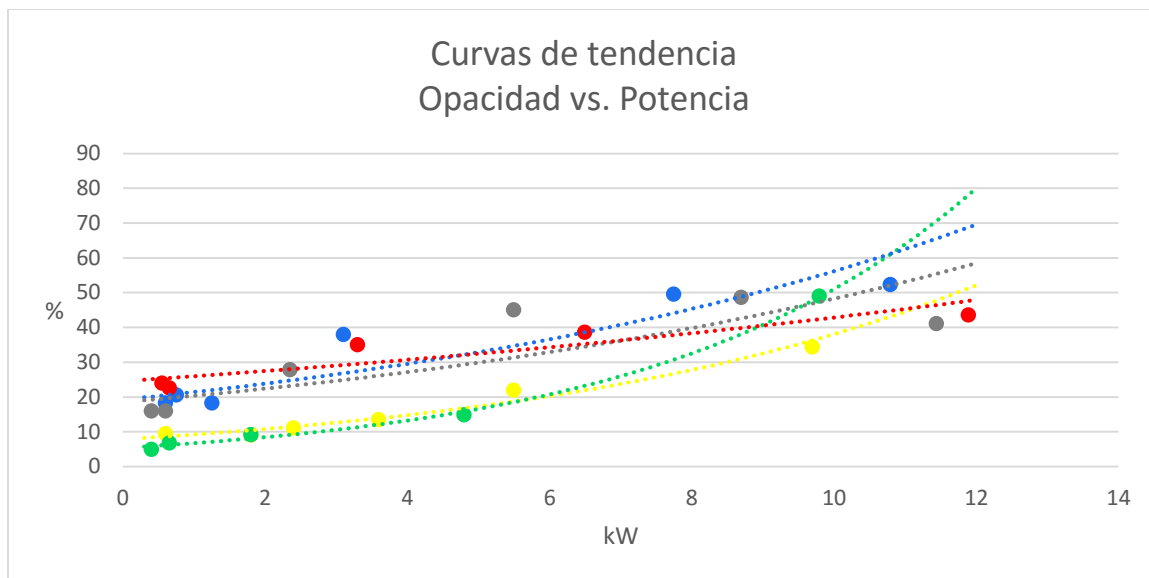


Figura 77 Tendencia exponencial de opacidad

La opacidad del motor incrementa conforme a la potencia para todas las muestras de combustible, en las emulsiones de combustible y agua se muestra mayor porcentaje de opacidad en comparación a la generada por el motor en funcionamiento con diésel neto.

El nivel de opacidad generado por las emulsiones combustible en el motor PETERS PJ 2 W, registra aumento en los valores de opacidad entre el 6.7% hasta 17.9 % para el funcionamiento en la potencia máxima alcanzada en por la prueba, uno de los factores que interviene es la viscosidad del combustible, efecto por el cual el modelo de pulverizado es afectado creando gotas más grandes donde el combustible no es combustionado completamente y a la vez generando mayores emisiones de CO (ver figura 72 y 73).

La tabla número 65 presenta un resumen del valor de los parámetros que se investigaron al utilizar diésel neto y emulsiones de diésel y agua, estos representados en la máxima potencia alcanzada en la prueba.

En la tabla 65 y en la figura 78 se presenta el resumen de los parámetros de motor PETERS PJ 2 W, al trabajar a potencia máxima de la prueba con el uso de emulsiones de diésel y agua.

Tabla 65

Resumen de resultados de muestras diésel y emulsiones

Muestra	Poder calorífico [kJ/kg]	Torque [Nm]	Potencia [kW]	Consumo específico [g/kW-h]	Rendimiento térmico [%]	CO [ppm]	NOx [ppm]	Opacidad [%]
Diésel neto	42494	61.69	9.69	206.85	41	294.7	472.7	34.4
Diésel y 5% H2O	38005	62.33	9.79	249.32	38	671.3	184.5	49
Diésel y 10% H2O	35471	68.69	10.79	258.91	39	386.8	237	52.3
Diésel y 15% H2O	32151	72.82	11.44	261.21	43	991	282	41.1
Diésel y 20% H2O	31399	75.68	11.89	254.68	45	344	226	43.6

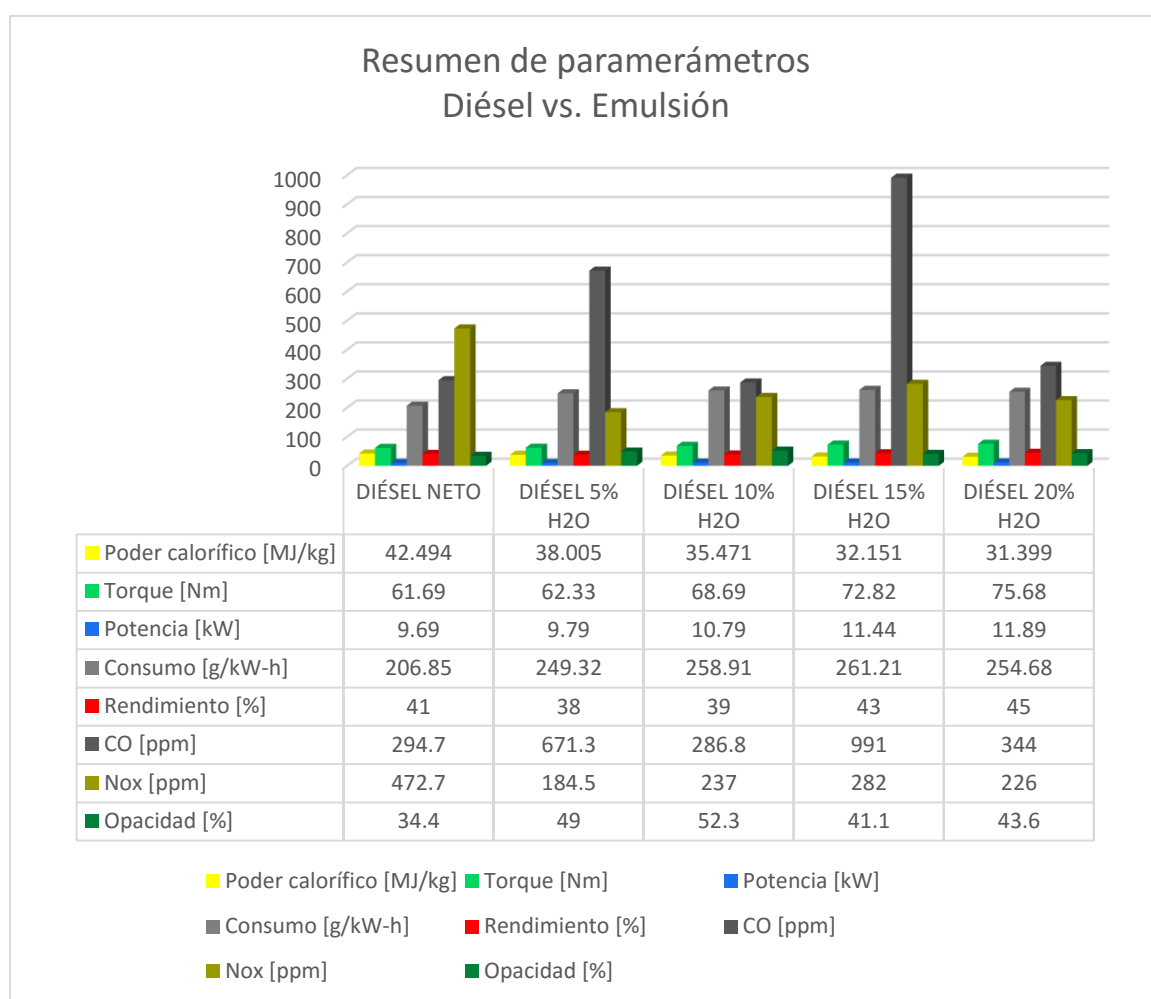


Figura 78 Resumen de los parámetros generados por el diésel vs emulsión

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

En este capítulo se analizan los costos de elaboración de las emulsiones, costo de los productos utilizados, referencias del costo de los productos así como los costos de generación de energía con cada una de las muestras de combustible que se utilizaron en esta investigación con ello se obtuvo conclusiones y recomendaciones para colaborar en nuevos conocimientos y viabilidad para nuevas investigaciones.

5.1. Costo de productos para la formulación de emulsiones

El costo de los productos fue obtenido de proveedores de productos químicos al por mayor y menor como es: “LA CASA DE LOS QUÍMICOS”, entre ellos el ácido oleico y nonil fenol de 6 moles de óxido de etileno, utilizados para la formulación de emulsiones en esta investigación, en la tabla 65, son presentados los detalles de los productos.

Tabla 66

Precio de productos

Producto	Cantidad	Precio [USD]	Referencia
Nonil Fenol	1kg	4.45	(LA CASA DE LOS QUÍMICOS, 2016)
Ácido Oleico	1kg	4.25	(LA CASA DE LOS QUÍMICOS, 2016)
Kolliphor EL	1kg	142.50	(KRACKELER Scientific, 2016)
Diésel	1gal	1.37	(PETROECUADOR, 2016)
Agua destilada	1gal	2.40	(LA CASA DE LOS QUÍMICOS, 2016)

Cálculo de costo de diésel por kilogramo:

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

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

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

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

Cálculo de costo de agua destilada por kilogramo:

$$\text{kg de H}_2\text{O por gal} = 1 \text{ gal} \times \frac{3.85 \text{ l}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{999.9 \text{ kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{kg de diésel en un gal} = 3.85 \text{ kg}$$

$$\text{Costo de diésel por kg} = \frac{2.40 \text{ USD}}{3.85 \text{ kg}}$$

$$\text{Costo de diésel por kg} = 0.62 \text{ USD/kg}$$

Tabla 67

Costo para la formulación de 100 kg de la emulsión del 5% de agua

Producto	Cantidad	Precio unitario [USD]	Porcentaje de uso [%]	Precio total [USD]
Nonil Fenol	1kg	4.45	3.4	15.13
Ácido Oleico	1kg	4.25	6.6	28.05
Kolliphor EL	1kg	142.50	0.5	71.25
Diésel	1kg	0.42	84.5	35.49
H ₂ O	1kg	0.62	5	3.1
TOTAL				153.02

Costo de emulsión diésel con 5%H₂O por kg = 1.53 USD/kg

$$\text{Costo de emulsión diésel con 5\%H}_2\text{O por gal} = \frac{1.53 \text{ USD}}{\text{kg}} \times \frac{862 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{3.85 \text{ l}}{1 \text{ gal}}$$

Costo de emulsión diésel con 5%H₂O por gal = 5.07 \$/gal

Tabla 68

Costo para la formulación de 100 kg de la emulsión del 10% de agua

Producto	Cantidad	Precio unitario [USD]	Porcentaje de uso [%]	Precio total [USD]
Nonil Fenol	1kg	4.45	3.4	15.13
Ácido Oleico	1kg	4.25	6.6	28.05
Kolliphor EL	1kg	142.50	1	142.50
Diésel	1kg	0.42	79	33.18
H ₂ O	1kg	0.62	10	6.20
TOTAL				225.06

Costo de emulsión diésel con 10%H₂O por kg = 2.25 \$/kg

Costo de emulsión diésel con 10%H₂O por gal

$$= \frac{2.25 \text{ USD}}{\text{kg}} \times \frac{866 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{3.85 \text{ l}}{1 \text{ gal}}$$

Costo de emulsión diésel con 10%H₂O por gal = 7.50 USD/gal

Tabla 69**Costo para la formulación de 100 kg de la emulsión del 15% de agua**

Producto	Cantidad	Precio unitario [USD]	Porcentaje de uso [%]	Precio total [USD]
Nonil Fenol	1kg	4.45	3.4	15.13
Ácido Oleico	1kg	5.40	6.6	35.64
Kolliphor EL	1kg	142.50	1.5	213.75
Diésel	1kg	0.42	73.5	30.87
H2O	1kg	0.62	15	9.30
TOTAL				304.69

Costo de emulsión diésel con 15%H2O por kg = 3.05 \$/kg

Costo de emulsión diésel con 15%H2O por gal

$$= \frac{3.05 \text{ USD}}{\text{kg}} \times \frac{880 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{3.85 \text{ l}}{1 \text{ gal}}$$

Costo de emulsión diésel con 15%H2O por gal = 10.34 \$/gal

Tabla 70**Costo para la formulación de 100 kg de la emulsión del 20% de agua**

Producto	Cantidad	Precio unitario [USD]	Porcentaje de uso [%]	Precio total [USD]
Nonil Fenol	1kg	4.45	3.4	15.13
Ácido Oleico	1kg	5.40	6.6	35.64
Kolliphor EL	1kg	142.50	2	285.00
Diésel	1kg	0.42	68	28.56
H2O	1kg	0.62	20	12.40
TOTAL				376.73

Costo de emulsión diésel con 20%H2O por kg = 3.77 \$/kg

Costo de emulsión diésel con 20%H2O por gal

$$= \frac{3.77 \text{ USD}}{\text{kg}} \times \frac{883 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{3.85 \text{ l}}{1 \text{ gal}}$$

Costo de emulsión diésel con 20%H2O por gal = 12.81 USD/gal

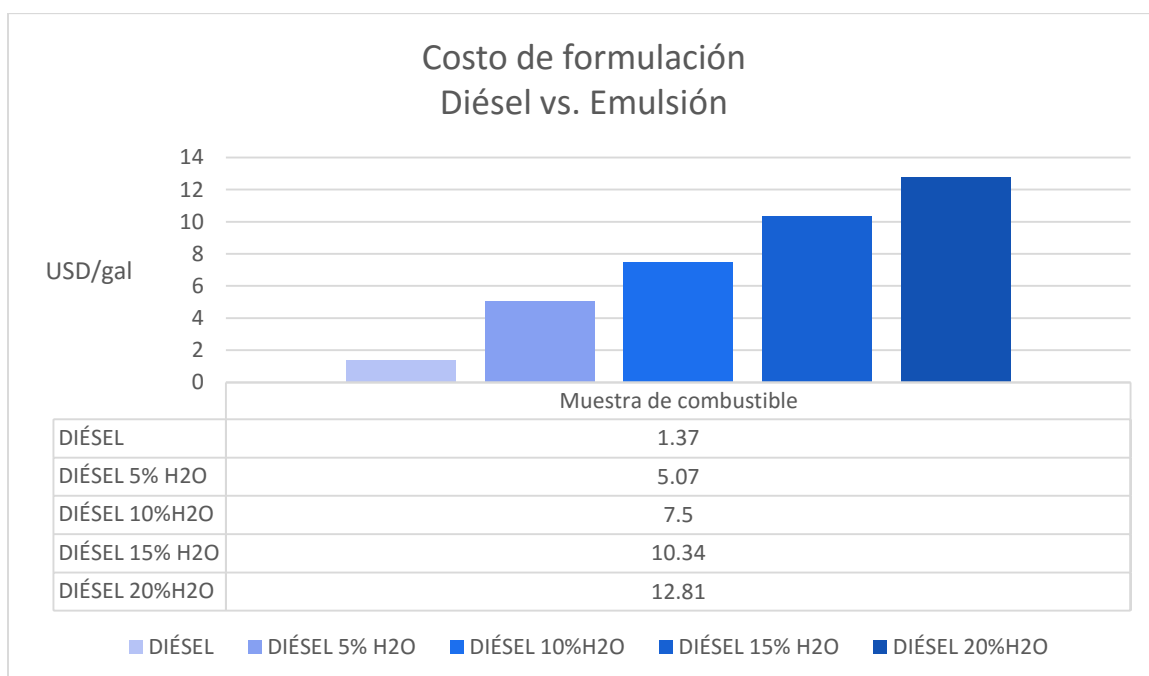


Figura 79 Costo para formulación de muestra de combustible por galón

El costo para la formulación de la emulsión diésel supera al costo del diésel comercial en 3.7 y 9.4 veces para el 5 y 20 por ciento de agua respectivamente, esto especialmente por el costo del tensoactivo Kolliphor EL que corresponde al precio de 142.50 dólares por kilogramo.

Es necesario realizar una nueva investigación donde se indague en tensoactivos de menor costo y que sean distribuidos o puedan adquirirse en el país y con ello realizar una reformulación en las emulsiones investigadas.

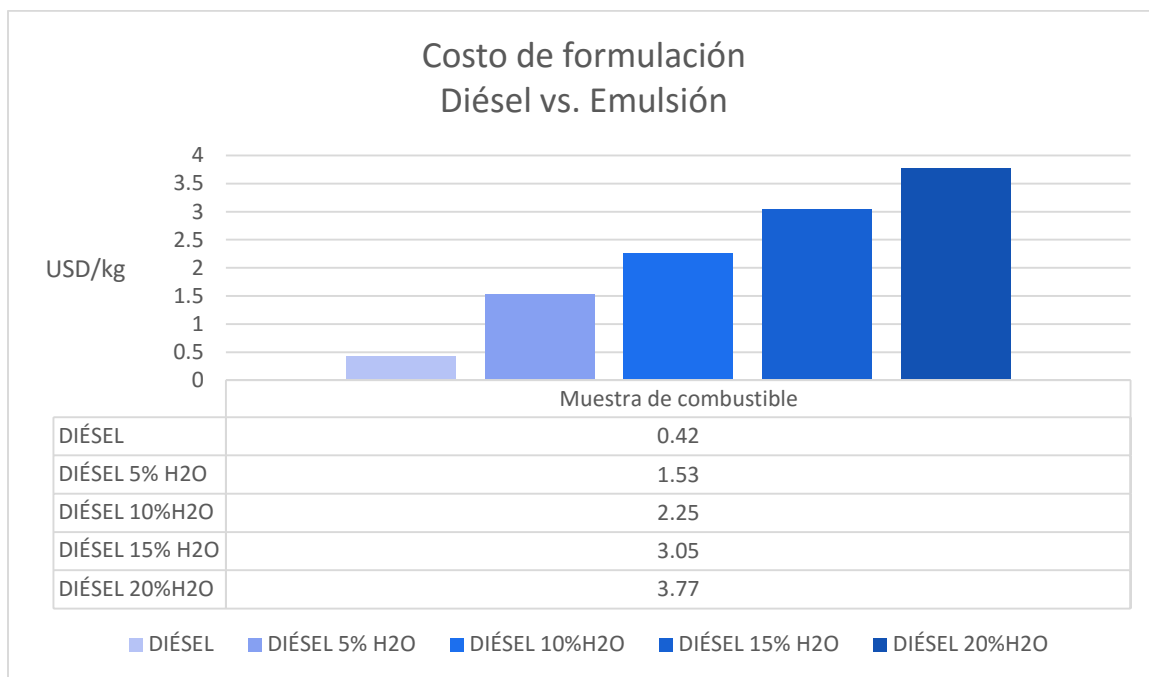


Figura 80 Costo para formulación de muestra de combustible por kilogramo

5.2. Costo de generación de energía con diésel emulsionado

El costo para la generación de energía es un parámetro importante donde influye la potencia que entrega el motor y el menor consumo específico de combustible de cada muestra, los cálculos fueron realizados usando los datos del menor consumo específico de combustible por kW-h de las tablas 45, 46, 47, 48, 49 y los datos calculados de la figura 80.

Cálculo de costo para generación de energía:

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

Ecuación 33

Cálculo de costo para la generación de energía con diésel neto:

$$\text{Costo generación} = 0.42 \left(\frac{\text{USD}}{\text{kg}} \right) \times \left(\frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} \right) \times 206.91 \left(\frac{\text{g}}{\text{kW-h}} \right)$$

$$\text{Costo generación} = 0.9 \frac{\text{USD}}{\text{kW-h}}$$

Tabla 71

Costo de generación de energía por muestra de combustible

Muestra	Consumo [g/kW-h]	Costo [USD/kg]	Costo generación [USD/kW-h]
Diésel	206.91	0.42	0.086
Diésel 5% H2O	249.32	1.53	0.381
Diésel 10% H2O	249.70	2.25	0.561
Diésel 15% H2O	261.21	3.05	0.796
Diésel 20% H2O	254.68	3.77	0.960

A pesar que las emulsiones de combustible alcanzan mayor torque y por consiguiente mayor potencia a un régimen de revoluciones, el consumo de másico y volumétrico de combustible es mayor para estas, y su resultado afecta en el consumo específico de combustible siendo mayor para todas las muestras de emulsiones diésel y agua, estos a la vez afectan a costo de generación de energía, siendo mayores que la del diésel neto.

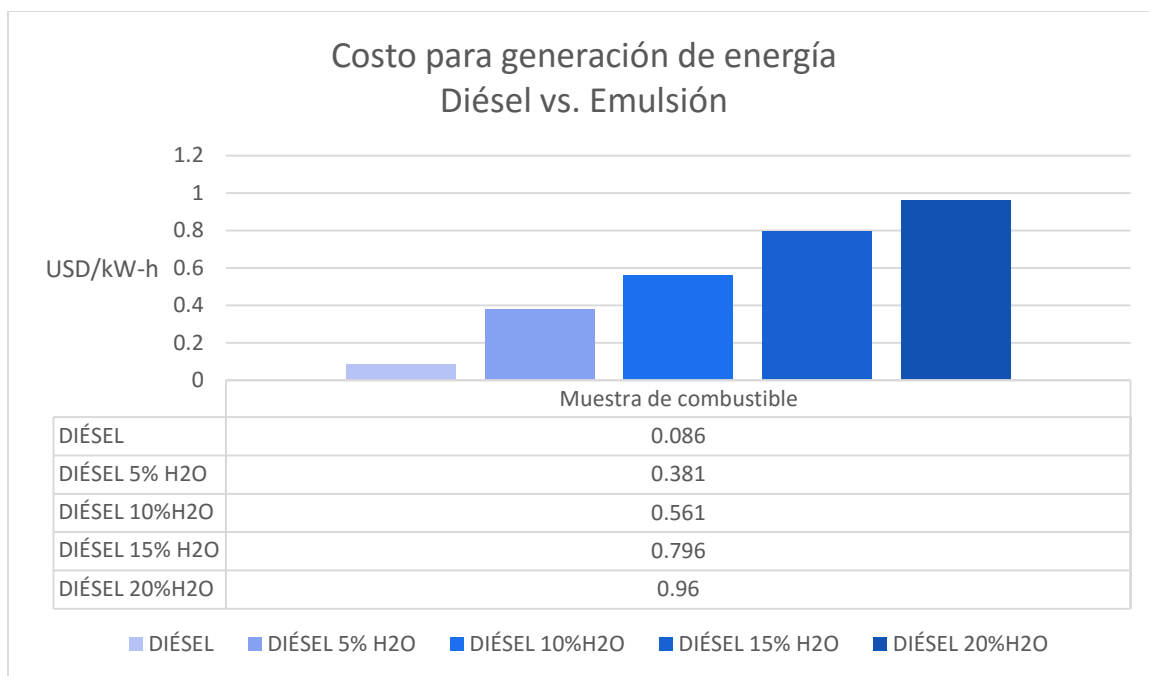


Figura 81 Costo para generación de energía con diésel y emulsiones

Otra parte principal para el incremento del costo de generación de energía, es el costo de los productos para la formulación de las emulsiones diésel y agua, entre uno de ellos resalta el Kolliphor EL que tienen el valor más elevado de estos con 142.50 USD/kg, este es uno de los factores para que el costo de generación se eleve de 4.4 a 11 veces el costo en USD/kW-h, con respecto al combustible diésel neto.

5.3. Recursos

5.3.1. Recursos humanos

En la tabla 65 se presentan los recursos humanos involucrados en el desarrollo de este proyecto de investigación.

Tabla 72
Recursos humanos

Orden	Descripción	Cargo	Función
1	Diego Pucuji	Estudiante	Investigador
2	Ing. Germán Erazo	Docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga	Tutor y Asesor
3	Químico. Pablo Bonilla	Director de la Carrera de Química de la Universidad Central del Ecuador	Colaborador científico
4	Ing. Juan Naranjo	Laboratorista de motores de combustión interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Sangolquí	Colaborador científico

5.3.2. Recursos materiales

Tabla 73
Recursos materiales

Orden	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
1	Kolliphor EL	1	kg	142.50	142.50
2	Nonil fenol de 6 moles de óxido de etileno	1.5	kg	4.45	6.68
3	Ácido oleico	1.5	kg	4.25	6.38
4	Diésel	7	gal	1.37	9.59
5	Agua destilada	2	gal	2.40	4.80
6	Impresiones	500	U	0.15	75.00
7	Copias	250	U	0.05	12.50
8	Computadora personal	3000	Horas	1.00	300.00
Total					557.45

5.3.3. Recursos tecnológicos

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron los recursos tecnológicos presentados en la tabla

Tabla 74
Recursos tecnológicos

Orden	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
1	Dinamómetro	5	Pruebas	80	400.00
2	Bomba calorimétrica	5	Pruebas	50	250.00
3	Opacímetro	15	Horas	30	450.00
4	Analizador de gases	15	Horas	45	675.00
5	Viscosímetro	5	Pruebas	20	100.00
6	DLS	5	Pruebas	25	125.00
7	Picnómetro	5	Pruebas	20	100.00
Total					2100.00

5.4. Costo total

Para el desarrollo de esta investigación se generó el siguiente costo total:

Tabla 75
Costo total

Orden	Descripción	Costo [USD]
1	Recursos materiales	557.45
2	Recursos tecnológicos	2100.00
TOTAL		2657.45

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo son expuestas las conclusiones y recomendaciones generadas a lo largo de esta investigación conjuntamente con los resultados alcanzados en la parte experimental.

6.1. Conclusiones

Se obtuvieron resultados del potencial energético de las emulsiones diésel y agua al 5, 10, 15 y 20 % con la utilización de tres surfactantes, mediante equipos especializados y pruebas de laboratorio, mostrándose una disminución escalonada en el poder calorífico inferior y superior dependiendo del porcentaje de agua, desde 42493.61 kJ/kg para el diésel neto, hasta 31399.09 kJ/kg con la emulsión con el 20 % de agua, valores que corresponden al poder calorífico inferior.

Se caracterizó las propiedades de densidad y viscosidad de las emulsiones de combustible determinando que estas aumentan de acuerdo al porcentaje de agua añadido, en la densidad aumenta desde 843 kg/m³ hasta 883 kg/m³ y para la viscosidad desde 3.48 mm²/s hasta 7.85 mm²/s correspondiente al diésel neto y a la emulsión del 20% de agua que son los valores mínimos y máximos en estas propiedades.

Se indagó en referencias bibliográficas confiables, textos, revistas y publicaciones indexadas, referidas al uso, formulación y resultados de emulsiones diésel y agua en motores de combustión interna a diésel.

Se utilizaron las emulsiones de combustible con el 5, 10, 15 y 20% de agua en el motor PETERS PJ 2 W del banco de pruebas PLINT TE-16, determinando

que se obtiene mejores resultados en los parámetros mecánicos y térmicos con la emulsión diésel y 20% de agua, lo que dirige al análisis de costos y vida útil de los elementos motor de combustión interna

Se determinó el nivel de gases contaminantes generados por el diésel y por las emulsiones de combustible, estableciendo que todas las emulsiones generan menor cantidad de NO_x, la emulsión diésel con el 5% de agua emite menor cantidad de NO_x 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.

Se evaluó el nivel de opacidad generado por las muestras de combustible en el motor PETTERS PJ 2 W, registrándose aumento en los valores de opacidad entre el 6.7% hasta 17.9 % para el funcionamiento en la potencia máxima alcanzada en por la prueba.

Se determinó que el precio de los productos utilizados en esta investigación para la formulación de emulsiones de combustible presentan elevado precio, lo que eleva su costo por galón comparado al precio del diésel comercial de 1.37 USD/gal frente a las emulsiones investigadas que van desde 5.07 USD/gal (5% agua) hasta 12.81 USD/gal (20% agua).

Se calculó el precio para la generación de energía con emulsiones de combustible las cuales con la formulación investigada no representa un beneficio económico, resultando el valor de 0.086 USD/kW-h para combustible diésel y desde 0.38 USD/kW/h a de 0.96 USD/kW-h al utilizar la emulsión del 20% de agua.

Se determinó que la formulación investigada para las emulsiones diésel con no es factible económicamente por lo que se debe realizar nuevas investigaciones en la reformulación de las emulsiones diésel/agua, por los parámetros mecánicos y térmicos se debe indagar en los efectos que acarrea el uso de emulsiones de diésel/agua en los materiales del motor de combustión interna.

6.2. Recomendaciones

Es necesario realizar la reformulación de las emulsiones diésel y agua, para determinar un punto de equilibrio donde se presente menor utilización de tensoactivos.

Indagar sobre tensoactivos de menor costo que sean distribuidos en el país para realizar una reformulación en las emulsiones y en consecuencia disminuya los costos de formulación y de generación de energía.

Generar una investigación sobre los efectos que existen en los materiales del sistema de alimentación de combustible al utilizar emulsiones diésel/agua, sometiéndolo a diferentes horas de trabajo y carga.

Investigar sobre tensoactivos que presentan las grasas animales y vegetales para la formulación de emulsiones diésel.

Desarrollar sistemas automáticos de elaboración de emulsiones de combustible en el motor, para trabajar con el tiempo menor de estabilización de la emulsión y operar con menos cantidad de tensoactivo.

Difundir los resultados de la investigación, para el desarrollo de nuevos estudios y experimentaciones que generen nuevos conocimientos en el área de combustibles emulsionados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baena, G. (2014). *Metodología de la investigación*. México, D.F.: Grupo Editorial Patria.
- 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). *Técnica de gases de escape para motores Diesel*. Alemania: BOSCH.
- Erazo, G. (2013). *Evaluación del potencial energético del aceite de piñon en el motor Isuzu serie DMax como fuente alternativa de energía en la ciudad de Latacunga. Utilización como biocombustible en motores diesel en proporsión para reducir la polución*. Latacunga.
- Guzmán, A., & Clavón, M. (2011). *Estudio de las emisiones de gases contaminantes de un motor de ciclo diesel, usando combustible microemulsionado con agua*. Quito: UPN.
- Harris, D. (2007). *Análisis químico cuantitativo* (Sexta ed.). Barcelona: Reverté.
- Millares de Imperial, J. (1985). *Motor diesel inyección y combustión* (Segunda ed.). Barcelona: CEAC.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos* (Sexta ed.). México, D.F.: Pearson.
- Nextech. (s.f.). *Automotive Opacity Smoke Meter NDO-6000 Operation Manual*. Nextech.
- Niño, L. (2006). *Banco de pruebas de motores para el laboratorio de máquinas térmicas alternativas, diseño del puesto de trabajo y propuesta de modernización del laboratorio*. Bucaramanga.

- Orovio, M. (2010). *Tecnología del automóvil*. Paraninfo: Madrid.
- Payri, F., & Desantes, J. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Valencia: Editorial UPV.
- Rajput, R. (2011). *Ingeniería Termodinámica*. México, D.F.: CENGAGE Learning.
- Ralbovsky, E. (2000). *Motores Diésel*. Madrid: PARANINFO.
- Romo, L. (1993). *Emulsiones Fundamentos Fisicoquímicos Formulación y Aplicaciones*. Quito: Editorial Universitaria.
- Ruiz, R. (2007). *El método científico y sus etapas*. México, D.F.
- Testo AG. (s.f.). *testo 350M/XL testo 454 Manual de Instrucciones*. Lenzkirch: Testo AG.
- Alternative petroleum technologies [APT]. (2013). *Emulsiones Diesel Oil*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2015, de Alternative petroleum technologies: <http://www.altpetrol.com/es/2b-pd-doe.html>
- BASF SE. (10 de Marzo de 2012). *Technical Information*. Obtenido de Kolliphor EL: <https://industries.basf.com/en/documentDownload.8805244447189.Kolliphor%C2%AE%20EL%20-%20Technical%20Information.pdf>
- Ecuador, Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2015). *Costo del servicio eléctrico - 2015*. Recuperado el 15 de Junio de 2016, de Costos unitarios y participación en porcentaje de la generación, transmisión y distribución: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/Costo-del-servicio-el%C3%A9ctrico-2015.pdf>
- Ecuador. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. (2015). *iner.gob.ec*. Recuperado el 30 de Noviembre de 2015, de *iner.gob.ec*: <http://www.iner.gob.ec/>

- Ecured. (2016). *Ácido oleico*. Recuperado el 10 de Mayo de 2016, de Ácido oleico: http://www.ecured.cu/%C3%81cido_oleico
- KRACKELER Scientific. (2016). *Kolliphor® EL*. Recuperado el 2 de Junio de 2016, de SIGMA/C5135 - pH-range 6.0 - 8.0: <http://www.krackeler.com/catalog/sigma/SIGMA/C5135>
- Martínez, R., & Rodríguez, E. (2016). *Manual de Metodología de la Investigación Científica*. Recuperado el 5 de Mayo de 2016, de Diseño de la Investigación.
- Melo, E., Piloto, R., Goyos, L., Verhelst, S., & Sierens, R. (2016). *Academia*. Recuperado el 21 de Marzo de 2016, de La emulsificación de los aceites vegetales y las grasas animales como combustible para motores diesel. una visión general: http://www.academia.edu/20992591/La_emulsificaci%C3%B3n_de_los_aceites_vegetales_y_las_grasas_animales_como_combustible_para_motores_diesel._Una_visi%C3%B3n_general_Emulsification_of_vegetable_oils_and_animal_fats_as_fuel_for_diesel_engines
- Oliva i Herrera, M. (7 de Mayo de 2009). *Tecnología farmacéutica i*. Obtenido de Emulsiones: <http://ocw.ub.edu/farmacia/tecnologia-farmacaceutica-i/fitxers/temes/T.21-Emulsions.pdf>
- Químicos y Aceites Especiales [QAE]. (2016). *Nonil fenol con 6 moles de O.E.* Recuperado el 19 de Enero de 2016, de Nonil fenol con 6 moles de O.E.: <http://qae.com.mx/nonil/>
- Silverson. (2016). *Silverson*. Recuperado el 3 de Julio de 2016, de Mezcladores de Laboratorio: www.silverson.es/es/productos/mezcladores-de-laboratorio/opciones-de-mezcladores
- Testo AG. (2016). *Productos*. Recuperado el 20 de Mayo de 2016, de Análisis de gases de combustión industriales y domesticos:

www.testo.es/es/home/productos/analizadore_de_gases_de_la_combustion/medici_n_de_gases/analizadores-combustion.jsp

- United Nations. (2014). *Protocolo de Kyoto*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2015, de Framework Convention of Climate Change: http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/items/6215.php

INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS:

- Canfield, C. A. (1999). *Effects of diesel—water emulsion combustion on diesel engine NOx emissions*. Florida: University of florida.
- Dantas Neto, A. A., Fernandes, M. R., Barros Neto, E. L., Castro Dantas, T. N., & Moura, M. P. (2011). Alternative fuels composed by blends of nonionic surfactant with diesel and water: engine performance and emissions. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 521-531.
- Holmberg, K., Jönsson, B., Kronberg, B., & Lindman, B. (2003). *Surfactants and polymers in aqueous solution* (Segunda ed.). Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd.
- Kadota, T., & Yamasaki, H. (2002). Recent advances in the combustion of water fuel emulsion. *Prog Energy combustion Science*, 385-404.
- Kannan, T. K., & Rakkiyanna, M. (2011). Thevetia peruviana biodiesel emulsion used as a fuel in a single cylinder diesel engine reduces NOx and smoke. *Thermal Science*, 1185-1191.
- Lif, A., & Holmberg, K. (2006). Water-in-diesel emulsions and related systems. *Advances in Colloid and Interface Science*, 231-239.

- Melo, E., Piloto, R., Goyos, L., Ferrer, N., & Errasti, M. (2013). Investigación experimental de las prestaciones de un motor mono-cilíndrico usando combustible diesel emulsionado. *Ingeniería Energética*, 11-20.
- Raheman, H., & Kumari, S. (2014). Performance and emissions of emulsified biodiesel operated diesel engine. *International Conference on Biological Civil and Environmental Engineering*, 110-117.
- Sudrajad, A., Hirotsugu, F., & Ismail, A. (2011). Experimental study of exhaust emissions of W/O emulsion fuel in DI single cylinder diesel engine. *Modern Applied Science*, 73-79.

NORMAS:

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

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: **DIEGO ROBERTO PUCUJI PILLAJO**

En la ciudad de Latacunga, a los 18 días del mes de Agosto del 2016.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Germán Erazo', written over a horizontal line.

Ing. Germán Erazo
DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Danilo Zambrano', written over a horizontal line.

Ing. Danilo Zambrano
DIRECTOR DE CARRERA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Juan Carlos Díaz', written over a horizontal line.

Dr. Juan Carlos Díaz
SECRETARIO ACADÉMICO