



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TEMA:

**IDENTIFICACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE EN MOTORES
DIÉSEL CON NORMATIVA EURO 3 A DIFERENTES ALTURAS SOBRE EL
NIVEL DEL MAR**

AUTOR:

CRISTIAN ESTEBAN CHÁVEZ CASTRO

DIRECTOR:

ING. CARLOS NOLASCO MAFLA YÉPEZ, MSc.

Ibarra, Septiembre 2018

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

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

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "Identificación de las emisiones de gases de escape en motores diésel con normativa Euro 3 a diferentes alturas sobre el nivel del mar" presentado por el señor: Cristian Esteban Chávez Castro con número de cédula 0401943386, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 18 días del mes septiembre del 2018.

Atentamente



Ing. Carlos Mafla MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO	
CEDULA DE IDENTIDAD:	0401943386
APELLIDOS Y NOMBRES:	Chávez Castro Cristian Esteban
DIRECCIÓN:	Vicente Rocafuerte 4-38 y Grijalva
EMAIL:	cechavezc@utn.edu.ec
TELÉFONO FIJO:	062645158 TELÉFONO MÓVIL: 0967553771

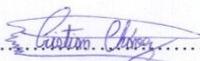
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Identificación de las emisiones de gases de escape en motores diésel con normativa Euro 3 a diferentes alturas sobre el nivel del mar.
AUTOR (ES):	Chávez Castro Cristian Esteban
FECHA:	18 de Septiembre del 2018
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez, MSc.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 18 días del mes de septiembre del 2018.

EL AUTOR:

Firma: 

Nombre: Cristian Esteban Chávez Castro

DEDICATORIA

La presente investigación va dedicada a mis padres, hermanos y amigos quienes fueron el eje principal para la construcción de mi vida personal y profesional, por apoyarme y confiar en mí durante todo el proceso de estudios hasta el cumplimiento de este nuevo objetivo.

También este trabajo le dedico a mi difunto hermano Mauricio, por todas las enseñanzas, tu siempre confiaste en mí y me apoyaste en cada momento cuando las cosas se ponían difíciles, gracias ñaño por enseñarme a ser perseverante y despertar mis deseos de superación, muchos de mis logros se han llevado a cabo por la inspiración de personas de buen corazón les agradezco por todos los aportes brindados en mi vida.

CRISTIAN ESTEBAN CHÁVEZ CASTRO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres Marco y Teresa por el apoyo proporcionado durante todo el proceso de estudios por educarme con valores y principios necesarios para toda la vida. A mis hermanos, amigos y compañeros por la constante motivación durante el desarrollo del proyecto.

Además agradezco a todos mis maestros que gracias a sus enseñanzas y conocimientos proporcionados durante el proceso de formación profesional permitieron el logro de alcanzar un nuevo objetivo. Al Ingeniero Carlos Mafla por ser mi guía fundamental en el perfeccionamiento del proyecto. Igualmente ofrezco mis agradecimientos a mi tocayo Christian Ortiz por todo el apoyo prestado en el transcurso de la carrera.

CRISTIAN ESTEBAN CHÁVEZ CASTRO

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR	i
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	ii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO 1	1
1. Problema de investigación	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Formulación del problema	3
1.4 Delimitación	3
1.4.1 Temporal	3
1.4.2 Espacial	3
1.5 Objetivos	4
1.5.1 Objetivo general	4
1.5.2 Objetivos específicos	4
1.6 Justificación	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA II	6
2. Motor Diésel	6
2.1 Ciclos de funcionamiento del motor diésel de 4 tiempos	7
2.1.1 Fase de admisión	7
2.1.2 Fase de compresión	8
2.1.3 Fase de ignición	9
2.1.4 Fase de escape	10
3. Gases producidos en la combustión	11
3.1 Gases no contaminantes	12
3.1.1 Dióxido de carbono (CO ₂)	13
3.1.2 Nitrógeno (N ₂)	13
3.1.3 Oxígeno (O ₂)	13
3.1.4 Agua (H ₂ O)	14
3.2 Gases contaminantes del medio ambiente	14

3.2.1 Monóxido de carbono (CO)	14
3.2.2 Hidrocarburos (HC)	15
3.2.3 Óxidos de nitrógeno (NO _x)	15
3.2.4 Dióxido de azufre (SO ₂)	16
3.2.5 Material particulado (PM)	16
3.2.5.1 Partículas PM 10	17
3.2.5.2 Partículas PM 2.5	17
4. Estándares de emisiones de gases de escape internacionales	17
4.1 Estándares euro para motores diésel	18
4.1.1 Norma euro 6	18
4.2 Estándares mexicanos para motores diésel	19
4.2.1 Norma mexicana 2017	20
5. Efectos de la altitud en motores diésel	21
6. Composición del aire a diferentes alturas	22
5. El Diésel	24
5.1 Propiedades del diésel	25
5.1.1 Viscosidad	25
5.1.2 Punto de inflamación	25
5.1.3 Contenido de azufre	25
5.1.4 Índice de cetano	26
5.1.5 Aromáticos	26
5.1.6 Poder calórico	26
6. Diésel en Ecuador	27
6.1 Diésel No. 1	27
6.2 Diésel No. 2	27
6.3 Diésel Premium	28
7. Impacto de las emisiones del motor diésel	29
7.1 Impacto en la salud	30
7.1.1 Cáncer	30
7.1.2 Efectos cardiovasculares	30
7.1.3 Efectos pulmonares	31
7.1.4 Efecto en el sistema nervioso	31
7.2 Impacto ambiental	31
7.2.1 Cambio climático	31
7.2.2 Smog foto químico	32
7.2.3 Ozono	32

8. Sistemas de control de emisiones	32
8.1 Sistema de recirculación de gases de escape (EGR)	33
8.2 Catalizador de oxidación diésel (DOC)	33
8.3 Filtro de partículas diésel (DPF)	35
8.3.1 Regeneración activa del filtro de partículas	36
8.3.2 Regeneración pasiva del filtro de partículas	36
8.4 Reducción catalítica selectiva (SCR)	37
MATERIALES Y MÉTODOS III	39
3. Descripción de la investigación	39
3.1 Finalidad de las normas euro y normativas nacionales	39
3.2 Alternativas para la reducción de contaminantes	40
3.3 Combustibles alternativos	40
3.4 Características del diésel Euro	41
3.4.1 Índice de cetano	41
3.4.2 Punto de inflamación	42
3.4.3 Contenido de agua	42
3.4.4 Contenido de residuo carbonoso 10%	42
3.4.5 Viscosidad a 40 °C	42
3.4.6 Contenido de azufre	43
3.5 Características del Diésel Premium	43
3.5.1 Índice de cetano	43
3.5.2 Punto de inflamación	44
3.5.3 Contenido de agua y sedimento	44
3.5.4 Contenido de residuo carbonos sobre el 10 % de residuo de destilación	44
3.5.5 Viscosidad cinemática a 40°C	45
3.5.6 Contenido de azufre	45
3.5.7 Contenido de biodiésel	45
3.6 Medición de gases a diferentes alturas sobre el nivel del mar	45
3.6.1 Aspectos técnicos del vehículo	46
3.6.2 Altímetro digital multifunción	46
3.6.3 Analizador de gases Brain Bee AGS- 688	47
3.6.4 Sensor automotriz NOx- 0100	47
3.6.5 Sonda SGD-010	48
3.6.6 Emisiones de CO, CO2 y NOx	48
3.6.7 Procedimiento para medir emisiones de gases de escape	48
3.7 Especificación de los lugares para la toma de datos	50

3.7.1 Localidad de Lita-Imbabura 617 msnm	51
3.7.2 Localidad de Ambuquí-Imbabura 1677 msnm	52
3.7.3 Localidad de Ibarra-Imbabura 2207 msnm	52
3.7.4 Localidad de Tulcán-Carchi 2953 msnm	53
3.8 Prueba de emisiones de gases de escape con diésel fósil	53
3.8.1 Prueba en la localidad de Lita-Imbabura 617 msnm	54
3.8.2 Prueba en la localidad de Ambuquí-Imbabura 1677 msnm	54
3.8.3 Prueba en la localidad de Ibarra-Imbabura 2207 msnm	55
3.8.4 Prueba en la localidad de Tulcán-Carchi 2953 msnm	56
3.9 Elaboración de la mezcla B5	57
3.10 Prueba de emisiones de gases de escape con biodiésel B5	59
3.10.1 Prueba en la localidad de Lita-Imbabura 617 msnm	59
3.10.2 Prueba en la localidad de Ambuquí-Imbabura 1677 msnm	60
3.10.3 Prueba en la localidad de Ibarra-Imbabura 2207 msnm	61
3.10.4 Prueba en la localidad de Tulcán-Carchi 2953 msnm	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN IV	63
4. Análisis de resultados	63
4.1 Análisis de las características del diésel euro y diésel premium	63
4.1.1 Punto de inflamación	63
4.1.2 Índice de cetano	64
4.1.3 Contenido de azufre	64
4.2 Emisiones con diésel fósil según altitud	65
4.2.1 Variación de temperatura y presión atmosférica con la altura	65
4.2.2 Emisiones de monóxido de carbono (CO)	66
4.2.3 Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂)	66
4.2.4 Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO _x)	66
4.3 Emisiones con biodiésel B5 según altitud	67
4.3.1 Variación de temperatura y presión atmosférica con la altura	67
4.3.2 Emisiones de monóxido de carbono (CO)	68
4.3.3 Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂)	68
4.3.4 Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO _x)	68
4.4 Análisis de las emisiones entre diésel fósil y biodiésel B5 a diferente altura	69
4.4.1 Comparación del CO entre diésel fósil y biodiésel B5 a 750 rpm	69
4.4.2 Comparación del CO entre diésel fósil y biodiésel B5 a 1500 rpm	71
4.4.3 Comparación del CO entre diésel fósil y biodiésel B5 a 2500 rpm	72
4.4.4 Comparación del CO ₂ entre diésel fósil y biodiésel B5 a 750 rpm	73

4.4.5 Comparación del CO ₂ entre diésel fósil y biodiésel B5 a 1500 rpm	74
4.4.6 Comparación del CO ₂ entre diésel fósil y biodiésel B5 a 2500 rpm	75
4.4.7 Comparación de NO _x entre diésel fósil y biodiésel B5 a 750 rpm	76
4.4.8 Comparación de NO _x entre diésel fósil y biodiésel B5 a 1500 rpm	77
4.4.9 Comparación de NO _x entre diésel fósil y biodiésel B5 a 2500 rpm	78
4.5 Comparación de emisiones diésel fósil y biodiésel B5 con la norma mexicana	79
4.5.1 Análisis de emisiones de monóxido de carbono (CO)	80
4.5.1.1 Emisiones de monóxido de carbono a 617 msnm	81
4.5.1.2 Emisiones de monóxido de carbono a 1677 msnm	81
4.5.1.3 Emisiones de monóxido de carbono a 2207 msnm	82
4.5.1.4 Emisiones de monóxido de carbono a 2953 msnm	82
4.5.2 Análisis de emisiones de dióxido de carbono (CO ₂)	83
4.5.2.1 Emisiones de dióxido de carbono a 617 msnm	83
4.5.2.2 Emisiones de dióxido de carbono a 1677 msnm	84
4.5.2.3 Emisiones de dióxido de carbono a 2207 msnm	84
4.5.2.4 Emisiones de dióxido de carbono a 2953 msnm	85
4.5.3 Análisis de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO _x)	85
4.5.3.1 Emisiones de óxidos de nitrógeno a 617 msnm	86
4.5.3.2 Emisiones de óxidos de nitrógeno a 1677 msnm	86
4.5.3.3 Emisiones de óxidos de nitrógeno a 2207 msnm	87
4.5.3.4 Emisiones de óxidos de nitrógeno a 2953 msnm	87
4.5.4 Comparativa de las emisiones frente a la norma mexicana	88
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES V	89
5.1 Conclusiones	89
5.2 Recomendaciones	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXOS	95

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAG.
Figura 2. 1 El motor diésel	6
Figura 2. 2 Fase de admisión	8
Figura 2. 3 Fase de compresión	9
Figura 2. 4 Fase de ignición	10
Figura 2. 5 Fase de escape	11
Figura 2. 6 Combustión	12
Figura 2. 7 Efecto de la presión atmosférica en la potencia del motor MEP	21
Figura 2. 8 Variación de la presión atmosférica con la altura sobre el nivel del mar	23
Figura 2. 9 Variación del oxígeno con la altitud	24
Figura 2. 10 Composición molecular del diésel	24
Figura 2. 11 Catalizador de oxidación diésel	34
Figura 2. 12 Filtro de partículas diésel	35
Figura 2. 13 Sistema de reducción catalítica selectiva	38
Figura 3. 1 Altímetro multifunción	46
Figura 3. 2 Analizador de gases Brain Bee AGS-688	47
Figura 3. 3 Sensor NO _x -0100	47
Figura 3. 4 Sonda SGD-010	48
Figura 3. 5 Proceso de medición de gases de escape	49
Figura 3. 6 Captador de revoluciones del motor	49
Figura 3. 7 Instalación de la sonda SGD-010 en el tubo de escape	50
Figura 3. 8 Limpieza de la sonda con aire	50
Figura 3. 9 Localidad de Lita-Imbabura	51
Figura 3. 10 Localidad de Ambuquí-Imbabura	52
Figura 3. 11 Localidad de Ibarra-Imbabura	52
Figura 3. 12 Localidad de Tulcán-Carchi	53
Figura 3. 13 Preparación del biodiésel B5	57
Figura 3. 14 Depósito externo para la utilización de biodiésel en el motor	58
Figura 3. 15 Sustitución del filtro de combustible	58
Figura 4. 1 Variación de la temperatura y presión con la altura	65
Figura 4. 2 Variación de la temperatura y presión con la altura	67
Figura 4. 3 Emisiones de monóxido de carbono (CO) vs altura a 750 rpm	70
Figura 4. 4 Emisiones de monóxido de carbono (CO) vs altura a 1500 rpm	71
Figura 4. 5 Emisiones de monóxido de carbono (CO) vs altura a 2500 rpm	72
Figura 4. 6 Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) vs altura a 750 rpm	73
Figura 4. 7 Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) vs altura a 1500 rpm	74
Figura 4. 8 Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) vs altura a 2500 rpm	76
Figura 4. 9 Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO _x) vs altura a 750 rpm	77
Figura 4. 10 Emisiones de óxido de nitrógeno (NO _x) vs altura a 1500 rpm	78
Figura 4. 11 Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO _x) vs altura a 2500 rpm	79
Figura 4. 12 Comportamiento del monóxido de carbono a 617 msnm	81
Figura 4. 13 Comportamiento del monóxido de carbono a 1677 msnm	81
Figura 4. 14 Comportamiento del monóxido de carbono a 2207 msnm	82
Figura 4. 15 Comportamiento del monóxido de carbono a 2953 msnm	82
Figura 4. 16 Comportamiento del dióxido de carbono a 617 msnm	83
Figura 4. 17 Comportamiento del dióxido de carbono a 1677 msnm	84

Figura 4. 18 Comportamiento del dióxido de carbono a 2207 msnm	84
Figura 4. 19 Comportamiento del dióxido de carbono a 2953 msnm	85
Figura 4. 20 Comportamiento de los óxidos de nitrógeno a 617 msnm	86
Figura 4. 21 Comportamiento de los óxidos de nitrógeno a 1677 msnm	86
Figura 4. 22 Comportamiento de los óxidos de nitrógeno a 2207 msnm	87
Figura 4. 23 Comportamiento de los óxidos de nitrógeno a 2953 msnm	87

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PAG.
Tabla 2. 1 Requisitos del diésel N° 1	27
Tabla 2. 2 Requisitos del diésel N° 2	28
Tabla 2. 3 Requisitos del diésel Premium	29
Tabla 3. 1 Características del diésel Europeo	41
Tabla 3. 2 Características del diésel Premium	43
Tabla 3. 3 Especificaciones del vehículo	46
Tabla 3. 4 Datos de emisiones de CO, CO ₂ y NO _x diésel fósil a 617 msnm	54
Tabla 3. 5 Datos de emisiones de CO, CO ₂ y NO _x diésel fósil a 1677 msnm	55
Tabla 3. 6 Datos de emisiones de CO, CO ₂ y NO _x diésel fósil a 2207 msnm	56
Tabla 3. 7 Datos de emisiones de CO, CO ₂ y NO _x diésel fósil a 2953 msnm	57
Tabla 3. 8 Datos de emisiones de CO, CO ₂ y NO _x biodiésel a 617 msnm	60
Tabla 3. 9 Datos de emisiones de CO, CO ₂ y NO _x biodiésel a 1677 msnm	60
Tabla 3. 10 Datos de emisiones de CO, CO ₂ y NO _x biodiésel a 1677 msnm (continuación)	61
Tabla 3. 11 Datos de emisiones de CO, CO ₂ y NO _x biodiésel a 2207 msnm	61
Tabla 3. 12 Datos de emisiones de CO, CO ₂ y NO _x biodiésel a 2207 msnm (continuación)	62
Tabla 3. 13 Datos de emisiones de CO, CO ₂ y NO _x biodiésel a 2953 msnm	62
Tabla 4. 1 Comparación del punto de inflamación	64
Tabla 4. 2 Comparación del índice de cetano	64
Tabla 4. 3 Comparación del contenido de azufre	65
Tabla 4. 4 Promedio de monóxido de carbono (CO) del diésel fósil según altitud	66
Tabla 4. 5 Promedio de dióxido de carbono (CO ₂) del diésel fósil según altitud	66
Tabla 4. 6 Promedio de óxidos de nitrógeno (NO _x) del diésel fósil según altitud	67
Tabla 4. 7 Promedio de monóxido de carbono (CO) del biodiésel B5 según altitud	68
Tabla 4. 8 Promedio de dióxido de carbono (CO ₂) del biodiésel B5 según altitud	68
Tabla 4. 9 Promedio de óxidos de nitrógeno (NO _x) del biodiésel B5 según altitud	69
Tabla 4. 10 Comparación del CO diésel fósil vs biodiésel B5 a 750 rpm	70
Tabla 4. 11 Comparación del CO diésel fósil vs biodiésel B5 a 1500 rpm	71
Tabla 4. 12 Comparación del CO diésel fósil vs biodiésel B5 a 2500 rpm	72
Tabla 4. 13 Comparación del CO ₂ diésel fósil vs biodiésel B5 a 750 rpm	73
Tabla 4. 14 Comparación del CO ₂ diésel fósil vs biodiésel B5 a 1500 rpm	74
Tabla 4. 15 Comparación del CO ₂ diésel fósil vs biodiésel B5 a 2500 rpm	75
Tabla 4. 16 Comparación de NO _x diésel fósil vs biodiésel B5 a 750 rpm	76
Tabla 4. 17 Comparación de NO _x diésel fósil vs biodiésel B5 a 1500 rpm	77
Tabla 4. 18 Comparación de NO _x diésel fósil vs biodiésel B5 a 2500 rpm	79
Tabla 4. 19 Límites máximos permisibles de gases de escape de automotores diésel	80
Tabla 4. 20 Comparativa de emisiones de CO con norma mexicana	80
Tabla 4. 21 Comparativa de emisiones de CO ₂ con norma mexicana	83
Tabla 4. 22 Comparativa de emisiones de NO _x con norma mexicana	85
Tabla 4. 23 Emisiones de CO, CO ₂ y NO _x frente a la norma mexicana	88

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PAG.
A I. 1 Sonda SGD-010, sensor NO _x y filtro de partículas	96
A I. 2 Analizador de gases AGS-688	96
A II. 1 Altura y temperatura en la localidad de Lita	97
A II. 2 Altura y temperatura en la localidad de Ambuquí	97
A II. 3 Altura y temperatura en la localidad de Ibarra	98
A II. 4 Altura y temperatura en la localidad de Tulcán	98
A II. 5 Presión atmosférica y temperatura en la localidad de Lita	99
A II. 6 Presión atmosférica y temperatura en la localidad de Ambuquí	99
A II. 7 Presión atmosférica y temperatura en la localidad de Ibarra	100
A II. 8 Presión atmosférica y temperatura en la localidad de Tulcán	100
A III. 1 Preparación de la mezcla biodiésel B5	101
A III. 2 Preparación de los equipos y vehículo de prueba	101
A III. 3 Obtención de datos de emisiones	102
A IV. 1 Emisiones con diésel fósil localidad de Lita	102
A IV. 2 Emisiones con diésel fósil localidad de Ambuquí	103
A IV. 3 Emisiones con diésel fósil localidad de Ibarra	103
A IV. 4 Emisiones con diésel fósil localidad de Tulcán	104
A IV. 5 Emisiones con biodiésel B5 localidad de Lita	104
A IV. 6 Emisiones con biodiésel B5 localidad de Ambuquí	105
A IV. 7 Emisiones con biodiésel B5 localidad de Ibarra	105
A IV. 8 Emisiones con biodiésel B5 localidad de Tulcán	106

RESUMEN

En esta investigación se presentó los parámetros del combustible diésel según los requisitos de la norma Euro 3 frente al diésel Premium que se comercializa en el Ecuador. Así se conoció que el diésel nacional necesita reducir un 40 % el contenido de azufre para cumplir con lo especificado por la norma. También se realizó pruebas de emisiones de gases de escape a diferente altitud, con la finalidad de conocer cómo afecta la altura sobre el nivel del mar en la formación de las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en un motor diésel common rail. Los combustibles utilizados en las pruebas fueron diésel Premium y biodiésel B5 de higuera, la adquisición de datos de las emisiones se obtuvieron en las alturas de 617, 1677, 2207 y 2953 msnm. En cada altura se realizaron pruebas estacionarias, al final se obtuvo una reducción de emisiones con la utilización del biodiésel B5 frente al diésel fósil con el motor a ralentí (750 rpm) del 21,79 % de CO mientras que el CO₂ obtuvo 5,28 % y 8,30 % perteneciente a los NO_x. En cambio a media carga (1500 rpm), la disminución fue 16,03 % para CO, el CO₂ logró 4,55 % y 12,00 % correspondiente a los NO_x. Por otra parte a plena carga (2500 rpm) los porcentajes de disminución fueron 6,99 %, 1,61 % y 11,31 % respectivamente para CO, CO₂ y NO_x. Además los resultados obtenidos de las emisiones en cada altura fueron comparados con la normativa de control de emisiones mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017 en el método de prueba estático en donde se logró una reducción de CO para diésel fósil de 89,81 % y 90,94 % correspondiente al biodiésel B5. De igual manera las emisiones de CO₂ alcanzaron una disminución de 55,99 % y 57,70 % para diésel y biodiésel respectivamente. Por otra parte los NO_x obtuvieron un descenso de 83,80 % para diésel fósil y 85,33 % en el biodiésel de este modo, los dos combustibles cumplieron con lo establecido según la norma internacional de forma satisfactoria.

ABSTRACT

In this research the diesel fuel parameters were presented in accordance with the requirements of the Euro 3 regulation compared to the Premium diesel that is commercialized in Ecuador. Therefore, it was learned that the national diesel needs to reduce the sulfur content by 40% to fulfill with what is specified by the standard. Exhaust gas emissions tests were also carried out at different altitudes, in order to know how the height above the sea level affects the formation of carbon monoxide emissions (CO), carbon dioxide (CO₂) and oxides of nitrogen (NO_x) in a common rail diesel engine. The fuels used in the tests were Premium diesel and biodiesel B5 castor, the emissions data acquisition were obtained at the heights of 617, 1677, 2207 and 2953 msnm. At each height, stationary tests were carried out, in the end a reduction of emissions was obtained with the use of biodiesel B5 against fossil diesel with the engine at idle (750 rpm) of 21.79 % of CO while the CO₂ obtained 5.28 % and 8.30 % belonging to NO_x. In contrast to half load (1500 rpm), the decrease was 19.20% for CO. CO₂ achieved 5.28% and 8.30% corresponding to NO_x. On the other hand at full load (2500 rpm) the percentages of decrease were 6.99%, 1.61% and 11.31% respectively for CO, CO₂ and NO_x. In addition, the results obtained from the emissions at each height were compared with a Mexican emission control regulation NOM-167-SEMARNAT-2017 in the static test method where a reduction of CO for fossil diesel of 89.81% was achieved and 90.94% corresponding to biodiesel B5. Similarly, CO₂ emissions decreased by 55.99% and 57.70% for diesel and biodiesel, respectively. On the other hand, the NO_x obtained a decrease of 83.80% for fossil diesel and 85.33% for biodiesel, in this way the two fuels fulfilled with the international standard satisfactorily.

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental producida por la creciente demanda de automotores, es uno de los principales problemas por los que atraviesa la humanidad, debido a que los motores de combustión interna funcionan a base de combustibles derivados de petróleo favoreciendo a la producción de gases peligrosos para la salud.

Los motores diésel están fabricados para aprovechar de manera óptima el combustible a nivel del mar, en estas condiciones los automotores emiten bajos niveles de gases contaminantes. Mientras que a mayores alturas sobre el nivel del mar, la cantidad de aire se reduce conforme la altura crece, haciendo que la combustión se vuelva ineficiente produciendo mayores concentraciones de gases de escape hacia el ambiente.

En esta investigación se presenta las propiedades del diésel que se comercializa a nivel nacional frente al gasóleo que se requiere para cumplir la norma euro 3. Además se realiza pruebas de emisiones estáticas de monóxido de carbono CO, dióxido de carbono CO₂ y óxidos de nitrógeno NO_x con el motor a ralentí (750 rpm), carga media (1500 rpm) y plena carga (2500 rpm) en las alturas de 617,1677, 2207 y 2953 msnm con el fin de conocer el efecto que tiene la altitud en la formación de gases de escape en un motor diésel common rail.

También se presenta una comparativa de las emisiones de CO, CO₂ y NO_x utilizando diésel fósil y biodiésel B5 por ser un combustible alternativo amigable con el medio ambiente. Así mismo se realiza una comparación de las emisiones producidas por los dos combustibles con la normativa anticontaminación mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, con la finalidad de observar el comportamiento de los gases de escape frente a los requisitos de emisión establecidos por la norma.

CAPÍTULO 1

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La contaminación ambiental es la principal preocupación que presenta la humanidad por los efectos irreversibles que afectan el equilibrio del planeta. El incremento de la concentración mundial del dióxido de carbono (CO₂) principalmente se debe por la utilización de combustibles de origen fósil (Baca, 2011).

La utilización de combustibles fósiles, han contribuido al aumento de las emisiones de CO₂ en la atmósfera. Este gas es el principal responsable del efecto invernadero que se ha convertido en una amenaza ambiental global.

En todo el mundo, las emisiones de CO₂ son actualmente de unos 35.000 millones de toneladas métricas al año (Reşitoğlu & Altinişik, 2015, pág. 123). El transporte es una de las fuentes de contaminación, las emisiones producidas por los automotores aumentan de forma considerable los niveles de gases causantes del cambio climático.

Según estudios de la Organización Mundial de la Salud indican que cerca de 1, 3 millones de personas en todo el planeta mueren cada año prematuramente debido al gran incremento de la contaminación atmosférica en zonas urbanas y rurales (Diario Motor, 2012).

En el Ecuador el aumento en la demanda de automotores públicos y privados es un factor principal de la contaminación, debido a que algunos vehículos se encuentran en malas condiciones mecánicas.

Las razones pueden ser diversas como: falta de mantenimiento, falta de tecnologías para controlar las emisiones, utilización de combustibles de mala calidad que como resultado aumenta la cantidad de gases tóxicos por el tubo de escape hacia la atmósfera. El país posee

un parque automotor de más de 2'200,000 vehículos, pero es importante conocer que de estos 218,000 se consideran con más de 35 años (El Telégrafo, 2015).

La edad de los vehículos influye directamente en la generación de contaminación, debido a que no disponen con la tecnología adecuada para el tratamiento de los gases de escape. También es importante mencionar que el combustible debe ser de buena calidad, en caso de utilizar uno de baja calidad, el sistema de tratamiento de gases no funcionará correctamente y sufrirá envejecimiento prematuro.

En algunas ciudades donde el tráfico es abundante, existe la posibilidad de observar una niebla compuesta de contaminantes visibles e invisibles que permanecen flotando por encima de la zona urbana que contribuyen cada día al problema del calentamiento global.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento del parque automotor de vehículos diésel es una de las causas principales que ocasiona problemas de salud en las personas y perjudica considerablemente el medio ambiente por el gran número de gases nocivos que se producen en la combustión.

Uno de los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo según el numeral 5.7 es garantizar el suministro energético con calidad, oportunidad, continuidad y seguridad, con una matriz energética diversificada, eficiente, sostenible y soberana como eje de la transformación productiva y social.

En el Ecuador gran parte del parque automotor está compuesto por vehículos livianos y pesados con motor a diésel que circulan en las regiones y ciudades del país. Los vehículos son responsables de la contaminación ambiental, debido a que funcionan a base de combustibles derivados del petróleo.

Las normas INEN 2207 para vehículos equipados con motor a diésel regulan el límite de gases residuales en el Ecuador. Estas normas miden los límites de emisiones de NOx, HC, CO, Partículas y Opacidad que un motor a diésel puede emitir. El cumplimiento de estas

normas permite reducir una cierta cantidad los residuos de la combustión, favoreciendo al medio ambiente y a la humanidad.

Los motores diésel están diseñados para operar de manera óptima al nivel del mar donde los gases residuales son mínimos. Un estudio indicó que los contaminantes, incluidas las emisiones de CO, hidrocarburos, partículas de un motor diésel operado a 6000 pies, eran 2 y 4 veces mayores que los medidos al nivel del mar (Shaohua & Lizhong, 2014, pág. 245).

El incremento de emisiones de escape en los automotores que funcionan en diferente altitud se debe a que en mayores alturas la presión atmosférica disminuye y como consecuencia también la cantidad de oxígeno, de esta manera la relación aire y combustible es distinta haciendo que la combustión no se realice en las condiciones necesarias para oxidar todo el combustible, por esta razón es importante conocer como varía la generación de las emisiones de escape en diferentes alturas sobre el nivel del mar.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo afecta la altura sobre el nivel del mar en la formación de gases de escape en motores diésel Euro 3?

1.4 DELIMITACIÓN

1.4.1 TEMPORAL

El proyecto se llevará a cabo desde el mes de Marzo 2017 hasta el mes de Septiembre del 2018.

1.4.2 ESPACIAL

La adquisición de datos se realizará en cuatro localidades: Lita-Imbabura (617 msnm), Ambuquí-Imbabura (1677 msnm), Ibarra-Imbabura (2207 msnm) y Tulcán-Carchi (2953 msnm).

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar las emisiones de gases de escape en motores diésel con normativa Euro 3 a diferentes alturas sobre el nivel del mar.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los parámetros de control en las emisiones de motores diésel según la normativa Euro 3.
- Medir las emisiones de CO, CO₂ y NO_x en alturas de 617, 1677, 2207 y 2953 msnm.
- Determinar la influencia de la altitud en la formación de gases residuales en el escape del motor.

1.6 JUSTIFICACIÓN

En Ecuador el rápido incremento del parque automotor es una de las causas principales del aumento en las emisiones causantes de la contaminación a la naturaleza ocasionando efectos irreversibles. Uno de los factores es la calidad del combustible que influye en gran parte en la generación de gases de escape; en caso de utilizar combustibles de baja calidad con alto contenido de azufre, deteriora prematuramente los motores haciendo que se produzcan mayores emisiones, perjudicando la salud de las personas y al medio ambiente.

En esta investigación se presenta las características del combustible diésel utilizado en motores Euro 3 frente al combustible convencional (Premium) que se comercializa a nivel nacional. Además se busca conocer la variación de las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en alturas sobre el nivel del mar mediante el uso de diésel fósil y biodiésel B5 que consiste en 95% de diésel fósil y 5% de aceite de higuera.

En el país existen poblaciones ubicadas a grandes alturas sobre el nivel del mar que utilizan los vehículos diésel para el transporte de carga y pasajeros. En estas condiciones la presión atmosférica y la densidad del aire pueden afectar el proceso de combustión, por lo que el rendimiento de potencia, el consumo de combustible y las características de emisión serán distintas cuando el motor se opere a diferentes altitudes (Ji-Lin & Ze-fei, 2010, pág. 2).

Investigaciones anteriores sugieren que el contenido de oxígeno en el aire de admisión del motor disminuye en aproximadamente un 10% a medida que el nivel de altitud aumenta en un kilómetro (Shaohua & Lizhong, 2014, pág. 245). Por esta razón es importante investigar las variaciones de emisiones con relación a la altitud donde el motor diésel se encuentre operando, con el fin de evidenciar los niveles de contaminación que se generan a grandes alturas.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA II

2. MOTOR DIÉSEL

El motor diésel fue inventado y patentado por Rudolf Diesel en 1885. Diesel fue un ingeniero alemán que presentó el primer motor en la feria internacional en 1900 en París, el motor fue conocido en ese entonces porque era capaz de funcionar a base de biocombustibles extraídos del aceite de coco y de palma (Reibán Heredia & Ramíerz Velásquez, 2014, pág. 2).

El motor diésel es un tipo de máquina de combustión interna compuesta principalmente por un cilindro fijo y un pistón. El pistón es el elemento móvil con movimiento alternativo que al deslizarse en el interior del cilindro crea depresión, llenando el cilindro con aire ambiente. Luego es comprimido, producto de este fenómeno se eleva la presión y temperatura para inflamar el combustible.



Figura 2. 1 El motor diésel
(Guaita Barahona & Sarango Tene, 2013, pág. 4)

Por diferentes sistemas se introduce combustible pulverizado y altamente comprimido en el interior de la cámara de combustión, cuando el pistón se ha trasladado del punto muerto inferior al punto muerto superior, el aire contenido en la cámara entra en contacto con el combustible haciendo que se inflame inmediatamente.

La fuerte ignición de la mezcla aumenta la fuerza de expansión de los gases, moviendo al pistón desde el punto muerto superior al punto muerto inferior. La energía producida por la combustión es transformada por medio de diferentes mecanismos en energía mecánica para producir trabajo. El movimiento lineal alternativo del pistón es transformado por un mecanismo de biela manivela en un movimiento circular o giratorio hacia el cigüeñal (Guzmán Antamba & Peralvo Clavón, 2011, pág. 6).

2.1 CICLOS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DIÉSEL DE 4 TIEMPOS

El motor diésel genera trabajo mecánico mediante la energía liberada del combustible por medio del fenómeno de la combustión. Para ello, el motor de cuatro tiempos debe realizar cuatro fases, donde se toma aire fresco del ambiente (fase 1) y se comprime en la cámara de combustión (fase 2). El combustible se inyecta en el punto próximo al final de la fase de compresión, en estas condiciones el cilindro contiene aire altamente comprimido y a elevada temperatura, haciendo que la fuerte expansión de los gases en la cámara de combustión muevan al pistón (fase 3). Luego los gases producidos por la combustión son expulsados hacia la atmósfera (fase 4) finalizando el ciclo completo (Fiebig & Wiartalla, 2014, pág. 2).

El motor de cuatro tiempos se caracteriza principalmente porque el pistón necesita desarrollar cuatro fases o carreras para completar el ciclo. Es decir por cada carrera del pistón, el cigüeñal gira 180° grados, completar el ciclo completo significa que el cigüeñal debe realizar un giro circular de 720° grados.

2.1.1 FASE DE ADMISIÓN

En esta fase la válvula de admisión se abre, mientras que la válvula de escape permanece cerrada permitiendo el ingreso del aire hacia el cilindro. El aire ingresa cuando el pistón efectúa un movimiento descendente, desde el punto muerto superior al punto muerto inferior facilitando el ingreso del aire en el cilindro.

Al efectuar el pistón el movimiento descendente, la válvula de admisión permanece totalmente abierta con el fin de llenar la mayor cantidad de aire en el cilindro. Durante esta fase o carrera, el cigüeñal gira 180° grados y el árbol de levas 90°, al llegar el pistón al punto más bajo o punto muerto inferior la válvula de admisión se cierra y el aire queda contenido en el cilindro (Guaita Barahona & Sarango Tene, 2013, pág. 6).

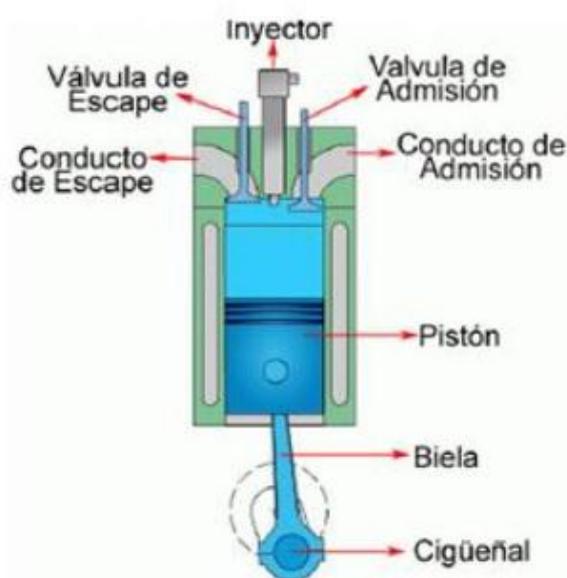


Figura 2. 2 Fase de admisión
(Paredes Quistial & Ichau Pupiales, 2013, pág. 22)

2.1.2 FASE DE COMPRESIÓN

En esta fase al encontrarse el pistón en el punto muerto inferior después de haber finalizado la fase de admisión, la válvula de admisión se cierra inmediatamente mientras que la válvula de escape continua cerrada, haciendo al conjunto pistón cilindro totalmente hermético.

La fase de compresión inicia cuando el pistón se desplaza desde el punto muerto inferior al punto muerto superior con movimiento ascendente comprimiendo el aire contenido en el cilindro a alta presión.

La presión del aire generada en el cilindro puede ser, según las características del motor entre 14 o 22 veces el volumen de la cámara de combustión. En esta fase la muñequilla del

cigüeñal ha girado 360° grados y el árbol de levas 180° , la temperatura alcanzada en la cámara de combustión por la alta presión del aire se encuentra entre 600° a 650° grados Celsius (Guaita Barahona & Sarango Tene, 2013, pág. 6).

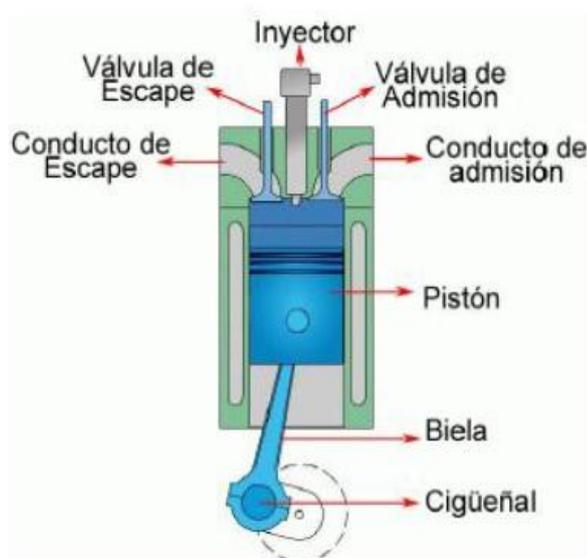


Figura 2. 3 Fase de compresión
(Paredes Quistial & Ichau Pupiales, 2013, pág. 23)

2.1.3 FASE DE IGNICIÓN

La fase de ignición inicia después de finalizar la fase de compresión, las válvulas se encuentran cerradas y el pistón se localiza en el punto muerto superior, la presión final alcanzada y la temperatura del aire son muy elevadas. Un mecanismo externo inyecta el combustible en el interior del cilindro, previamente presurizado a presiones muy elevadas que pueden ser entre 150 y 300 atmósferas (Guaita Barahona & Sarango Tene, 2013, pág. 7).

Al entrar en contacto con el aire a alta temperatura, inflama el combustible de forma inmediata aumentando aún más la temperatura, mientras que la presión permanece constante, al finalizar la fase, el pistón se desplaza hacia el punto muerto inferior. Esta carrera es la única que genera trabajo, ahora el cigüeñal ha girado 540° grados mientras que el árbol de levas completa 270° (Guaita Barahona & Sarango Tene, 2013, pág. 7).

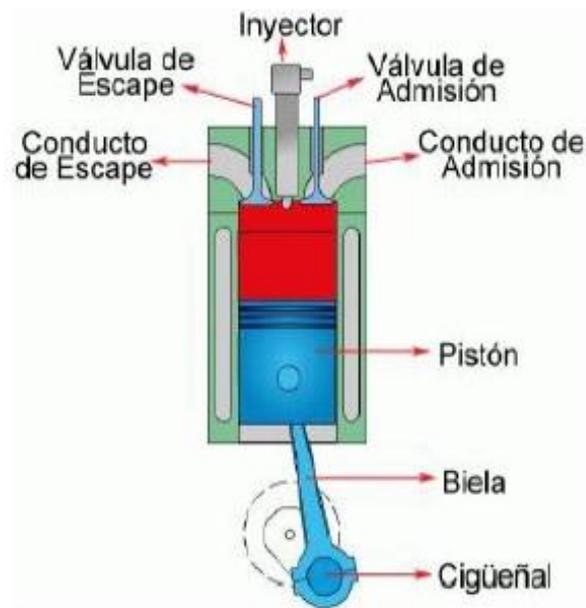


Figura 2. 4 Fase de ignición
(Paredes Quistial & Ichau Pupiales, 2013, pág. 23)

2.1.4 FASE DE ESCAPE

Al encontrarse el pistón en el punto muerto inferior, la válvula de escape se abre mientras que la válvula de admisión continúa cerrada, el pistón se desplaza con movimiento ascendente expulsando los gases residuales producto de la combustión hacia la atmósfera, al mismo tiempo la presión y la temperatura disminuyen rápidamente.

Cuando el pistón llega al punto más alto o punto muerto superior, el ciclo de cuatro tiempos finaliza donde el cigüeñal ha completado un giro de 720° grados y el árbol de levas 360° grados de giro completando el ciclo (Guaita Barahona & Sarango Tene, 2013, pág. 7).

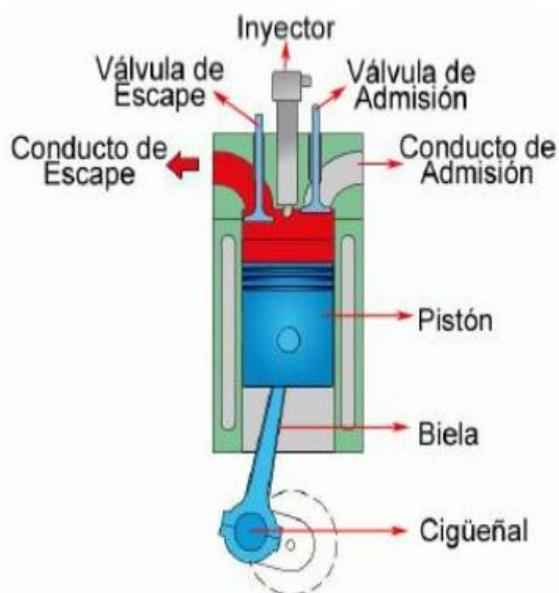


Figura 2. 5 Fase de escape
(Paredes Quistial & Ichau Pupiales, 2013, pág. 24)

3. GASES PRODUCIDOS EN LA COMBUSTIÓN

Se considera que en un proceso de combustión todo el carbono contenido en el combustible se convierte en dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O). La reacción química de la combustión sucede cuando el combustible se oxida liberando toda la energía.

El combustible debe ofrecer la mínima resistencia a encenderse para aprovechar toda la energía contenida. En los motores de gasóleo el fenómeno de la combustión se lleva a cabo cuando el cilindro ha alcanzado una alta presión de aire y la adecuada inyección del diésel.

El elemento que se requiere para producir el fenómeno de la oxidación es el oxígeno que se encuentra en el aire atmosférico (Reibán Heredia & Ramíerz Velásquez, 2014, pág. 24). En el proceso de combustión se libera diversos contaminantes, sobre todo cuando la combustión es incompleta, los contaminantes más comunes suelen ser HC, CO, PM, entre otros.

La generación de estos gases en altas concentraciones debido a la gran cantidad de automotores que se encuentran en todo el mundo, ocasiona problemas al medio ambiente y a la salud de las personas.



Figura 2. 6 Combustión
(Reibán Heredia & Ramíerz Velásquez, 2014, pág. 24)

La generación de contaminantes se atribuye generalmente a la falta de oxígeno, debido a que el combustible no se mezcla completamente en la cámara de combustión, generando residuos no deseados. Existen por lo general dos tipos de gases que se producen en el proceso de combustión estos son: los gases no contaminantes y los gases contaminantes.

3.1 GASES NO CONTAMINANTES

En el proceso de combustión del motor se producen una serie de gases que se consideran no contaminantes estos son: dióxido de carbono CO_2 , nitrógeno N_2 , oxígeno O_2 , agua H_2O debido a que en bajas concentraciones no ocasionan efectos perjudiciales en la salud de las personas, seres vivos y al ambiente.

Por otra parte el CO_2 es el único gas que en altas concentraciones producidas por fuentes artificiales provocan el calentamiento global.

A nivel mundial las agencias de protección del medio ambiente han considerado controlar al dióxido de carbono procedente de industrias y máquinas de combustión interna principalmente del sector automotriz.

3.1.1 DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

Es un gas denominado también como anhídrido carbónico compuesto por átomos de oxígeno y carbono, este gas se libera mediante procesos naturales en los seres vivos y fenómenos del planeta. El CO₂ se vuelve dañino cuando se produce por medio de fuentes artificiales, creadas por el hombre.

Las concentraciones de CO₂ aumentan en gran medida afectando el equilibrio del planeta, produciéndose el denominado efecto invernadero. En la atmósfera el CO₂ se puede encontrar en niveles muy bajos de aproximadamente 0.035 %, en exposiciones de corto plazo de CO₂, no produce efectos nocivos (Jarrín, 2015, pág. 9).

3.1.2 NITRÓGENO (N₂)

Es uno de los gases principales que componen el aire atmosférico, el nitrógeno es insípido, incoloro y no tiene olor. Al estar presente en el aire, durante la fase de admisión, el motor absorbe aire del exterior llenando el cilindro por completo. Después al efectuarse el proceso de combustión de la mezcla aire y combustible, la mayor parte de nitrógeno sale por el escape del motor. Sin embargo pequeñas cantidades reaccionan con el oxígeno dando lugar a los óxidos de nitrógeno (Paredes Quistial & Ichau Pupiales, 2013, pág. 16).

3.1.3 OXÍGENO (O₂)

Es uno de los gases de vital importancia para el ciclo de vida de los seres vivos, aunque en estado puro puede ser perjudicial para la salud, al igual que todos los gases que se encuentran en el planeta. El oxígeno es un elemento muy importante en el proceso de combustión de combustibles, forma parte del aire en un 21% del total. Cuando la mezcla aire y combustible es perfecta, el oxígeno permite la combustión total pero cuando la combustión es incompleta o deficiente, el exceso de oxígeno es expulsado por el escape (Paredes Quistial & Ichau Pupiales, 2013, pág. 16).

3.1.4 AGUA (H₂O)

Está presente en la humedad del aire y en los combustibles líquidos debido a la presencia de hidrógeno. Durante el proceso de combustión, el oxígeno reacciona con el hidrógeno formando H₂O. Dependiendo de la temperatura generada en la cámara de combustión, el agua aparece en el tubo de escape del motor en forma de vapor o humo blanco, aunque algunas veces el vapor se condensa formando gotas (Paredes Quistial & Ichau Pupiales, 2013, pág. 16).

3.2 GASES CONTAMINANTES DEL MEDIO AMBIENTE

En la combustión de combustibles fósiles en motores de combustión interna se producen gases perjudiciales para el medio ambiente y los seres vivos, estos son: monóxido de carbono CO, hidrocarburos HC, óxidos de nitrógeno NO_x, dióxido de azufre SO₂ y material particulado PM. Estos contaminantes en cualquier proporción pueden causar envenenamiento a los seres vivos de debido a que son altamente tóxicos. Además en el medio ambiente ocasionan contaminación del agua, suelo, aire, plantas y a todos los seres vivos que los habitan.

3.2.1 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

El monóxido de carbono (CO) se produce durante la combustión incompleta, es decir el proceso de oxidación no se realiza por completo, este fenómeno está vinculado con la relación aire/combustible. El aumento de CO se produce generalmente en el momento del arranque y en las aceleraciones instantáneas debido a que el carbono del combustible no se puede convertir en dióxido de carbono (CO₂) originando altas concentraciones de CO.

A pesar de que los motores diésel funcionan con mezclas pobres, el CO se produce en la inyección de combustible durante el instante de la pulverización formando gotas demasiado grandes o cuando la turbulencia en la cámara de combustión es insuficiente.

El monóxido de carbono (CO) es un gas tóxico que puede provocar la muerte en los seres vivos, en concentraciones bajas de $(50 \times 10)^{-6}$ gramos provoca una disminución visual aumentando el riesgo de posibles accidentes a los individuos que están expuestos (Masaquiza Yanzapanta & Vizuite Palacios, 2012, pág. 17).

3.2.2 HIDROCARBUROS (HC)

Los hidrocarburos (HC) se originan cuando la temperatura de la combustión en el cilindro del motor es insuficiente generando combustibles parcialmente quemados. Los motores diésel pueden emitir bajos niveles de hidrocarburos debido a que funcionan con mezclas pobres.

Aunque a pesar de esta característica, estos se producen cuando la velocidad de inflamación del combustible es demasiado baja, volviéndose incompleta. Los HC pueden estar presentes en las emisiones de motores a gasolina y diésel, son tóxicos y capaces de provocar irritación en los ojos, en la piel y en los pulmones (Fidalgo, 2017).

3.2.3 ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NOX)

Los óxidos de nitrógeno están compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), se forman por la combustión en motores que se encuentran a altas temperaturas. Los NO_x que salen por el sistema de escape del motor se combinan con el oxígeno del ambiente y mediante la interacción con la luz solar reaccionan formando dióxido de nitrógeno (NO₂) que es más peligroso y contaminante.

Las concentraciones elevadas de NO_x contribuyen a la formación de ozono, fenómeno que se puede apreciar en las grandes ciudades donde una capa rojiza y de color marrón cubre las ciudades. Los óxidos de nitrógeno (NO_x) del transporte contribuyen del 40 al 70% de la contaminación a nivel mundial, la combustión diésel en motores de gasóleo es considerada como el principal contribuyente de las emisiones de NO_x y son causantes de la formación de smog, lluvia ácida y ozono troposférico (Azam & Shoukat, 2016, pág. 3).

3.2.4 DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

El dióxido de azufre (SO₂) es un gas que se genera en la combustión de combustibles con altos niveles de azufre puesto que al producirse la reacción con el oxígeno, el azufre se transforma en dióxido de azufre. El (SO₂) en el escape del motor continúa oxidándose en pequeñas cantidades antes de salir a la atmosfera para formar trióxido de azufre (SO₃). El (SO₃) tiene la capacidad de reaccionar fácilmente con el agua o humedad del ambiente para formar ácido sulfúrico (Guzmán Antamba & Peralvo Clavón, 2011, pág. 28).

3.2.5 MATERIAL PARTICULADO (PM)

El material particulado (PM) se produce en el proceso de combustión y se forma por la aglomeración de partículas muy finas de combustible no quemado, aceite lubricante parcialmente quemado, cenizas de diésel. El proceso de formación de partículas depende de muchos factores, estos pueden estar relacionados con la calidad de la combustión, combustible, aceite lubricante, temperatura de la combustión y el enfriamiento de los gases de escape.

Las partículas forman parte de la contaminación atmosférica y su tamaño determina el efecto que producen, estas pueden depositarse en el suelo o flotar en el aire. Las partículas que flotan son aquellas de tamaño muy reducido y extremadamente de peso ligero mientras que las de mayor tamaño se depositan en el suelo.

El material particulado (PM) es un problema de contaminación debido a que las partículas pueden permanecer flotando durante mucho tiempo y las corrientes de viento permiten que tengan la capacidad de trasladarse fácilmente de un lugar a otro viajado por distintos territorios.

Los motores de gasóleo generan este tipo de contaminante cuando la pulverización no es la adecuada haciendo que se formen partículas de varios tamaños. Las partículas se clasifican de acuerdo al tamaño en PM₁₀ y PM_{2.5} (Guzmán Antamba & Peralvo Clavón, 2011, pág. 30).

3.2.5.1 Partículas PM 10

Estas partículas tienen la capacidad de ingresar al sistema respiratorio de los seres vivos y ocasionar problemas pulmonares afectando la salud gravemente. Las partículas de diámetros de $10\mu\text{m}$, se caracterizan por que se generan mediante máquinas que usan diésel como fuente de energía. También se producen por medio de procesos industriales, restos de neumáticos y frenos (Fontaneda, 2016, pág. 20).

3.2.5.2 Partículas PM 2.5

La principal fuente de producción de este tipo de partículas es el tráfico urbano de modo que las personas están expuestas y su salud se ve afectada considerablemente, principalmente por problemas respiratorios.

Las partículas al tener dimensiones reducidas poseen la capacidad de permanecer suspendidas en el aire y ser fácilmente respiradas, penetrando en los pulmones y depositándose en el torrente sanguíneo, estas partículas tienen un diámetro de $2,5\mu\text{m}$ y la toxicidad que causan es mayor que las PM_{10} (Fontaneda, 2016, pág. 21).

4. ESTÁNDARES DE EMISIONES DE GASES DE ESCAPE INTERNACIONALES

Las emisiones de gases producidas por el transporte es una de las principales preocupaciones que atraviesa la humanidad debido a los efectos irreversibles que se producen sobre el planeta.

Por esta razón varias organizaciones de protección ambiental han desarrollado normas aplicables a automotores de combustión interna con la finalidad de limitar las emisiones de gases de escape que emiten los motores a diésel y gasolina. La preocupación se debe a que en todo el mundo el incremento de vehículos cada vez va en aumento.

4.1 ESTÁNDARES EURO PARA MOTORES DIÉSEL

Las normas Euro se crearon en la Unión Europea en el año 1987 debido a la preocupación sobre el medio ambiente con el propósito de limitar las emisiones de los vehículos con motor a gasolina o diésel. En esa época se idearon y aprobaron como una medida necesaria para controlar las emisiones de los vehículos a motor, obligando a los fabricantes a desarrollar mejores tecnologías en los motores para reducir los contaminantes peligrosos para la salud y medio ambiente. Las normas europeas combaten cuatro contaminantes principales en las emisiones de los vehículos diésel: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC) y material particulado de menos de 10 micrones (PM₁₀) (Land Transport Guru, 2014).

Desde que fueron introducidas las normas de control de contaminantes han permitido reducir progresivamente la cantidad de emisiones altamente peligrosas emitidas hacia la atmósfera mejorando la calidad del aire y la salud de las personas. En los últimos 15 años, los límites para los óxidos de nitrógeno (NO_x) en los motores diésel se han reducido en un 84 % y las partículas (PM) en un 90 % (Motor, 2015).

4.1.1 NORMA EURO 6

La norma Euro 6 fue introducida en septiembre del 2015 y todos los automóviles fabricados en serie vendidos a partir de esa fecha deben cumplir con los requisitos de emisiones. El efecto de reducción de los contaminantes puede significar una mayor economía de combustible y menores emisiones de CO₂ (Ebbs & Saarinen, 2018).

Para lograr eficazmente el cumplimiento de los límites exigidos, los motores de los vehículos deberán construirse para funcionar mediante la utilización de combustibles mejor refinados con bajo contenido de azufre y de alta calidad. Las especificaciones del carburante están descritas por la norma euro 6, la aplicación de dicha norma afectará a los fabricantes de vehículos, compañías energéticas y consumidores (Repsol Innovación, 2013). El objetivo es disminuir considerablemente las emisiones contaminantes de los vehículos, obligando a los fabricantes a construir nuevos motores, capaces de contaminar menos. Principalmente

para cumplir con los niveles de emisión de partículas y óxidos de nitrógeno (NO_x) (Recursos Técnicos, 2017).

Para reducir las partículas, los vehículos diésel llevan un filtro que se localiza en el tubo de escape del motor con la finalidad de retener las partículas sólidas que se generan en la combustión. El filtro de partículas hace de trampa para más del 99,5 % de las partículas sólidas en suspensión que hay en los gases de escape, como son el hollín o carbonilla. Aun así no es infalible al 100 % y no puede retener todas las partículas más finas (Pascual, 2015).

Los motores diésel generan altos niveles las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), sin embargo para cumplir con la norma euro 6 utilizan un convertidor catalítico de NO_x, en algunas ocasiones, este dispositivo no es suficiente por lo que hay que recurrir a un catalizador tipo SCR con AdBlue que está compuesto por una disolución de 32,5% de urea para la depuración de gases (Marcos, 2015).

4.2 ESTÁNDARES MEXICANOS PARA MOTORES DIÉSEL

El país de México al igual que otros países del mundo ha tomado conciencia sobre la importancia de proteger y disminuir la cantidad de contaminantes perjudiciales para el planeta, mediante la participación de los organismos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para crear normas de control de gases contaminantes de los automotores.

Uno de los objetivos principales de las normas mexicanas es mantener el equilibrio ecológico y protección al ambiente, con el fin de prevenir y controlar la contaminación del aire. La calidad del aire debe ser idónea para las poblaciones que habitan en las regiones del país, por esta razón deben ser controladas las emisiones contaminantes hacia la atmósfera, provenientes de fuentes fijas o móviles para asegurar el bienestar ecológico y de las poblaciones (SEGOB, 2016).

La norma mexicana controla principalmente las emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos

automotores que usan gas natural, diésel, gasolina y gas licuado de petróleo como combustible (SEGOB, 2016).

En los automotores que utilizan diésel las normas mexicanas miden la opacidad del humo de escape del motor. En el año 2014 como una medida de prevención se presentaron criterios para la evaluación de la concentración de partículas suspendidas en el aire.

Los vehículos son los principales precursores de contaminantes, contribuyendo con el 88% del total de las emisiones de óxidos de nitrógeno y el 32% de hidrocarburos, las emisiones de partículas provienen principalmente de los vehículos que utilizan diésel (SEGOB, 2016).

4.2.1 NORMA MEXICANA 2017

En México, La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) presentó en septiembre del 2017, la nueva norma mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, esta establece de forma obligatoria los límites de emisiones de gases de escape de vehículos automotores que utilicen: gas licuado de petróleo, diésel, gas natural, gasolina u otros combustibles alternos.

Las normas mexicanas cada vez, presentan mayores restricciones sobre los contaminantes de los vehículos a gasolina y diésel. Los gases principalmente controlados debido a los efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente son: monóxido de carbono (CO) y monóxido de nitrógeno (NO), se precisa la detección del monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) constituyentes de los óxidos de nitrógeno (SEGOB, 2017).

Las tecnologías de los vehículos es un punto importante para el cumplimiento de los límites obligatorios de la norma mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017 con el fin de disminuir progresivamente las emisiones de gases de los vehículos a gasolina y diésel. La norma se aplicará a los propietarios de vehículos de servicio público, privado, federal o local (SEGOB, 2017).

5. EFECTOS DE LA ALTITUD EN MOTORES DIÉSEL

La altitud es un factor principal que afecta a los motores de combustión interna alternativos de desplazamiento volumétrico, principalmente a los de aspiración natural. El fenómeno ocurre debido a la reducción de la presión atmosférica haciendo que la relación de aire y combustible se vea afectada (Lapuerta M. , Armas, Agudelo, & Sánchez, 2006, pág. 21)

La disminución de presión provoca pérdida de la potencia indicada en el motor, debido a que la presión en los cilindros es menor en todo el ciclo de funcionamiento. Aunque el rozamiento y las pérdidas de bombeo se reducen por el descenso de la contrapresión en el escape del motor. Por esta razón se considera constante el cambio de la potencia de pérdidas mecánicas a medida que varía la altitud (Lapuerta M. , Armas, Agudelo, & Sánchez, 2006, pág. 21).

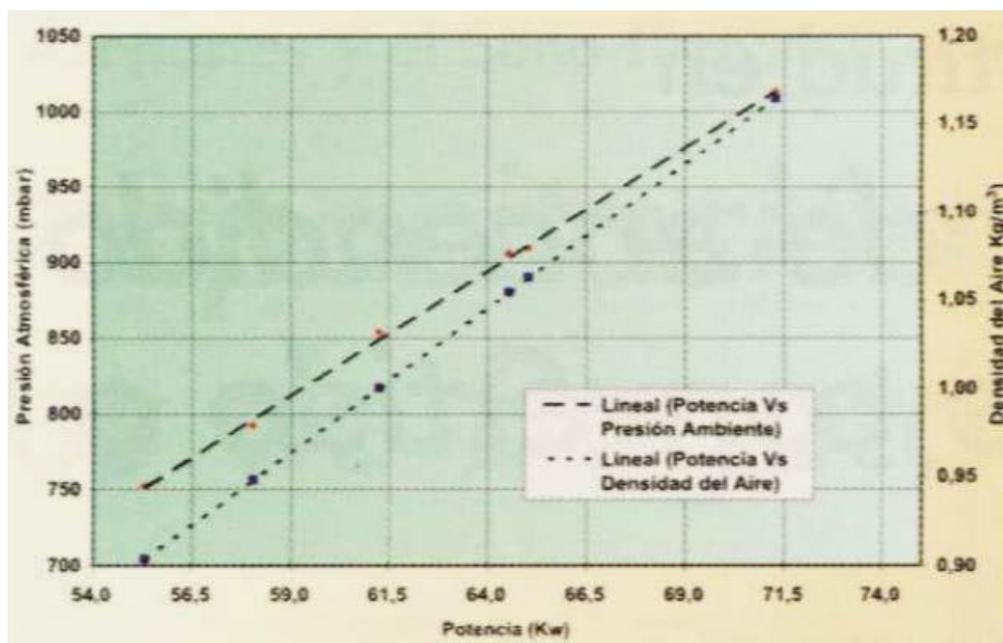


Figura 2. 7 Efecto de la presión atmosférica en la potencia del motor MEP (Castaño & Patiño Jaramillo, 2003, pág. 37)

Un motor de combustión interna pierde potencia por efecto de la disminución de la presión atmosférica, este fenómeno hace que la densidad del aire disminuya, afectando el desempeño del motor, el consumo de combustible aumenta para tratar de combatir la pérdida de potencia, aunque esto se ve en un crecimiento de emisiones por la dificultad de la combustión (Castaño & Patiño Jaramillo, 2003, pág. 38).

La presión atmosférica modifica la densidad del aire, haciendo que el chorro de combustible y el arrastre del aire hacia el interior del cilindro afecten el frente de llama durante el proceso de combustión.

El tiempo requerido para inyectar el combustible hasta que se quema, conforme se desarrolla el ciclo termodinámico se hacen más grandes a medida que la densidad del aire disminuye. En los motores de aspiración, este tiempo se incrementa conforme la altitud aumenta, mientras que en los motores sobrealimentados este fenómeno apenas tiene variación (Lapuerta M. , Armas, Agudelo, & Agudelo, 2006, pág. 31).

Las prestaciones de cualquier motor alternativo volumétrico, pueden verse afectadas por la capacidad de renovar la cantidad de aire dentro del cilindro, esto puede mejorarse por medio de una mejor geometría de los colectores de aire y la sección de entrada de las válvulas (Lapuerta M. , Armas, Agudelo, & Agudelo, 2006, pág. 34).

6. COMPOSICIÓN DEL AIRE A DIFERENTES ALTURAS

La altitud sobre el nivel del mar actúa de manera directa generando cambios importantes sobre las propiedades del aire. También están presentes, variaciones de temperatura y presión conforme la altura crece desde el nivel del mar.

La presión atmosférica disminuye conforme la altura incrementa, este fenómeno afecta de forma significativa en la reducción de peso de la columna de aire, así como también la menor densidad del mismo (Villena, 2017). La temperatura ambiente disminuye a mayores alturas sobre el nivel del mar, lo mismo ocurre con la presión atmosférica.

El aire en base molar y en condiciones normales a una atmósfera de presión y 0°C de temperatura, está compuesto principalmente de 21% oxígeno, 78% de nitrógeno y otros gases inertes (Velasco Hurtado & Velasco Villarreal, 2014, pág. 23).

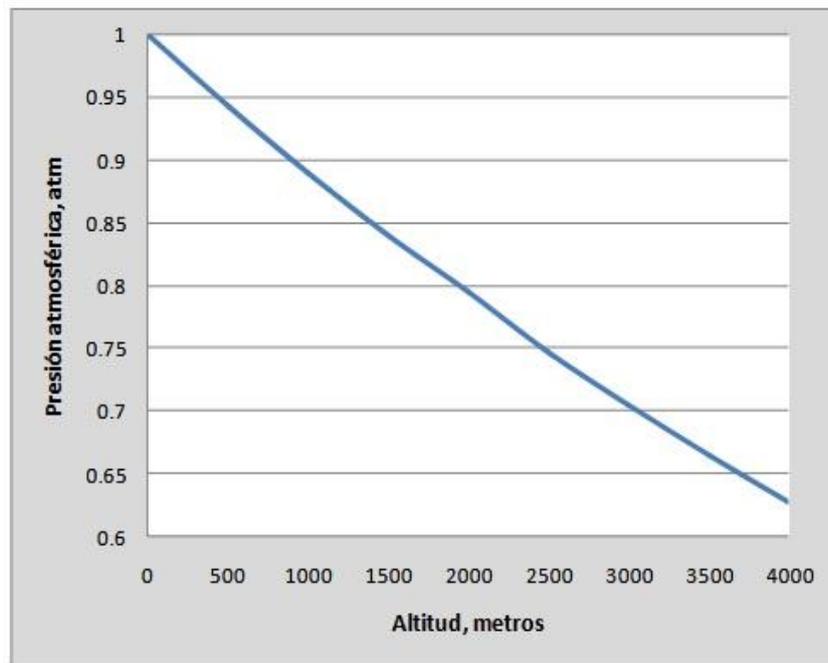


Figura 2. 8 Variación de la presión atmosférica con la altura sobre el nivel del mar (Velasco Hurtado & Velasco Villarroel, 2014, pág. 22)

La reducción de la presión atmosférica afecta a la densidad del aire y su composición, en consecuencia los procesos de combustión que emplean oxígeno como comburente que se desarrollan en altura, también son afectados (Velasco Hurtado & Velasco Villarroel, 2014, pág. 22). En los motores de combustión interna sean a gasolina o diésel se observa un incremento en las emisiones de escape perjudicando la calidad del aire y el medio ambiente.

Además al existir una mala combustión en el motor debido a la disminución de oxígeno en el ambiente se generan gases como: el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (PM) produciendo efectos perjudiciales en la salud de las personas. También afecta el funcionamiento de los vehículos al aumentar el consumo de combustible.

La concentración de oxígeno a medida que la altura aumenta disminuye dado que existen cambios de presión conforme la altura crece ocasionando que las moléculas de oxígeno se dispersen mientras que a nivel mar las moléculas se encuentran juntas.

El oxígeno disminuye al incrementar la altura debido a que tiene un peso de 32 g/mol, siendo mayor que el aire 28.93 g/mol (Velasco Hurtado & Velasco Villarroel, 2014, pág. 23).

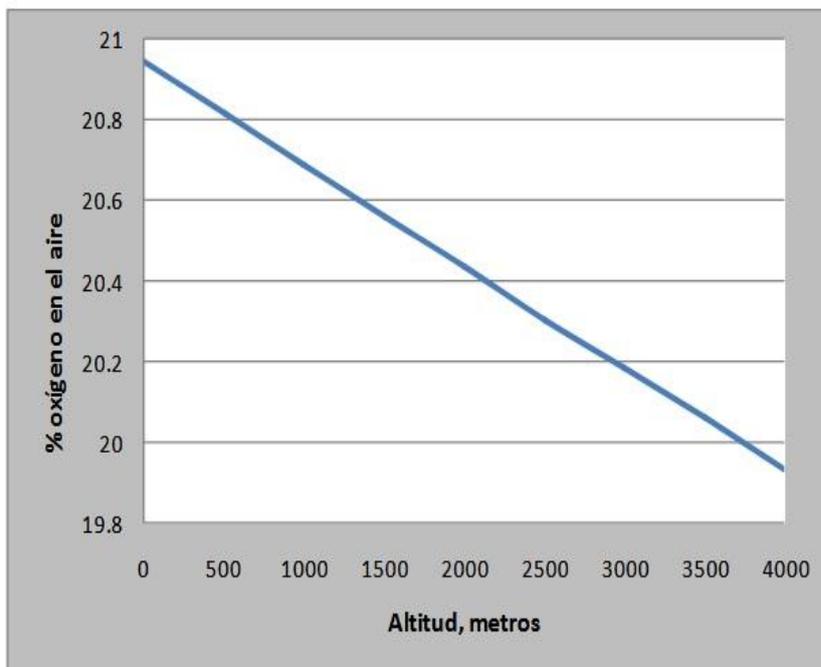


Figura 2. 9 Variación del oxígeno con la altitud
(Velasco Hurtado & Velasco Villarroel, 2014, pág. 23)

5. EL DIÉSEL

Es un líquido conocido como gasoil es un tipo de combustible que se obtiene de la destilación del petróleo donde se obtiene a partir de temperaturas entre 215 °C a 338 °C, el diésel $C_{12}H_{23}$ está compuesto de un 75 % de hidrocarburos saturados y 25 % de hidrocarburos aromáticos (Balarezo, 2013, pág. 13).

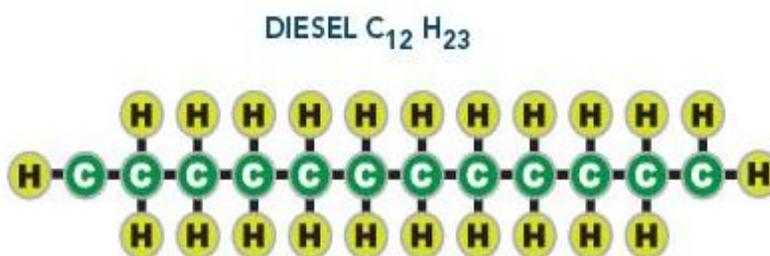


Figura 2. 10 Composición molecular del diésel
(Canaco, 2017, pág. 2)

5.1 PROPIEDADES DEL DIÉSEL

El diésel es un combustible derivado del petróleo utilizado en motores de combustión interna de compresión. El gasóleo para ser utilizado en motores diésel debe cumplir una serie de propiedades con la finalidad de permitir un funcionamiento idóneo en los automotores, reduciendo el desgaste de los elementos mecánicos. Así como también la disminución de la producción de gases contaminantes.

5.1.1 VISCOSIDAD

La viscosidad de un fluido se conoce como el movimiento relativo de las moléculas donde al intentar desplazar dichas moléculas se produce fricción entre ellas, es una propiedad que determina las fuerzas de resistencia que se oponen al movimiento del fluido en direcciones opuestas, esta característica puede modificarse cuando el fluido es sometido a cambios de temperatura. La viscosidad esta entre 2.5 cSt a 6.0 cSt para el diésel en Ecuador (Guzmán Antamba & Peralvo Clavón, 2011, pág. 22).

5.1.2 PUNTO DE INFLAMACIÓN

Esta característica hace referencia a la temperatura más baja donde el combustible líquido comienza a evaporarse creando una concentración de gas o vapor formando una mezcla inflamable cuando entra en contacto con el oxígeno. El punto de inflamación del diésel es mínimo de 51°C, y está relacionado con la viscosidad, esto significa que al disminuir la viscosidad también disminuye el punto de inflamación (Guzmán Antamba & Peralvo Clavón, 2011, pág. 23).

5.1.3 CONTENIDO DE AZUFRE

El azufre se encuentra naturalmente en el petróleo donde mediante el proceso de refinación se obtiene el diésel. Al existir grandes cantidades de azufre en el combustible diésel ocasiona

desgastes excesivos en los cilindros y demás piezas que se encuentran en contacto, debido a la formación de ácidos. Además el contenido de azufre contribuye en gran medida a las emisiones de material particulado por esta razón el peso de contenido de azufre debe ser lo más bajo posible cerca de 0.05 % (Guzmán Antamba & Peralvo Clavón, 2011, pág. 23).

5.1.4 ÍNDICE DE CETANO

Es un indicativo de la facilidad de inflamación del combustible diésel, el número de cetano depende de la calidad de destilación del gasóleo entre mayor sea el índice mejor será la calidad del combustible, permitiendo que la ignición o inflamación sea rápida, disminuyendo el ruido del motor y obtener mejores aceleraciones. Cuando el índice de cetano es bajo presenta un retraso en el encendido ocasionando vibraciones, golpeteos e irregularidades en el funcionamiento del motor. Los motores diésel se diseñan generalmente para utilizar índices de cetano entre 40 y 55, un valor inferior de 38 incrementa el retardo de la ignición (Guzmán Antamba & Peralvo Clavón, 2011, pág. 24).

5.1.5 AROMÁTICOS

Los aromáticos en el diésel son moléculas que por lo menos tiene un anillo de benceno. El contenido de aromáticos influye en la temperatura de la combustión y en las emisiones de óxidos de nitrógeno, la formación de PM y emisiones de hidrocarburos poliaromáticos (Guzmán Antamba & Peralvo Clavón, 2011, pág. 24).

5.1.6 PODER CALÓRICO

Es un indicador de la energía máxima que puede desprenderse de la reacción química de un comburente y el combustible cuando se produce el fenómeno de la combustión. El poder calorífico está determinado por la calidad del combustible (Guzmán Antamba & Peralvo Clavón, 2011, pág. 24).

6. DIÉSEL EN ECUADOR

En el país existen diferentes tipos de gasóleo que se utilizan en los sectores de la industria y en la automoción. Las principales diferencias se encuentran en la calidad de cada combustible. Así entonces en la industria se emplea el diésel 1 y 2 mientras que en el transporte se utiliza el diésel Premium.

6.1 DIÉSEL NO. 1

Este tipo de gasóleo es utilizado en motores industriales de combustión externa y en algunos aparatos domésticos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, pág. 4).

Tabla 2. 1 Requisitos del diésel N° 1

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	40	---	NTE INEN 1493 Procedimiento A
Contenido de agua y sedimento	%	---	0,05	NTE INEN 1494
Contenido de residuo carbonoso sobre el 10 % del residuo de la destilación	%	---	0,15	NTE INEN 1491
Contenido de cenizas	%	---	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	---	288	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37,8 °C	cSt	1,3	3,0	NTE INEN 810
Contenido de azufre	%	---	0,3	ASTM 4294
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	---	No. 2	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	---	40	---	NTE INEN 1495

(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, pág. 4)

6.2 DIÉSEL NO. 2

Es un combustible utilizado en distintos sectores de la industria, pesquero, eléctrico, entre otros. El uso de este combustible es principalmente en motores de auto ignición donde no se requieren medios externos para encender el combustible.

El diésel 2 debe estar libre de materiales que puedan modificar su apariencia física para funcionar de manera adecuada (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, pág. 5).

Tabla 2. 2 Requisitos del diésel N° 2

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	---	NTE INEN 1493 Procedimiento A
Contenido de agua y sedimento	%	---	0,05	NTE INEN 1494
Contenido de residuo carbonoso sobre el 10 % del residuo de la destilación	%	---	0,15	NTE INEN 1491
Contenido de cenizas	%	---	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	---	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	2,0	5,0	NTE INEN 810
Contenido de azufre	%	---	0,7	ASTM D4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	---	No. 3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	---	45	---	NTE INEN 1495
Contenido de biodiésel	%	Nota	5	EN 14078

(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, pág. 5)

6.3 DIÉSEL PREMIUM

Es un combustible obtenido de la destilación del petróleo y es utilizado en motores de auto ignición utilizados en distintos vehículos del sector automotriz en el Ecuador. Los componentes elementales que constituyen el diésel Premium son el carbono, azufre e hidrógeno.

Este combustible tiene un contenido de azufre de 500 ppm lo que permite una reducción de las emisiones de partículas y desgaste de componentes mecánicos del motor frente al diésel 1 y 2 que poseen un elevado contenido de azufre utilizado en el sector industrial.

Además con la finalidad de reducir las emisiones producidas en la combustión mediante el empleo de gasóleo, se ha propuesto como alternativa agregar una mezcla de biodiésel en proporciones de 5 y 10 % al diésel comercial.

El biocombustible puede proceder de fuentes renovables, amigables con el medio ambiente por ser biodegradable, de esta forma se consigue una reducción significativa de los gases de escape en comparación al diésel fósil (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, pág. 2).

Tabla 2. 3 Requisitos del diésel Premium

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51,0	---	NTE INEN 1493 Procedimiento A
Contenido de agua y sedimento	%	---	0,05	NTE INEN 1494
Contenido de residuo carbonoso sobre el 10 % del residuo de la destilación	%	---	0,15	NTE INEN 1491
Contenido de cenizas	%	---	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	---	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	2,0	5,0	NTE INEN 810
Contenido de azufre	%	---	500	ASTM 4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	---	No. 3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	---	45,0	---	NTE INEN 1495
Contenido de biodiésel	%	5	10	EN 14078

(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, pág. 2)

7. IMPACTO DE LAS EMISIONES DEL MOTOR DIÉSEL

El incremento de vehículos diésel en los países a nivel mundial permite que el aumento de las emisiones producidas durante el fenómeno de la combustión provoque daños en el ambiente contaminado gravemente los ecosistemas y la salud de las personas.

La mayor parte de emisiones de gases de escape se producen por un combustible de mala calidad, motores obsoletos sin el equipamiento de sistemas de tratamiento posterior de gases de escape, mal estado mecánico de los vehículos, forma de conducir de las personas y estado de las carreteras que favorece las condiciones idóneas para contaminar todo lo que se encuentre a su paso.

7.1 IMPACTO EN LA SALUD

El mundo está en pleno desarrollo de manera que cada vez las personas aprovechan su capacidad para manipular el medio ambiente casi a su antojo donde cada impacto que se ejecuta, el medio ambiente reacciona devolviendo el impacto hacia quienes han ejecutado la acción. Los contaminantes que se emiten o se descargan sobre el planeta no desaparecen, todo lo que pasa se queda dentro, debido a la urbanización imparable en este mundo la contaminación aumenta en gran medida.

El aumento de la contaminación ha traído un gran número de muertes prematuras cada año, las causas suelen ser ataques cardíacos, enfermedades respiratorias y cáncer de pulmón, estas tienen mayor riesgo en las personas que respiran aire contaminado (Nurul Ashikin & Oliver Ling, 2014, pág. 221).

7.1.1 CÁNCER

Las emisiones de diésel son de tipo carcinógeno humano, vinculado al cáncer de pulmón y de vejiga en especial las emisiones de partículas. Las exposiciones a las emisiones del motor pueden causar muertes por cáncer de pulmón, los casos de cáncer pediátrico son la principal preocupación, tumores cerebrales dañinos son la primera causa de muerte entre los niños (OMS, 2018).

7.1.2 EFECTOS CARDIOVASCULARES

El síndrome coronario agudo, ataques al corazón y otros efectos de coagulación de la sangre se han relacionado con la exposición de las emisiones del motor diésel. Los operadores de equipos pesados que se encuentra mayormente expuestos a las emisiones diésel corren el riesgo de sufrir este tipo de enfermedades (Downing, 2015).

7.1.3 EFECTOS PULMONARES

La exposición a las emisiones diésel incluyen irritación de nariz, ojos, vías respiratorias inflamadas, dolor de cabeza, fatiga y náuseas, la mala función pulmonar se puede ver en los niños que habitan cerca de carreteras con tráfico, especialmente de camiones de transporte pesado. Los gases de escape provocan un aumento en las reacciones alérgicas y el asma (Kelland, 2012).

7.1.4 EFECTO EN EL SISTEMA NERVIOSO

Los lugares de tráfico de vehículos diésel causan problemas en la función del cerebro, la conducta y déficit visual en la personas. Los niveles más altos de exposición al material particulado pueden disminuir el funcionamiento cognitivo del habla y la memoria. También se ha identificado mayor riesgo de autismo en los niños de mujeres expuestas durante el embarazo (Downing, 2015).

7.2 IMPACTO AMBIENTAL

Los contaminantes son sustancias de origen natural o artificial que introducidos en altas concentraciones al medio ambiente pueden producir efectos perjudiciales, afectando a todos los seres que habitan el planeta. Los contaminantes atmosféricos son una de las principales preocupaciones en todo el mundo por sus efectos dañinos en la calidad del aire causando diferentes problemas como, la lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono, cambios en la temperatura ambiente debido al efecto invernadero.

7.2.1 CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático se puede observar en el aumento de temperatura del aire, derramamiento de hielos y glaciares, fenómenos meteorológicos, aumento en el nivel de agua del mar dentro

de las fluctuaciones de una escala temporal de temperaturas, viento y otros elementos que conforman el clima (Vallejo, 2014, pág. 35).

7.2.2 SMOG FOTO QUÍMICO

Este fenómeno se puede observar en las grandes ciudades donde el tráfico es abundante y las condiciones para formar este contaminante es un tiempo soleado y cálido, dado que los contaminantes no tienen la capacidad para dispersarse o diluirse. El smog fotoquímico puede observarse cuando existe una neblina en el aire, este tipo de contaminante causa graves daños a las plantas (Vallejo, 2014, pág. 35).

7.2.3 OZONO

El ozono cuando se encuentra en elevadas concentraciones es considerado un contaminante atmosférico principalmente por los efectos nocivos que puede ocasionar. El ozono se origina por medio de reacciones fotoquímicas de contaminantes que se emiten a la atmósfera como por ejemplo los hidrocarburos (HC). Los HC desempeñan un papel importante en la formación de ozono a nivel del suelo siendo los vehículos los responsables de aproximadamente el 50 % (Zbarcea & Scarpete, 2016).

8. SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES

La mayoría de países en todo el mundo están conscientes sobre cuidar el ambiente, varias organizaciones y agencias de control de calidad del aire tratan de reducir los gases de efecto invernadero y emisiones tóxicas que producen los motores de combustión, especialmente los que utilizan diésel como fuente de energía.

Para reducir los impactos hacia el medio ambiente y a la salud humana, se utilizan en los motores de vehículos, sistemas de control de emisiones para tratar de disminuir la cantidad de gases contaminantes hacia la atmósfera.

8.1 SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE (EGR)

Es un sistema diseñado para recircular una cierta cantidad de gases de escape hacia el múltiple de admisión, así se reduce la cantidad de aire que ingresa de la atmósfera al cilindro del motor. El sistema de recirculación de gases de escape es necesario para reducir los óxidos nitrosos que se producen en la combustión por elevadas temperaturas.

La cantidad de gases a recircular por el EGR depende de ciertos parámetros que el motor debe cumplir aunque, el más importante es la carga aplicada debido a que en estas condiciones se requiere más oxígeno.

Aproximadamente más del 15 % de los gases de escape se introduce en el colector de admisión del motor, con esto se logra disminuir la temperatura del cilindro y generar una combustión con temperaturas más bajas donde se genera más monóxido de carbono (CO) y hollín aunque se reduce la formación de óxidos nitrosos (NO_x) y dióxido de carbono (CO₂) (Azam & Shoukat, 2016, pág. 4).

Hasta la norma Euro 5 el sistema EGR era suficiente para cumplir con los límites de la prueba sobre el límite óxidos nitrosos, pero a partir de la norma Euro 6 el sistema de recirculación de gases se usa en combinación con otras tecnologías de reducción de emisiones, aunque los sistemas EGR mejorados pueden cumplir con los límites de NO_x que la norma Euro 6 (Nesbit & Colson, 2016, pág. 29).

8.2 CATALIZADOR DE OXIDACIÓN DIÉSEL (DOC)

Desde su introducción en 1970, los catalizadores de oxidación siguen siendo una tecnología muy importante para el tratamiento de los gases de escape en motores diésel. Los motores diésel nuevos utilizados en vehículos ligeros y pesados están equipados con este tipo de catalizadores. El uso de estos catalizadores permite una reducción que se sitúan entre el 60 % y el 90 % para los hidrocarburos (HC) y el monóxido de carbono (CO).

El catalizador es una especie de filtro con una estructura monolítica en forma de panel de abeja, hecha de cerámica o metal. Además la estructura, se compone de una mezcla compuesta de óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de cerio (CeO_2), óxido de zirconio (ZrO_2) y metales nobles catalíticos activos tales como platino (Pt), paladio (Pd) y rodio (Rh) (Reşitoğlu & Altinişik, 2015, pág. 20).

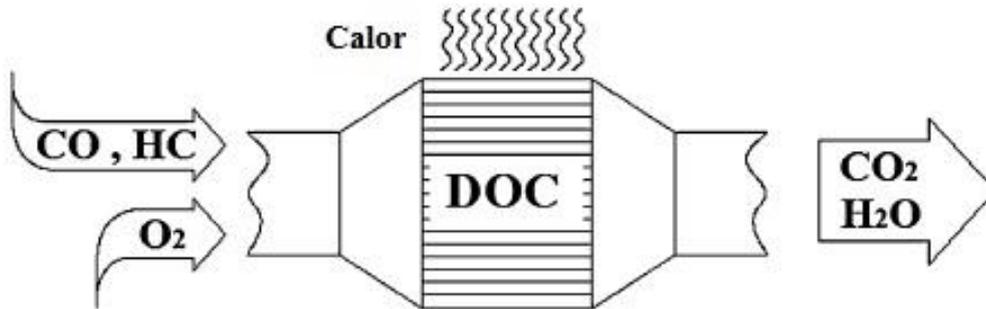


Figura 2. 11 Catalizador de oxidación diésel
(Reşitoğlu & Altinişik, 2015, pág. 20)

El diseño especial y su estructura interna permiten transformar las emisiones de CO y HC por medio de la oxidación en dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O). Los gases de escape diésel generalmente contienen oxígeno (O_2), que varía entre el 2 y el 17 % en volumen, que no reacciona con el combustible en la cámara de combustión, este O_2 se consume constantemente en el catalizador.

La oxidación de las emisiones de CO y HC en el catalizador de oxidación hace que la temperatura de los gases de escape se incremente aproximadamente por encima de 90°C por cada 1 % de volumen de oxidación de CO. La oxidación de las partículas de hollín no es posible en el catalizador de oxidación (Fiebig & Wiartalla, 2014, pág. 7).

La calidad del combustible es un factor determinante en la reducción de emisiones, en caso de que el combustible contenga elevados niveles de azufre, el catalizador los oxida formando sulfatos. Los sulfatos al entrar en contacto con el medio ambiente pueden formar ácido sulfúrico produciendo efectos perjudiciales para el medio ambiente y la salud.

La reducción porcentual de las emisiones de CO y HC depende del revestimiento catalítico, la ubicación del convertidor y los niveles de temperatura. La eficacia de la reducción de las emisiones de NO_x proporcionadas por estos catalizadores es limitada y por lo tanto no puede considerarse como estrategias clave para alcanzar futuras normas de emisión (Brijesh & Sreedhara, 2013, pág. 197).

8.3 FILTRO DE PARTÍCULAS DIÉSEL (DPF)

Desde el año 2000 los filtros de partículas se han introducido en los vehículos para disminuir o eliminar las emisiones de material particulado de los gases de escape por medio de la filtración; cuando los gases de escape pasan por el filtro, el hollín queda atrapado a lo largo de las paredes del canal.

Las paredes tienen un espesor de 300 a 400 μm , así tiene la capacidad de acumular el hollín, mientras que los canales se saturan en cada extremo y fuerzan las emisiones de partículas diésel a través de las paredes porosas que a su vez actúan como un filtro mecánico a medida que las partículas de hollín pasan por medio de las paredes y se adhieren en los poros (Fiebig & Wiartalla, 2014, pág. 9).

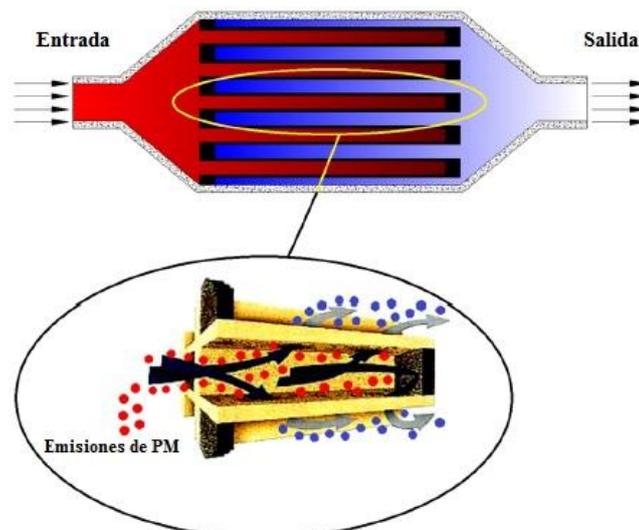


Figura 2. 12 Filtro de partículas diésel
(Reşitoğlu & Altinişik, 2015, pág. 21)

Las paredes del filtro están diseñadas con una porosidad óptima que permiten a los gases de escape pasar a través de las paredes sin restricción, siendo al mismo tiempo un elemento filtrante para recoger las partículas. A medida que el filtro se satura poco a poco de hollín, se crea una capa de hollín sobre la superficie de las paredes del canal (Reşitoğlu & Altinişik, 2015, pág. 21).

Sin embargo, debe evitarse la saturación excesiva, debido a que pueden originarse contrapresiones generando efectos negativos sobre el motor dando como resultado mayor consumo de combustible o estropear el filtro. Para evitar estos inconvenientes, el filtro dispone de un mecanismo de quemando de partículas. Existen dos tipos de procesos de regeneración denominados regeneración activa y regeneración pasiva.

8.3.1 REGENERACIÓN ACTIVA DEL FILTRO DE PARTÍCULAS

La regeneración activa puede aplicarse periódicamente mediante la oxidación controlada con oxígeno (O_2) a $550^\circ C$ o a temperaturas más altas, en este tipo de regeneración las partículas se oxidan por el calor de fuentes externas, como un calentador eléctrico o un quemador a base de llama.

La combustión de las partículas capturadas en el filtro, tiene lugar tan pronto como la carga de hollín en el filtro alcanza un límite establecido aproximadamente 45 % indicado por la caída de presión a través del filtro de partículas diésel (Reşitoğlu & Altinişik, 2015, pág. 22).

8.3.2 REGENERACIÓN PASIVA DEL FILTRO DE PARTÍCULAS

La regeneración pasiva la oxidación de las partículas se produce a la temperatura de los gases de escape. Las partículas se oxidan mediante un proceso de reacción catalítica que no utiliza combustible adicional con temperaturas que están comprendidas entre $200^\circ C$ y $450^\circ C$, pequeñas cantidades de dióxido de nitrógeno (NO_2) originarán la oxidación continua de las partículas de carbono depositadas.

El proceso de regeneración es muy simple, silencioso, eficaz y económico donde el sistema de gestión del motor ni el operario del vehículo intervienen en el proceso de regeneración del filtro (Reşitoğlu & Altinişik, 2015, pág. 22).

8.4 REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA (SCR)

La tecnología de reducción catalítica selectiva se ha utilizado durante muchos años para la nitrificación de gases de combustión en centrales eléctricas. Al observar los fabricantes de vehículos sobre la eficiencia de estos sistemas, optaron en implementar sobre los vehículos para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) utilizando amoníaco (NH_3) como reductor donde agua (H_2O) y nitrógeno (N_2) se liberan en los gases de escape (Fiebig & Wiartalla, 2014, pág. 9). El amoníaco tiene efectos tóxicos y para evitar la combustión de este elemento al encontrarse a temperaturas elevadas, se proporciona al amoníaco una solución acuosa de urea mezclando 33 % de urea y 67 % de agua pura.

La cantidad de amoníaco almacenado en el catalizador (SCR) debe ser controlado debido a la presencia de una gran cantidad de amoníaco puede ser peligroso para el medio ambiente y la salud, es por ello que se minimiza mediante la inyección de urea de acuerdo a la cantidad de amoníaco requerido, pulverizando la solución acuosa sobre los gases de escape.

Al producirse la vaporización del agua pura, partículas de urea sólida comienzan a fundirse y la termólisis tiene lugar donde el amoníaco y el ácido isociánico se forman en la reacción de la termólisis (Reşitoğlu & Altinişik, 2015, pág. 22).

El amoníaco actúa en las reacciones del catalizador SCR, mientras que el ácido isociánico se convierte en agua mediante una reacción de hidrólisis. Las reacciones de termólisis e hidrólisis ocurren más rápidamente que las reacciones en el catalizador donde dos moléculas de amoníaco se producen en una molécula de urea por reacciones de termólisis e hidrólisis.

La eficiencia de las reacciones para producir NH_3 a partir de úrea depende en gran medida de la temperatura de los gases de escape. La temperatura de fusión de la úrea es de 133°C mientras que la termólisis comienza a $143, 152, 160^\circ\text{C}$.

La eficiencia de conversión es teóricamente del 50 % a la entrada del catalizador. Sin embargo, la aplicación de la reacción de hidrólisis en la fase gaseosa antes de la entrada del catalizador aumenta la eficiencia de conversión debido a la temperatura de escape (Reşitoğlu & Altinişik, 2015, pág. 23).

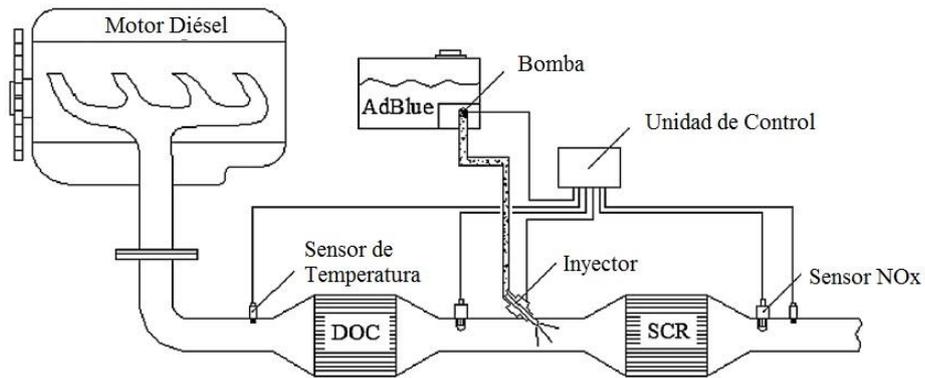


Figura 2. 13 Sistema de reducción catalítica selectiva
(Reşitoğlu & Altinişik, 2015, pág. 23)

MATERIALES Y MÉTODOS III

3. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El propósito de este proyecto es conocer los intereses de las normativas nacionales y europeas sobre la búsqueda de alternativas para mantener bajo control los gases contaminantes producidos por automotores que utilizan gasóleo como combustible. Además se presenta las características principales que deben cumplir el diésel europeo utilizado en la homologación de vehículos bajo la norma Euro 3 y diésel Premium, con el fin de observar las principales diferencias. Así como también comprobar, si el combustible comercializado en el país es apto para cumplir los requisitos que exige la norma.

También se realiza una distinción sobre la variación de las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) de un motor diésel con inyección electrónica, utilizando diésel fósil y biodiésel B5 en las alturas de 617, 1677, 2207 y 2953 msnm, con el objetivo de conocer el comportamiento del biodiésel como combustible alternativo por ser amigable con el medio ambiente.

3.1 FINALIDAD DE LAS NORMAS EURO Y NORMATIVAS NACIONALES

La Comunidad Europea ha creado programas para la protección del medio ambiente, dentro de la Directiva 98/69/ CE del Parlamento Europeo y del Consejo. La directiva considera los avances científicos más recientes en la lucha contra la contaminación atmosférica, causada por los gases contaminantes emitidos por automotores, el objetivo es reducir las emisiones de fuentes móviles y estáticas (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 1998, pág. 2).

El Ecuador al igual que los demás países internacionales a mostrado interés en mejorar la calidad del aire, siendo así que en el enlace 597 de la presidencia del expresidente Rafael Correa anunció que todos los vehículos importados deberán cumplir la normativa Euro 3, esta norma en los países extranjeros ha sido implementada desde el año 2000.

La norma Euro 3 es un parámetro dentro del acuerdo comercial con la unión Europea aplicada a la importación de vehículos; esta medida fue publicada en el registro Oficial según la Resolución 16529 del Ministerio de Industrias.

Los límites de emisiones de gases contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres que usan diésel como combustibles están establecidas mediante la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2207 para cumplir el acuerdo sobre emisiones, fue modificada en el 2016 siguiendo los requisitos de emisión conforme la norma Euro 3 con el fin de que todos los vehículos ensamblados o importados en el país cumplan con la normativa.

3.2 ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES

Las directivas de la Unión Europea para cumplir los objetivos de reducir las emisiones de automóviles, buscan mejorar la calidad de los combustibles principalmente por ser uno de los parámetros más importantes en la generación de gases contaminantes. Además crean alternativas para optimizar el mantenimiento del parque automovilístico por medio de la ejecución de programas de inspección.

Al observar que los combustibles tienen gran influencia sobre la producción de gases contaminantes en los automotores, es importante disponer de combustibles mejor refinados con el propósito de reducir el contenido de azufre del diésel Premium que posee 500 ppm. Mientras que la tecnología de motores Euro 3 está diseñada para funcionar con un combustible de 300 ppm, en estas condiciones la tecnología euro no será compatible con el gasóleo que se dispone en el país.

3.3 COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

Otra alternativa que ha optado la Unión Europea es introducir en el mercado vehículos con tecnología innovadora, así como también automotores que utilicen combustibles con bajo impacto sobre el medio ambiente con la finalidad de conseguir mejorar la calidad del aire en las ciudades.

Por otra parte el gobierno de Ecuador para reducir los gases contaminantes de vehículos, ha introducido en el diésel Premium que se utiliza en el sector automotriz, una mezcla de biodiésel B5, el objetivo es llegar hasta el 10 %, principalmente por la ventaja de ser menos contaminante que el diésel fósil.

3.4 CARACTERÍSTICAS DEL DIÉSEL EURO

El combustible es uno de los factores más importantes en la producción de gases contaminantes que se generan durante el proceso de combustión en motores diésel. Por esta razón se presentan las características más importantes del gasóleo. El diésel comercial euro usado para la homologación de vehículos en el año 2000 estaba determinado bajo los parámetros de la directiva 98/70/CE.

Tabla 3. 1 Características del diésel Europeo

Parámetro	Unidad	Mínimos	Máximos	Método de prueba
Índice de cetano	-	52,0	54,0	EN-ISO 5165
Punto de Inflamación	°C	55	-	EN 22719
Contenido de agua	%	-	0,05	EN-ISO 12937
Contenido de residuo carbonoso 10%	%	-	0,2	EN-ISO10370
Viscosidad a 40°C	mm ² /s	2,5	3,5	EN-ISO 3104
Contenido de azufre	ppm	-	300	EN-ISO 14596

(Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 1998, pág. 57)

3.4.1 ÍNDICE DE CETANO

El método de prueba EN-ISO 5165 utiliza un motor de gasóleo estándar, mono cilíndrico de cuatro tiempos con relación de compresión variable y sistema de inyección indirecta. El número de cetano (CN) se determina utilizando un combustible de referencia con alto índice de cetano 100 y otro alfa metilnaftaleno con cetano 0. Los ensayos generalmente se realizan desde 30 hasta 65 CN, donde la determinación del índice de cetano se realiza según el retardo de la ignición del combustible incógnita con forme se eleva la relación de compresión en el motor de prueba, hasta que el punto de ignición sea detectado.

3.4.2 PUNTO DE INFLAMACIÓN

El ensayo EN 22719 permite conocer el punto de inflamación de combustibles líquidos como diésel fósil, mezclas de biodiésel mediante el procedimiento A. El método trabaja en un rango de temperatura de 40 °C a 370 °C utilizando el aparato Pensky-Martens de vaso cerrado, el procedimiento vendrá dado por la velocidad de calentamiento y agitación.

3.4.3 CONTENIDO DE AGUA

El método EN-ISO 12937 está bajo el ensayo de vaporación, así determina directamente el contenido en agua de los productos petrolíferos que posean un punto de ebullición por debajo de 390 °C. El procedimiento cubre un rango expresado en unidades másicas, comprendidas entre 0,003 %(m/m) y 0,100 %(m/m).

3.4.4 CONTENIDO DE RESIDUO CARBONOSO 10%

La prueba EN-ISO 10370 permite la determinación de la cantidad de residuo carbonoso, en intervalos de 0,10 % a 30,0 %, que permanecen después de la evaporación de productos petrolíferos por pirolisis, en ausencia de oxígeno. Una muestra se coloca sobre un recipiente y se calienta a 500°C en una atmósfera de nitrógeno hasta alcanzar la carbonización. El valor del residuo carbonoso sirve como una indicación de la tendencia de los productos petrolíferos a formar depósitos carbonosos en condiciones de degradación.

3.4.5 VISCOSIDAD A 40 °C

El ensayo EN-ISO 3104 establece un procedimiento para la determinación de viscosidad de productos líquidos derivados del petróleo. El método consiste en medir el tiempo que un volumen de un líquido fluye bajo la acción de la gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio calibrado, el resultado obtenido depende del comportamiento de la muestra.

3.4.6 CONTENIDO DE AZUFRE

El ensayo EN-ISO 14596 permite determinar el contenido de azufre en productos petrolíferos líquidos por medio de espectrometría dispersiva de rayos X. Este método aplica una fuente de rayos X en donde una muestra de combustible es excitada para determinar la cantidad de azufre que posee, el equipo determina de forma precisa el contenido de azufre.

3.5 CARACTERÍSTICAS DEL DIÉSEL PREMIUM

En Ecuador el combustible empleado en el transporte terrestre para motores de gasóleo está bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1489:2012 en los motores diésel a nivel nacional se utiliza el diésel Premium.

Tabla 3. 2 Características del diésel Premium

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Índice de cetano	-	45,0	-	NTE INEN 1495
Punto de inflamación	°C	51,0	-	NTE INEN 1493 procedimiento A
Contenido de agua y sedimento	%	-	0,05	NTE INEN 1494
Contenido de residuo carbonos sobre el 10% de residuo de destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	2,0	5,0	NTE INEN 810
Contenido de azufre	ppm	-	500	NTE INEN 1490
Contenido de biodiésel	%	5	10	EN 14078

(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, pág. 2).

3.5.1 ÍNDICE DE CETANO

El ensayo está determinado por la norma NTE INEN 1495, para fijar el índice de cetano calculado, como alternativa frente al método del motor. La ecuación para el cálculo del índice de cetano representa una medida para estimar directamente el número de cetano (CN), teniendo como datos la temperatura del 50 % y la densidad. El ensayo no es aplicable a combustibles que contienen aditivos mejoradores de (CN). Además como alternativa se utiliza un ábaco para determinar el número de cetano utilizando los mismos datos de temperatura y densidad que se requieren en la ecuación.

3.5.2 PUNTO DE INFLAMACIÓN

El método NTE INEN 1493 procedimiento A, utiliza el equipo Pensky Martens. La prueba consiste en utilizar una copa de bronce donde se coloca por lo menos 75 cm³ de muestra. Luego calentar y cubrir con una tapa debidamente ajustada, agitar la muestra a velocidad constante. Enseguida acercar una fuente de encendido al interior de la copa a intervalos regulares hasta que el punto de inflamación sea detectado. El punto de inflamación determina la temperatura mínima corregida a la presión barométrica de 1 atm, en donde la aplicación de una fuente de calentamiento hace desprender vapores de la muestra de análisis, que se inflaman bajo condiciones específicas de ensayo.

3.5.3 CONTENIDO DE AGUA Y SEDIMENTO

La prueba NTE INEN 1494 consiste en agregar en dos tubos cónicos una muestra 50 cm³, al que se debe adicionar 50 cm³ de disolvente hasta obtener una mezcla de 100 cm³. Seguidamente se agita hasta que el contenido se encuentre perfectamente mezclado. Luego se calienta a una temperatura establecida de 60 °C durante 10 minutos y se colocan los dos tubos en la centrifuga a una velocidad tal que la fuerza centrífuga esté comprendida entre 500 y 800. Seguidamente se interpreta y escribe el volumen total de sedimento y agua separados en el fondo del tubo de centrifugación.

3.5.4 CONTENIDO DE RESIDUO CARBONOS SOBRE EL 10 % DE RESIDUO DE DESTILACIÓN

El método NTE INEN 1491 se utiliza para determinar la cantidad de residuo carbonoso que dejan los productos de petróleo. Se pesa una cantidad de muestra en un crisol de porcelana con una capacidad de 29 a 31 cm³. Luego calentar con una llama alta y fija hasta que todos los vapores se inflamen uniformemente; dejar enfriar el crisol a temperatura ambiente. Al final, el residuo carbonoso, se pesa y el valor obtenido es reportado como porcentaje de carbón residual sobre el 10 % del residuo de destilación.

3.5.5 VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40°C

El ensayo NTE INEN 810 mide el tiempo en segundos, que se demora el volumen fijo del líquido en fluir bajo la acción de la gravedad, a través de tubo capilar de viscosímetro calibrado a una temperatura cuidadosamente controlada.

3.5.6 CONTENIDO DE AZUFRE

Los métodos NTE INEN 1490 se aplican a una muestra que es oxidada mediante la combustión en una bomba de 300 cm³ de capacidad, que contiene oxígeno bajo presión a 4,1 MPa, La bomba lleva un circuito de ignición en el interior que permite la combustión de la muestra, entonces el azufre es determinado mediante la concentración de su masa.

3.5.7 CONTENIDO DE BIODIÉSEL

La prueba EN 14078 especifica los ensayos para la determinación de ácido graso de éster metílico contenido en el combustible diésel por medio de la espectrometría de infrarrojo. El método consiste en colocar una muestra de biodiésel. Luego se aplica un haz de luz infrarroja, según la absorción de la radiación se determina la cantidad de biodiésel que contiene, al final se forma un espectro según el porcentaje de biodiésel que contenga.

3.6 MEDICIÓN DE GASES A DIFERENTES ALTURAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR

La investigación se basa en conocer la variación de los gases de escape perjudiciales para la salud y el medio ambiente producidos por un motor diésel mediante el uso de diésel Premium y biodiésel B5 de higuera. Por esta razón, se realizó mediciones a diferente altura de las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en las localidades de Lita-Imbabura (617 msnm), Ambuquí-Imbabura (1677 msnm), Ibarra-Imbabura (2207 msnm) y Tulcán-Carchi (2953 msnm).

3.6.1 ASPECTOS TÉCNICOS DEL VEHÍCULO

La camioneta Mazda BT 50 CRDi se utilizó como vehículo experimental para el desarrollo de la investigación. El automotor es empleado para el transporte de pasajeros y carga, en zonas urbanas o rurales. La tabla 3.3 muestra las especificaciones de la camioneta.

Tabla 3. 3 Especificaciones del vehículo

Fabricante:	Mazda
Año de fabricación:	2013
Modelo:	BT-50 CD STD CRDi
Número de cilindros	4 en línea
Cilindrada:	2499 cc
Combustible:	Diésel
Alimentación:	Inyección electrónica common rail
Potencia:	140 Hp @ 3500 rpm
Torque:	330 Nm a1800 rpm

(Mazda, 2013, pág. 2).

3.6.2 ALTÍMETRO DIGITAL MULTIFUNCIÓN

El altímetro digital está diseñado para uso en exteriores, presenta un rango de medición de altura inferior a 700 hasta 9000 metros. Además está equipado con la función de barómetro y termómetro con una precisión de 0,1 hPa y 0,1 °C respectivamente (Impormel, 2018).



Figura 3. 1 Altímetro multifunción
(Impormel, 2018)

3.6.3 ANALIZADOR DE GASES BRAIN BEE AGS- 688

Es un equipo de diagnóstico automotriz que permite conocer las diferentes emisiones de gases en el escape del vehículo. El analizador de gases es altamente sofisticado cumpliendo con las normas internacionales; es capaz de medir las emisiones de HC, CO, CO₂, O₂, NO_x de forma rápida y precisa (Ingeniería y Solución Automotriz, 2012)

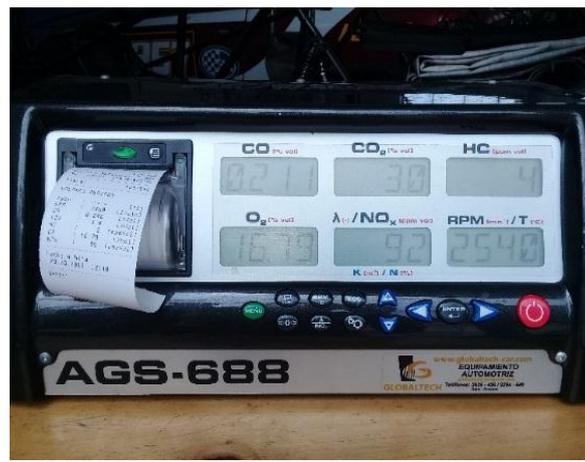


Figura 3. 2 Analizador de gases Brain Bee AGS-688

3.6.4 SENSOR AUTOMOTRIZ NOX- 0100

El sensor NO_x está diseñado con altos estándares de calidad para el uso de analizadores de gases de emisión automotriz. El sensor es capaz de medir con una precisión de 0 a 5000 ppm de óxido nítrico (NO), presentando una excelente estabilidad de señal en un tiempo de respuesta menor de 7 segundos (EnviteC, 2017, pág. 1).



Figura 3. 3 Sensor NO_x-0100
(EnviteC, 2017, pág. 1)

3.6.5 SONDA SGD-010

Es una sonda específica para la toma de emisiones de cualquier motor a diésel, ésta lleva un filtro de partículas para proteger al analizador. Además la sonda integra un software que se instala en el analizador para permitir la medición de gases de escape en motores diésel (Brain Bee S.p.A., 2016).



Figura 3. 4 Sonda SGD-010

3.6.6 EMISIONES DE CO, CO₂ Y NO_x

Las emisiones de gases de escape se producen por varios factores como la tecnología del vehículo, el estado mecánico del motor, sistemas de tratamiento de gases de escape, oxígeno en el medio ambiente, calidad del combustible, entre otros. Las emisiones de mayor importancia CO, CO₂ y NO_x se midieron con el analizador de gases. Las muestras de gases, fueron tomadas con la sonda SGD – 010. La sonda está especialmente construida para la toma de emisiones de motores que funcionan con combustible diésel.

3.6.7 PROCEDIMIENTO PARA MEDIR EMISIONES DE GASES DE ESCAPE

Al iniciar con la medición de los gases de escape, el motor debe alcanzar la temperatura normal de funcionamiento entre 80 o 85° C. Después se efectuó todas las conexiones de alimentación eléctrica del analizador AGS-688 Brain Bee y la instalación de la sonda SGD-010 en el analizador.



Figura 3. 5 Proceso de medición de gases de escape

El siguiente paso fue encender el analizador, esperar hasta que alcance la temperatura normal de funcionamiento, esta operación puede tardar 10 minutos. Seguidamente se introduce en la configuración del analizador los datos del vehículo, tipo de combustible, placa.

Terminada esta acción se conecta el captador de revoluciones a la batería del motor para comprobar de manera exacta las revoluciones a las que se encuentra.



Figura 3. 6 Captador de revoluciones del motor

Una vez comprobado que todos los equipos están funcionando correctamente se introduce la sonda SGD-010 en el tubo de escape de la camioneta.



Figura 3. 7 Instalación de la sonda SGD-010 en el tubo de escape

Al finalizar la medición de emisiones con el motor utilizando diésel fósil y biodiésel B5, es necesario realizar una limpieza del filtro de partículas y manguera de la sonda SGD-010 con aire comprimido para evitar el ingreso de cualquier impureza al analizador.



Figura 3. 8 Limpieza de la sonda con aire

3.7 ESPECIFICACIÓN DE LOS LUGARES PARA LA TOMA DE DATOS

La toma de datos partió de la altura mínima hacia la máxima con la finalidad de llevar un orden lógico durante el proceso de ejecución de las pruebas. Las localidades seleccionadas según las alturas establecidas fueron Lita-Imbabura con una altitud de 617 msnm siendo la altura más baja para el estudio.

Luego se estableció el sector de Ambuquí-Imbabura como otro punto con 1677 msnm, después se identificó a Ibarra-Imbabura con 2207 msnm. Al final fue seleccionada la ciudad de Tucán-Carchi por tener una altura de 2953 msnm, siendo el punto más alto para el análisis.

Los puntos específicos para la ejecución de las pruebas en cada localidad se realizaron en espacio abierto con el fin de evitar errores en las mediciones. Además las pruebas se ejecutaron cerca a poblaciones para disponer de energía eléctrica, necesaria en la alimentación de los equipos de medición.

La selección de los lugares de acuerdo a las alturas establecidas en el proyecto para la adquisición de datos, se realizó mediante el empleo de Google Maps y un altímetro. Así se logró llevar a cabo la investigación, cumpliendo con lo establecido conforme los propósitos del proyecto.

3.7.1 LOCALIDAD DE LITA-IMBABURA 617 MSNM

Los datos se obtuvieron en la altitud de 617 msnm; en la localidad de Lita-Imbabura. La altura se determinó mediante el empleo del altímetro. La ubicación para la realización de las pruebas de emisiones fue en la gasolinera de la misma localidad.

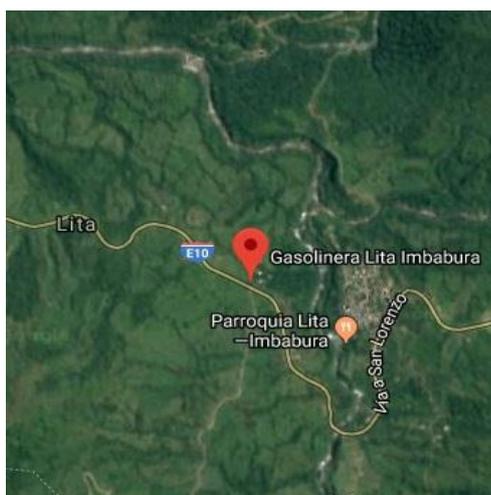


Figura 3. 9 Localidad de Lita-Imbabura
(Google maps, 2018)

3.7.2 LOCALIDAD DE AMBUQUÍ-IMBABURA 1677 MSNM

La altitud se determinó mediante el uso del altímetro a 1677 msnm; en la localidad de Ambuquí- Imbabura, las pruebas de gases de escape se llevaron a cabo cerca de la gasolinera.

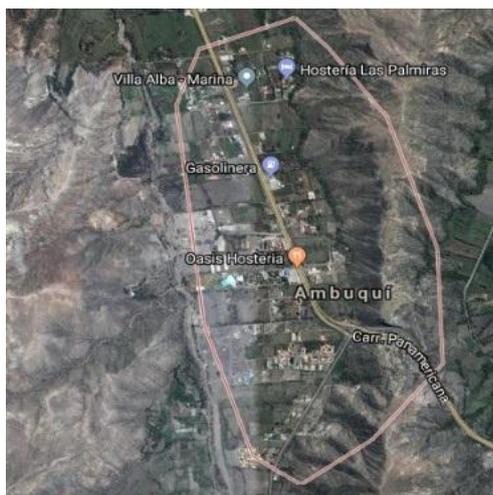


Figura 3. 10 Localidad de Ambuquí-Imbabura
(Google maps, 2018)

3.7.3 LOCALIDAD DE IBARRA-IMBABURA 2207 MSNM

La altura se adquirió mediante el empleo del altímetro a 2207 msnm en la localidad de Ibarra-Imbabura. Las mediciones se realizaron en los talleres de mecánica automotriz de la Universidad Técnica del Norte.

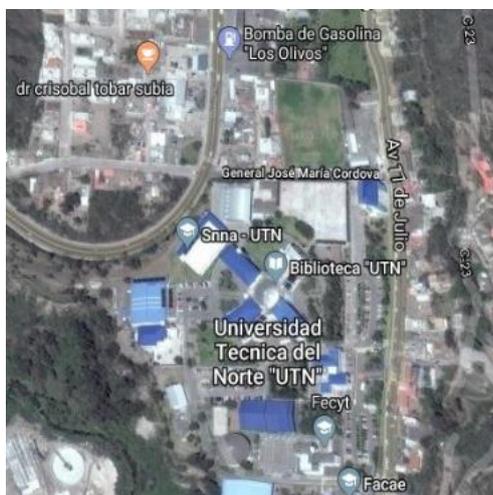


Figura 3. 11 Localidad de Ibarra-Imbabura
(Google maps, 2018)

3.7.4 LOCALIDAD DE TULCÁN-CARCHI 2953 MSNM

Los datos se lograron en la altitud de 2953 msnm en la localidad de Tulcán-Carchi. Para la selección de la altura se utilizó el altímetro. Las mediciones se realizaron cerca al terminal terrestre de Tulcán.

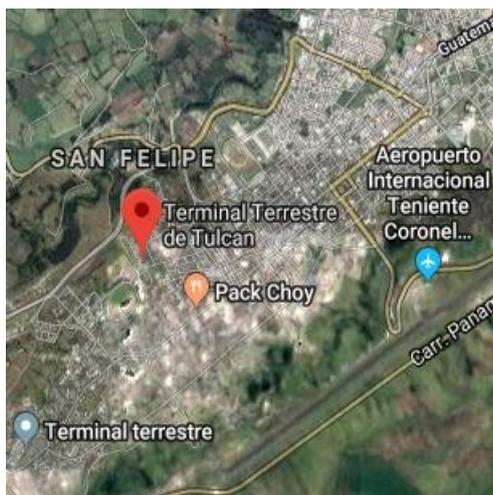


Figura 3. 12 Localidad de Tulcán-Carchi
(Google maps, 2018)

3.8 PRUEBA DE EMISIONES DE GASES DE ESCAPE CON DIÉSEL FÓSIL

El proceso efectuado para la adquisición de datos, con diésel fósil en las alturas de 617, 1677, 2207 y 2953 msnm fue necesario utilizar 10 litros de diésel Premium. El tiempo total requerido en todas las pruebas fue de 3 horas. De tal manera en cada altura se distribuyó el tiempo; 15 minutos en el calentamiento del motor, mientras que para la adquisición de las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) se utilizó 30 minutos.

Los datos se tomaron mediante prueba estacionaria a diferentes regímenes del motor que partían desde 750, 1500 y 2500 rpm. El tiempo empleado por cada revolución fue de 1 minuto, así se realizaron 3 ensayos al final se presenta un promedio de cada emisión representados mediante tablas. Este proceso se realizó en cada una de las localidades Lita, Ambuquí, Ibarra y Tulcán para cumplir con el desarrollo de la investigación.

3.8.1 PRUEBA EN LA LOCALIDAD DE LITA-IMBABURA 617 MSNM

Previo a la realización de la toma de gases de escape del motor en la localidad de Lita, se obtuvo la temperatura de 27°C y una presión atmosférica de 941,2 hPa o 94,12 kPa.

La tabla 3.4 presenta los datos de las emisiones de CO según las revoluciones del motor, estas alcanzaron un promedio de 0,034 %Vol a 750 y 1500 rpm, en las 2500 rpm se incrementó el porcentaje en 0,174 %Vol. Las emisiones de CO₂ presentaron el siguiente comportamiento a 750 rpm, el valor fue de 2,8 %Vol mientras que a 1500 y 2500 rpm los promedios fueron iguales 2,7% Vol. Por otra parte los NO_x a 750 rpm obtuvieron 237 ppm siendo mayores que a 1500 y 2500 rpm, en estas revoluciones consiguieron 108 ppm y 55,33 ppm respectivamente.

Tabla 3. 4 Datos de emisiones de CO, CO₂ y NO_x diésel fósil a 617 msnm

RPM		CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	NO _x (ppm)
750	1°	0,042	2,8	230
	2°	0,028	2,8	245
	3°	0,031	2,8	236
Promedio		0,034	2,8	237
1500	1°	0,034	2,7	102
	2°	0,033	2,7	109
	3°	0,035	2,7	113
Promedio		0,034	2,7	108
2500	1°	0,174	2,7	52
	2°	0,179	2,7	57
	3°	0,168	2,7	57
Promedio		0,174	2,7	55,33

3.8.2 PRUEBA EN LA LOCALIDAD DE AMBUQUÍ-IMBABURA 1677 MSNM

La temperatura en la localidad de Ambuquí fue de 22°C y la presión atmosférica de 827,2 hPa o 82,72 kPa. Estos datos se consideraron debido a que influye en el funcionamiento del motor y en las emisiones de gases de escape.

La tabla 3.5 muestra la variación de las emisiones de CO, estas fueron de 0,050 %Vol a 750 rpm, alcanzadas las 1500 rpm el porcentaje se redujo a 0,045 %Vol luego a 2500 rpm vuelven a incrementarse hasta 0,202 % Vol.

Por otro lado a 750 rpm, el CO₂ tiene un valor de 3 %Vol a medida que desarrollan la revoluciones hasta 1500 aumenta a 3,1 %Vol mientras que a 2500 rpm se reducen a 2,93 %Vol. Los NO_x presentan el máximo promedio de 267 ppm a 750 rpm este se reduce a 119 ppm y 91,33 ppm conforme incrementan las revoluciones de 1500 a 2500 rpm respectivamente.

Tabla 3. 5 Datos de emisiones de CO, CO₂ y NO_x diésel fósil a 1677 msnm

RPM		CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	NO _x (ppm)
750	1°	0,049	3	266
	2°	0,05	3	266
	3°	0,05	3	269
Promedio		0,050	3	267
1500	1°	0,045	3	111
	2°	0,045	3,1	122
	3°	0,044	3,1	124
Promedio		0,045	3,1	119
2500	1°	0,207	2,9	78
	2°	0,201	3	92
	3°	0,197	2,9	104
Promedio		0,202	2,93	91,33

3.8.3 PRUEBA EN LA LOCALIDAD DE IBARRA-IMBABURA 2207 MSNM

Los datos de temperatura a 18°C y presión atmosférica de 773,5 hPa o 77,35 kPa se midieron en la localidad de Ibarra debido a que afectan el comportamiento del motor y en consecuencia sobre las emisiones de gases de escape.

Los datos mostrados en la tabla 3.6 indican que a 750 rpm el CO presenta un promedio de 0,053 %Vol, en las 1500 rpm se reduce a 0,050 %Vol en cambio a 2500 rpm aumentan en 0,224 %Vol. Las emisiones de CO₂ muestra un valor de 3,2 %Vol a 750 rpm alcanzadas las 1500 rpm se incrementa hasta 3,3 %Vol. Sin embargo a 2500 rpm se reduce a 3,1 %Vol. Por

otra parte los NO_x tienen un valor de 284,33 ppm, 133 ppm y 96 ppm a 750, 1500 y 2500 rpm respectivamente.

Tabla 3. 6 Datos de emisiones de CO, CO₂ y NO_x diésel fósil a 2207 msnm

RPM		CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	NO _x (ppm)
750	1°	0,05	3,3	284
	2°	0,053	3,2	268
	3°	0,056	3,2	301
Promedio		0,053	3,2	284,33
1500	1°	0,05	3,4	127
	2°	0,05	3,3	135
	3°	0,051	3,2	137
Promedio		0,050	3,3	133
2500	1°	0,23	3,2	85
	2°	0,224	3,1	95
	3°	0,218	3,1	108
Promedio		0,224	3,1	96

3.8.4 PRUEBA EN LA LOCALIDAD DE TULCÁN-CARCHI 2953 MSNM

Previo a la realización de la pruebas de emisiones en la localidad de Tulcán se registró las condiciones de temperatura de 11 °C y presión atmosférica de 708,6 hPa o 70,86 kPa debido a que estas afectan el desempeño del motor.

En la tabla 3.7 se observa que a 750 rpm el CO obtuvo 0,074 % Vol a medida que aumentan las revoluciones a 1500 reduce en 0,058 % Vol. Sin embargo a 2500 rpm el porcentaje crece hasta 0,226 % Vol.

Por otra parte el CO₂ tiene un valor de 3,4 % Vol a 750 rpm, alcanzadas la 1500 rpm crecen hasta 3,5 % Vol mientras que a 2500 disminuye a 3,2 % Vol. Las emisiones de NO_x presentan el promedio más alto de 310,67 ppm a 750 rpm, mientras que a 1500 y 2500 rpm se reducen a 142,67 ppm y 99,33 ppm respectivamente.

Tabla 3. 7 Datos de emisiones de CO, CO₂ y NO_x diésel fósil a 2953 msnm

RPM		CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	NO _x (ppm)
750	1°	0,066	3,4	311
	2°	0,077	3,4	310
	3°	0,078	3,4	311
Promedio		0,074	3,4	310,67
1500	1°	0,059	3,5	137
	2°	0,058	3,5	145
	3°	0,058	3,5	146
Promedio		0,058	3,5	142,67
2500	1°	0,23	3,2	94
	2°	0,229	3,2	101
	3°	0,218	3,2	103
Promedio		0,226	3,2	99,33

3.9 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA B5

Previo a la realización de las pruebas de emisiones con biodiésel B5 a base de higuerrilla se realizó la combinación entre diésel Premium y biodiésel. Para obtener una mezcla de B5 es necesario utilizar 95 % de diésel fósil y 5 % de biodiésel de higuerrilla.

**Figura 3. 13** Preparación del biodiésel B5

Para que el motor de la camioneta permanezca habilitado para funcionar con biodiésel B5 fue necesario construir un depósito externo con el fin de aprovechar de mejor forma el combustible.



Figura 3. 14 Depósito externo para la utilización de biodiésel en el motor

Después de realizar las mediciones de gases de escape con diésel Premium, es necesario sustituir el filtro de combustible con el fin de evitar que el biodiésel B5 y el diésel fósil se mezclen y puedan alterar el resultado de las emisiones con el combustible B5.



Figura 3. 15 Sustitución del filtro de combustible

Luego de sustituir el filtro de combustible se purga el circuito para evitar que ingrese aire al sistema. Las pruebas fueron realizadas en condiciones de temperatura normal de funcionamiento del motor 85 °C y se obtuvieron los siguientes resultados.

3.10 PRUEBA DE EMISIONES DE GASES DE ESCAPE CON BIODIÉSEL B5

La toma de datos de emisiones se realizó en las altitudes de 617, 1677, 2207 y 2953 msnm, se emplearon 10 litros de biodiésel B5. El tiempo total requerido en todas las alturas fue 3 horas que se distribuyeron de la siguiente forma: en cada altura se empleó 15 minutos en el calentamiento del motor. Mientras que para la adquisición de las emisiones de CO, CO₂ y NO_x se utilizó 30 minutos.

Los datos se tomaron en prueba estacionaria a diferentes regímenes del motor que partían desde 750, 1500 y 2500 rpm. El tiempo empleado por cada revolución fue de 1 minuto, así se realizaron 3 ensayos al final se presenta un promedio de cada emisión representados por medio de tablas. Este proceso se realizó en cada una de las localidades Lita, Ambuquí, Ibarra y Tulcán para cumplir con desarrollo del proyecto.

3.10.1 PRUEBA EN LA LOCALIDAD DE LITA-IMBABURA 617 MSNM

Previo a la realización de la toma de datos sobre emisiones de gases de escape en la localidad de Lita; se consideró las condiciones de temperatura de 28°C y presión atmosférica de 948,0 hPa o 94,80 kPa.

En la tabla 3.8 se muestra que el CO a 750 rpm presenta un valor de 0,027 % Vol alcanzadas las 1500 y 2500 rpm los porcentajes fueron 0,029 % Vol y 0,155 % Vol respectivamente. El dióxido de carbono (CO₂) presentó un promedio de 2,67 % Vol a 750 rpm, en las 1500 rpm mostraron una pequeña disminución 2,6 % Vol.

Mientras que a 2500 rpm crecieron hasta alcanzar 2,7 % Vol. Los NO_x a 750 rpm tuvieron un valor de 216,33 ppm este disminuye progresivamente conforme aumentan las revoluciones en 81,33 ppm y 41,67 ppm a 1500 y 2500 rpm respectivamente.

Tabla 3. 8 Datos de emisiones de CO, CO₂ y NO_x biodiésel a 617 msnm

RPM		CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	NO _x (ppm)
750	1°	0,028	2,7	210
	2°	0,026	2,6	221
	3°	0,027	2,7	218
Promedio		0,027	2,67	216,33
1500	1°	0,03	2,5	75
	2°	0,029	2,6	83
	3°	0,028	2,7	86
Promedio		0,029	2,6	81,33
2500	1°	0,164	2,7	34
	2°	0,153	2,7	44
	3°	0,149	2,7	47
Promedio		0,155	2,7	41,67

3.10.2 PRUEBA EN LA LOCALIDAD DE AMBUQUÍ-IMBABURA 1677 MSNM

La temperatura en la localidad de Ambuquí fue de 23°C y la presión atmosférica de 829,8 hPa o 82,98 kPa, estos datos se consideraron antes de realizar las pruebas de emisiones en el vehículo.

La tabla 3.9 y 3.10 muestran los promedios de CO a 750 y 1500 rpm siendo iguales a 0,039 %Vol alcanzadas las 2500 rpm aumenta en 0,184 %Vol. El comportamiento del CO₂ es variable siendo el valor más alto a 750 rpm con 2,93 %Vol en las 1500 rpm el porcentaje disminuye a 2,83 %Vol.

Sin embargo a 2500 rpm vuelve a incrementarse hasta 2,9 %Vol. Los NO_x presentan el porcentaje máximo a 750 rpm con 239 ppm este desciende a 114,67 ppm a 1500 rpm y 86,33 ppm alcanzadas las 2500 rpm.

Tabla 3. 9 Datos de emisiones de CO, CO₂ y NO_x biodiésel a 1677 msnm

RPM		CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	NO _x (ppm)
750	1°	0,036	3	248
	2°	0,041	2,9	235
	3°	0,04	2,9	234
Promedio		0,039	2,93	239

Tabla 3. 10 Datos de emisiones de CO, CO₂ y NO_x biodiésel a 1677 msnm (continuación)

RPM		CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	NO _x (ppm)
1500	1°	0,037	2,9	111
	2°	0,039	2,8	115
	3°	0,041	2,8	118
Promedio		0,039	2,83	114,67
2500	1°	0,184	2,9	78
	2°	0,178	2,8	86
	3°	0,189	3	95
Promedio		0,184	2,9	86,33

3.10.3 PRUEBA EN LA LOCALIDAD DE IBARRA-IMBABURA 2207 MSNM

Antes de realizar las pruebas de emisiones en la localidad de Ibarra, se consideró la temperatura de 20°C y una presión atmosférica de 776,9 hPa o 77,69 kPa debido a que afectan el comportamiento del motor durante el funcionamiento.

La tabla 3.11 y 3.12 presentan el porcentaje de 0,047 %Vol de CO a 750 rpm, alcanzadas las 1500 rpm disminuyen en 0,041 % Vol, mientras que a 2500 rpm se obtuvo 0,209 % Vol. Las emisiones de CO₂ lograron un promedio de 2,97 % Vol y 3 %Vol a 750 y 2500 rpm respectivamente, el valor máximo se presentó a 1500 rpm con 3,17 %Vol. Los NO_x alcanzan el promedio más bajo a 2500 rpm con 87,67 ppm, la disminución de las revoluciones hace que los óxidos de nitrógeno aumenten en 123,33 ppm y 272,33 ppm a 1500 y 750 rpm respectivamente.

Tabla 3. 11 Datos de emisiones de CO, CO₂ y NO_x biodiésel a 2207 msnm

RPM		CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	NO _x (ppm)
750	1°	0,04	2,9	273
	2°	0,046	3	273
	3°	0,054	3	271
Promedio		0,047	2,97	272,33
1500	1°	0,04	3,1	120
	2°	0,041	3,2	123
	3°	0,043	3,2	127
Promedio		0,041	3,17	123,33

Tabla 3. 12 Datos de emisiones de CO, CO₂ y NO_x biodiésel a 2207 msnm (continuación)

RPM		CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	NO _x (ppm)
2500	1°	0,215	3	72
	2°	0,201	3	94
	3°	0,211	3	97
Promedio		0,209	3	87,67

3.10.4 PRUEBA EN LA LOCALIDAD DE TULCÁN-CARCHI 2953 MSNM

El clima en Tulcán presentaba una temperatura de 13°C y la presión atmosférica de 709,2 hPa o 70,92 kPa; se registraron estos datos debido a que influyen en la combustión del motor.

La tabla 3.13 muestra los valores de 0,222 %Vol de CO a 2500 rpm siendo el promedio más alto, en cambio a 750 rpm se observa una variación de 0,049 %Vol, este disminuye hasta 0,047 %Vol a 1500 rpm. Por otra parte el CO₂ presenta el mismo valor de 3,2 %Vol a 750 y 2500 rpm. Sin embargo a 1500 rpm aumenta en 3,4 %Vol. Las emisiones de NO_x alcanzó el promedio de 93 ppm a 2500 rpm, este incrementa de 125 ppm y 280,33 ppm conforme las revoluciones disminuyen de 1500 a 750 rpm respectivamente.

Tabla 3. 13 Datos de emisiones de CO, CO₂ y NO_x biodiésel a 2953 msnm

RPM		CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	NO _x (ppm)
750	1°	0,049	3,2	276
	2°	0,049	3,2	283
	3°	0,048	3,2	282
Promedio		0,049	3,2	280,33
1500	1°	0,048	3,3	128
	2°	0,048	3,4	126
	3°	0,046	3,5	121
Promedio		0,047	3,4	125
2500	1°	0,246	3,2	83
	2°	0,222	3,2	96
	3°	0,197	3,1	100
Promedio		0,222	3,2	93

RESULTADOS Y DISCUSIÓN IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se realizó comparaciones entre las características más importantes del diésel europeo utilizado en la homologación de vehículos equipados con motores Euro 3 frente al diésel Premium con la propósitos de conocer cual tiene mejores propiedades para reducir la cantidad de emisiones de gases de escape.

También se efectuó un estudio comparativo de las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) utilizando diésel fósil y biodiésel B5 en las alturas comprendidas de 617, 1677, 2207 y 2953 msnm, con el objetivo de observar cuál de los dos combustibles emite mayores gases contaminantes al ambiente.

4.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL DIÉSEL EURO Y DIÉSEL PRÉMIUM

La normativa Euro 3, ha obligado a que los fabricantes de vehículos desarrollen mejores motores con la tecnología y el equipamiento necesario para disminuir la cantidad de emisiones de gases de escape hacia el ambiente, la norma especifica las características del combustible para ser usado en los motores cumpliendo con la reducción de los gases de escape. Por esta razón, construir motores menos contaminantes significa mejorar la calidad de los combustibles.

4.1.1 PUNTO DE INFLAMACIÓN

En la tabla 4.1 se puede apreciar el gasóleo recomendado para motores Euro 3, posee un punto de inflamación de 55 °C frente a 51 °C correspondiente al diésel Premium, el punto de inflamación es una característica que indica la temperatura más baja a la cual el diésel comienza a desprender vapores en cantidad suficiente para formar con el aire una mezcla

capaz de inflamarse momentáneamente cuando se expone a una llama. Generalmente este término se emplea como medida de seguridad en la manipulación y el almacenamiento del combustible.

Tabla 4. 1 Comparación del punto de inflamación

Requisitos	Unidad	Diésel Euro	Diésel Premium
Punto de infamación	°C	55	51

4.1.2 ÍNDICE DE CETANO

Otra propiedad importante es el índice de cetano, este indica la capacidad del combustible para auto encenderse siendo de 52 y 45 para el diésel Euro y Premium respectivamente, conforme indica la tabla 4.2.

Un alto índice o número de cetano (CN) permite una combustión más rápida evitando el retraso de la combustión, disminuye ruidos, cabeceo del motor y gases contaminantes. Por el contrario si el CN es inferior a 45, el funcionamiento del motor presenta dificultad en el arranque en frío, genera retraso en la combustión y produce mayores emisiones de gases de escape.

Tabla 4. 2 Comparación del índice de cetano

Requisitos	Unidad	Diésel Euro	Diésel Premium
Índice de cetano	-	52	45,0

4.1.3 CONTENIDO DE AZUFRE

En cuanto al contenido de azufre es de 300 y 500 ppm para el diésel Euro y Premium respectivamente como indica la tabla 4.3. El azufre es principalmente causante de emisiones de partículas altamente peligrosas para el medio ambiente y la salud de las personas.

En los motores diésel produce envejecimiento prematuro de los elementos que se encuentran en contacto produciendo desgaste corrosivo en las válvulas, asientos de válvulas y zonas del

pistón directamente expuestas a la combustión, obligando a los propietarios de vehículos a realizar el mantenimiento en menor tiempo, generando mayores pérdidas económicas.

Tabla 4. 3 Comparación del contenido de azufre

Requisitos	Unidad	Diésel Euro	Diésel Premium
Contenido de azufre	ppm	300	500

4.2 EMISIONES CON DIÉSEL FÓSIL SEGÚN ALTITUD

La realización de la comparación de los gases de escape con diésel convencional es para conocer como varía el porcentaje de las emisiones del motor conforme la altura crece, considerando las revoluciones de 750 ,1500 y 2500 rpm para la toma de datos. Al final se realizó un promedio total para comparar la diferencia de emisiones de CO, CO₂ y NO_x entre las alturas de 617,1677, 2207 y 2953 msnm.

4.2.1 VARIACIÓN DE TEMPERATURA Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA CON LA ALTURA

La figura 4.1 muestra la reducción de 59,26 % y 24,71% de temperatura ambiente y presión atmosférica respectivamente desde la localidad de Lita hasta Tulcán.

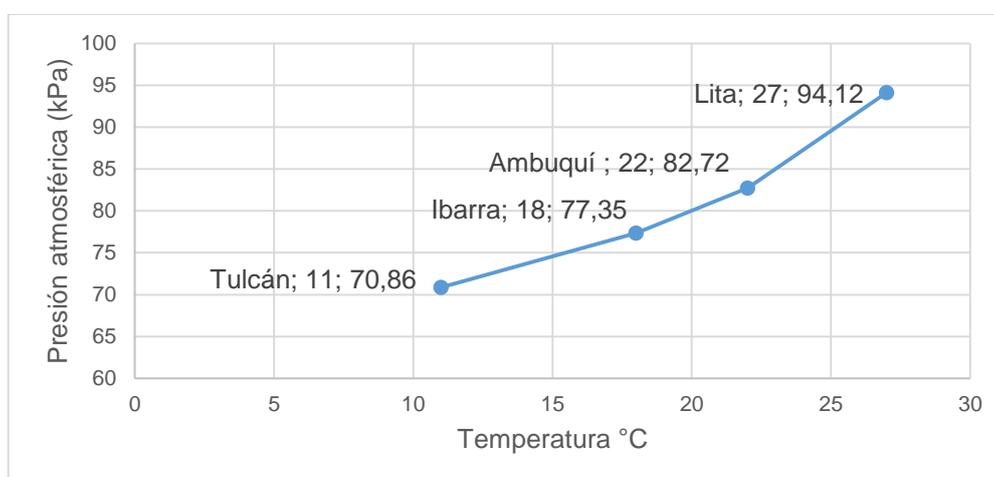


Figura 4. 1 Variación de la temperatura y presión con la altura

4.2.2 EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

La tabla 4.4 indica el comportamiento de las emisiones de monóxido de carbono entre 617 y 1677 msnm, mostrando un porcentaje de variación del 18,47 %. Por otra parte en las alturas de 1677 y 2207 msnm se reduce hasta 9,57 %. Igualmente se aprecia una disminución de 8,48 % en las aturas de 2207 y 2953 msnm.

Tabla 4. 4 Promedio de monóxido de carbono (CO) del diésel fósil según altitud

Altura msnm	CO (%Vol)			
	750 rpm	1500 rpm	2500 rpm	Promedio
617	0,034	0,034	0,174	0,080
1677	0,050	0,045	0,202	0,099
2207	0,053	0,050	0,224	0,109
2953	0,074	0,058	0,226	0,119

4.2.3 EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

La tabla 4.5 enseña los valores alcanzados por las emisiones de CO₂ con un porcentaje de 8,89 % entre las alturas de 617 y 1677 msnm, en cambio se reduce a 6,90 % en las altitudes de 1677 y 2207 msnm, conforme aumenta la altura de 2207 a 2953 msnm, el CO₂ presenta una variación de 4,29 %.

Tabla 4. 5 Promedio de dióxido de carbono (CO₂) del diésel fósil según altitud

Altura msnm	CO ₂ (%Vol)			
	750 rpm	1500 rpm	2500 rpm	Promedio
617	2,8	2,7	2,7	2,7
1677	3	3,1	2,93	3,0
2207	3,2	3,3	3,1	3,2
2953	3,4	3,5	3,2	3,4

4.2.4 EMISIONES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)

La tabla 4.6 muestra la variación de los NO_x en las alturas de 617 y 1677 msnm, con un porcentaje de 16,13 % a medida que la altura aumenta de 1677 a 2207 msnm el valor cambia

a 7,01 %. En mayores alturas desde 2207 y 2953 msnm se observa un incremento de 7,12 %.

Tabla 4. 6 Promedio de óxidos de nitrógeno (NO_x) del diésel fósil según altitud

Altura msnm	NO _x (ppm)			
	750 rpm	1500 rpm	2500 rpm	Promedio
617	237	108	55,33	133,44
1677	267	119	91,33	159,11
2207	284,33	133	96	171,11
2953	310,67	142,67	99,33	184,22

4.3 EMISIONES CON BIODIÉSEL B5 SEGÚN ALTITUD

La comparación de los gases de escape con biodiésel B5 según el incremento de altitud, permite observar como varía el porcentaje de emisiones, para esto fue necesario realizar un promedio total con la finalidad de facilitar la comparativa de las emisiones de CO, CO₂ y NO_x entre las alturas de 617,1677, 2207 y 2953 msnm. Entonces se consideró los datos obtenidos según las revoluciones del motor de 750, 1500 y 2500 rpm.

4.3.1 VARIACIÓN DE TEMPERATURA Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA CON LA ALTURA

La figura 4.2 muestra la reducción de 53,57 % y 25,19% de temperatura ambiente y presión atmosférica respectivamente desde la localidad de Lita hasta Tulcán.

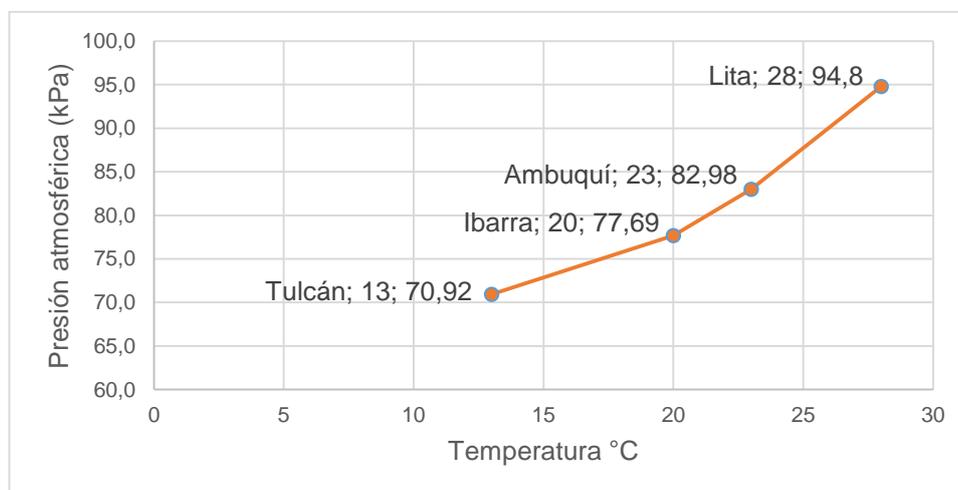


Figura 4. 2 Variación de la temperatura y presión con la altura

4.3.2 EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

En la tabla 4.7 se observa que las emisiones de monóxido de carbono (CO) presentan un porcentaje de 19,24 % entre las alturas de 617 y 1677 msnm, conforme incrementa la altura de 1677 a 2207 msnm el porcentaje se reduce a 11,90 % el valor presenta una reducción de 6,51 % entre 2207 y 2953 msnm.

Tabla 4. 7 Promedio de monóxido de carbono (CO) del biodiésel B5 según altitud

Altura msnm	CO (%Vol)			
	750 rpm	1500 rpm	2500 rpm	Promedio
617	0,027	0,029	0,155	0,070
1677	0,039	0,039	0,184	0,087
2207	0,047	0,041	0,209	0,099
2953	0,049	0,047	0,222	0,106

4.3.3 EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

La tabla 4.8 indica las emisiones de CO₂ con un promedio de 8,08 % entre las alturas de 617 y 1677 msnm. Este valor se reduce a 5,11 % en las altitudes de 1677 y 2207 msnm, conforme la altura crece de 2207 a 2953 msnm el porcentaje de CO₂ aumenta en 6,48 %.

Tabla 4. 8 Promedio de dióxido de carbono (CO₂) del biodiésel B5 según altitud

Altura msnm	CO ₂ (%Vol)			
	750 rpm	1500 rpm	2500 rpm	Promedio
617	2,67	2,6	2,7	2,66
1677	2,93	2,83	2,9	2,89
2207	2,97	3,17	3	3,04
2953	3,2	3,4	3,2	3,26

4.3.4 EMISIONES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)

La tabla 4.9 permite conocer como las emisiones de NO_x presentan el mayor porcentaje de 22,88 % entre 617 y 1677 msnm. Mientras que en las alturas de 1677 y 2207 msnm el valor se reduce en 8,97 % del mismo modo en las aturas de 2207 y 2953 msnm el promedio presenta una reducción de 3,01 %.

Tabla 4. 9 Promedio de óxidos de nitrógeno (NO_x) del biodiésel B5 según altitud

Altura msnm	NO _x (ppm)			
	750 rpm	1500 rpm	2500 rpm	Promedio
617	216,33	81,33	41,67	113,11
1677	239	114,67	86,33	146,67
2207	272,33	123,33	87,67	161,11
2953	280,33	125	93	166,11

4.4 ANÁLISIS DE LAS EMISIONES ENTRE DIÉSEL FÓSIL Y BIODIÉSEL B5 A DIFERENTE ALTURA

El objetivo de realizar este análisis es para conocer el comportamiento de las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) producidos por el motor utilizando diésel fósil y biodiésel B5 en las alturas de 617, 1677, 2207 y 2953 msnm. Los promedios utilizados para el análisis fueron seleccionados según cada altura establecida y las revoluciones de 750, 1500 y 2500 rpm. Luego se determinan el porcentaje de reducción de cada emisión entre diésel y biodiésel.

Además se presenta un promedio de porcentaje de reducción total desde la altura mínima hasta máxima. Al final se presentan diagramas de dispersión para observar de mejor manera como varían los gases de escape según la altura. El coeficiente de determinación R² mostrado en las figuras indica la relación existente entre la variable dependiente determinada por las emisiones de gases de escape CO, CO₂ y NO_x, y la variable independiente constituida por las alturas donde se obtuvieron los datos, el valor de R² suele ser de 0 a 1, cuando los valores se aproximan a la unidad significa que los datos representados por las gráficas son confiables.

4.4.1 COMPARACIÓN DEL CO ENTRE DIÉSEL FÓSIL Y BIODIÉSEL B5 A 750 RPM

En la tabla 4.10 se determina que al aumentar la altitud, las emisiones de CO en los gases de escape del motor también lo hacen para los dos combustibles. Realizando un análisis se

observa que las emisiones de CO a 617 msnm para diésel fósil aumentan en 19,80 % con relación al biodiésel B5.

El comportamiento del CO es ascendente a 1677 msnm, aumenta en 21,48 % para diésel fósil. Así mismo a 2207 msnm, el CO tiene un incremento para el diésel fósil de 11,95 % en relación a B5. A 2953 msnm se observa que el CO incrementa en 33,94% para el diésel fósil con relación a B5. Al final el porcentaje de reducción de monóxido de carbono fue de 21,79 %.

Tabla 4. 10 Comparación del CO diésel fósil vs biodiésel B5 a 750 rpm

Altura msnm	750 RPM		
	Diésel fósil [CO%Vol]	Biodiésel [CO%Vol]	Porcentaje de reducción
617	0,034	0,027	19,80 %
1677	0,050	0,039	21,48 %
2207	0,053	0,047	11,95 %
2953	0,074	0,049	33,94 %
Promedio de reducción (%)			21,79 %

La figura 4.3 permite observar el comportamiento del monóxido de carbono (CO) con el motor a 750 rpm, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,954 para diésel fósil y 0,9407 en el biodiésel, mostrando que los datos son confiables por aproximarse a la unidad.

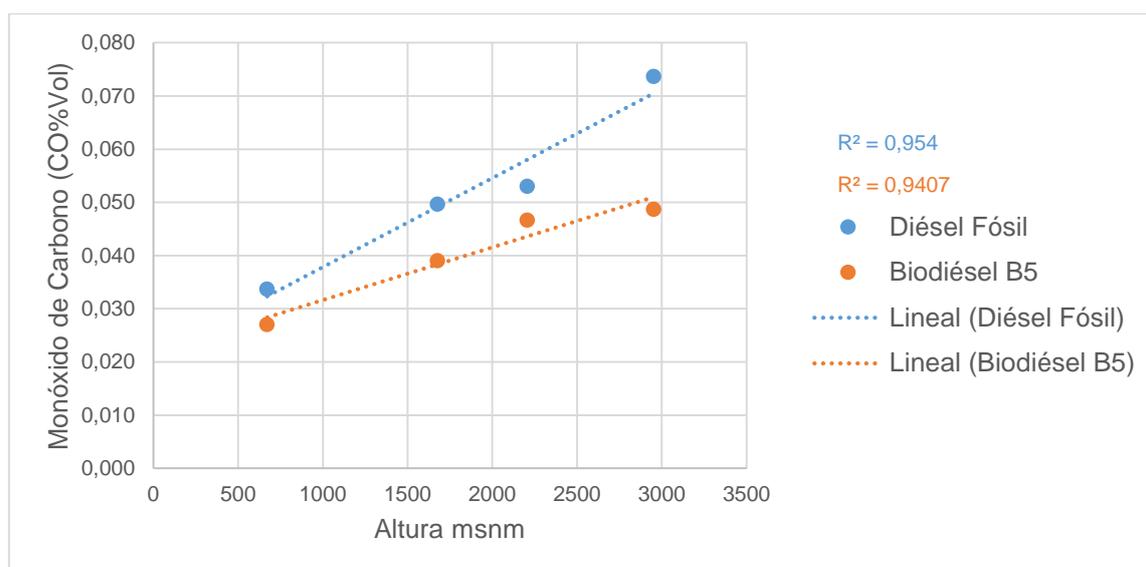


Figura 4. 3 Emisiones de monóxido de carbono (CO) vs altura a 750 rpm

4.4.2 COMPARACIÓN DEL CO ENTRE DIÉSEL FÓSIL Y BIODIÉSEL B5 A 1500 RPM

En la tabla 4.11 muestra el comportamiento de las emisiones de CO al aumentar la altitud. A 617 msnm el CO para el diésel fósil crece en 14,71 % comparado con B5. Alcanzado la altura de 1677 msnm, el CO en el diésel fósil aumenta en 12,69 %. El porcentaje de CO aumenta de igual manera en las alturas de 2207 y 2953 msnm en; 17,88 % y 18,86 % respectivamente. El porcentaje de reducción alcanzado fue de 16,03 %.

Tabla 4. 11 Comparación del CO diésel fósil vs biodiésel B5 a 1500 rpm

Altura msnm	1500 RPM		
	Diésel fósil [CO%Vol]	Biodiésel [CO%Vol]	Porcentaje de reducción
617	0,034	0,029	14,71 %
1677	0,045	0,039	12,69 %
2207	0,050	0,041	17,88 %
2953	0,058	0,047	18,86 %
Promedio de reducción (%)			16,03 %

La figura 4.4 muestra que los valores de las emisiones de CO son mayores en el gasóleo, además el coeficiente de determinación R^2 es de 1 y 0,9845 para diésel fósil y biodiésel respectivamente en las altitudes establecidas de 617, 1677, 2207 y 2953 msnm con el motor a 1500 rpm, los datos representados por R^2 son confiables por acercarse a 1.

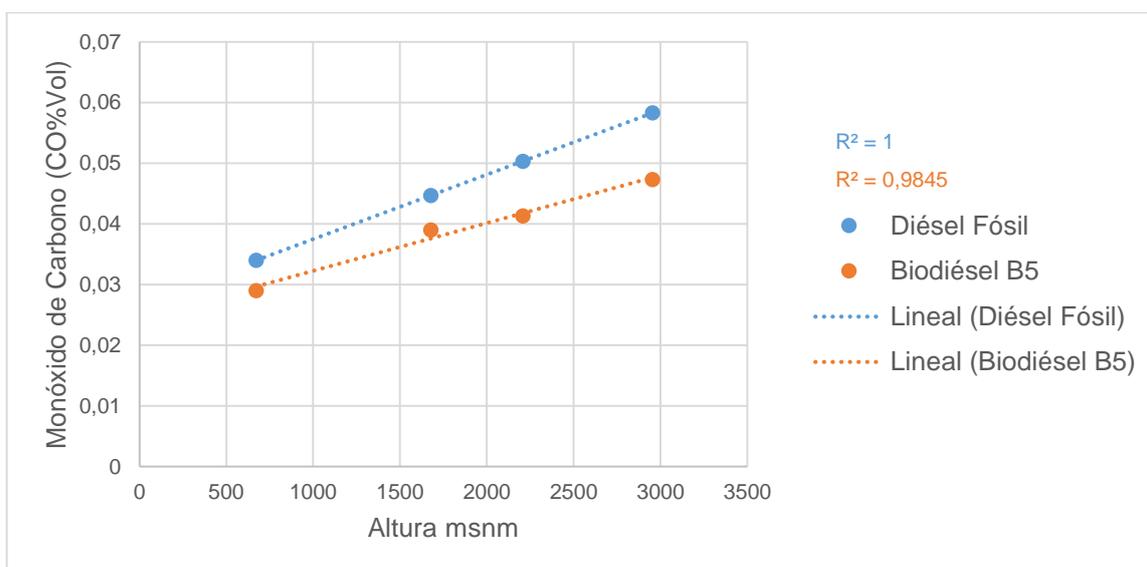


Figura 4. 4 Emisiones de monóxido de carbono (CO) vs altura a 1500 rpm

4.4.3 COMPARACIÓN DEL CO ENTRE DIÉSEL FÓSIL Y BIODIÉSEL B5 A 2500 RPM

En la tabla 4.12 se observa un incremento de CO a 617 msnm para el diésel fósil correspondiente a 10,56 % con respecto al biodiésel. De acuerdo al aumento de altura se constata que el CO a 1677, 2207 y 2953 msnm, de altura para el diésel fósil presenta una disminución de 8,93 %, 6,70 % y 1,77 % respectivamente. Sin embargo los valores alcanzados siguen siendo mayores comparados con el biodiésel. El combustible B5 presenta un promedio de reducción de 6,99 %.

Tabla 4. 12 Comparación del CO diésel fósil vs biodiésel B5 a 2500 rpm

Altura msnm	2500 RPM		
	Diésel fósil [CO%Vol]	Biodiésel [CO%Vol]	Porcentaje de reducción
617	0,174	0,155	10,56 %
1677	0,202	0,184	8,93 %
2207	0,224	0,209	6,70 %
2953	0,226	0,222	1,77 %
Promedio de reducción (%)			6,99 %

La figura 4.5 indica que el CO a diferente altura de 617, 1677, 2207 y 2953 msnm con el motor a 2500 rpm, presenta menores valores en el biodiésel B5. Mientras que el R^2 fue 0,915 para diésel fósil y 0,976 respecto al biodiésel, siendo estos valores confiables por ser próximos a la unidad.

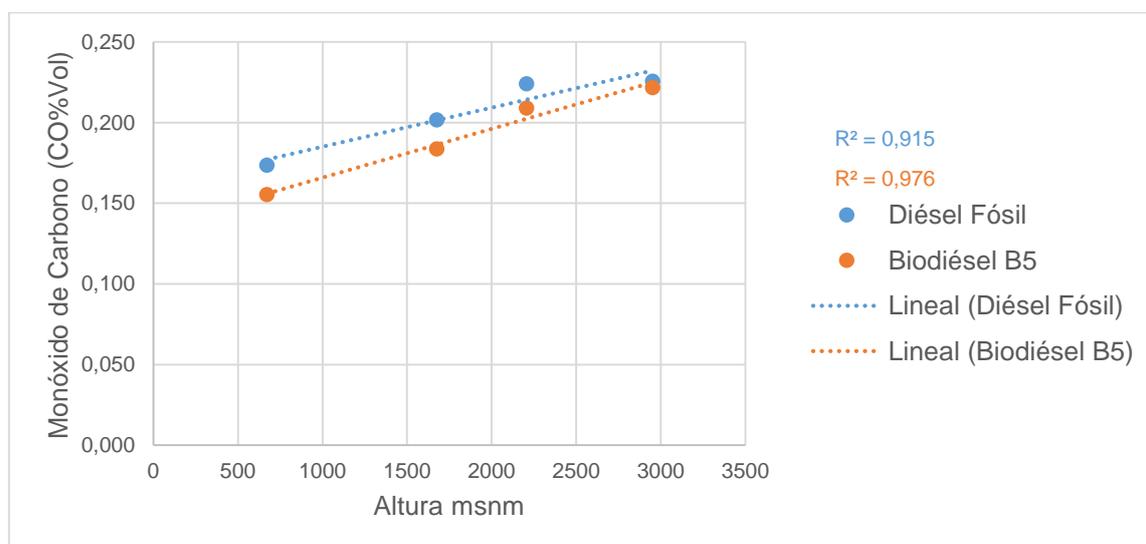


Figura 4. 5 Emisiones de monóxido de carbono (CO) vs altura a 2500 rpm

4.4.4 COMPARACIÓN DEL CO₂ ENTRE DIÉSEL FÓSIL Y BIODIÉSEL B5 A 750 RPM

En la tabla 4.13 se observa el promedio de las emisiones de dióxido de carbono a 617 msnm para el diésel fósil es de 4,76 % con relación a biodiésel. Alcanzado la altitud de 1677 msnm el valor es de 2,22 % frente al biodiésel. En la altura de 2207 msnm; se evidencia un aumento de 8,25 % del CO₂ en el diésel fósil. En cambio alcanzado la altura de 2953 msnm, las emisiones de CO₂ presentan un valor de 5,88 % en el diésel fósil. El promedio de reducción del dióxido de carbono con el uso del biodiésel fue de 5,28 %.

Tabla 4. 13 Comparación del CO₂ diésel fósil vs biodiésel B5 a 750 rpm

Altura msnm	750 RPM		
	Diésel fósil [CO ₂ %Vol]	Biodiésel [CO ₂ %Vol]	Porcentaje de reducción
617	2,80	2,67	4,76 %
1677	3,00	2,93	2,22 %
2207	3,23	2,97	8,25 %
2953	3,40	3,20	5,88 %
Promedio de reducción (%)			5,28 %

El dióxido de carbono (CO₂) en las alturas de 617 hasta 2953 msnm con el motor a 750 rpm, presenta los porcentajes con mayores cantidades en el gasóleo. Así mismo los valores del R² fueron 0,9781 y 0,9717 para diésel fósil y biodiésel B5 respectivamente según la figura 4.6 indicando que los valores del coeficiente de determinación son confiables.

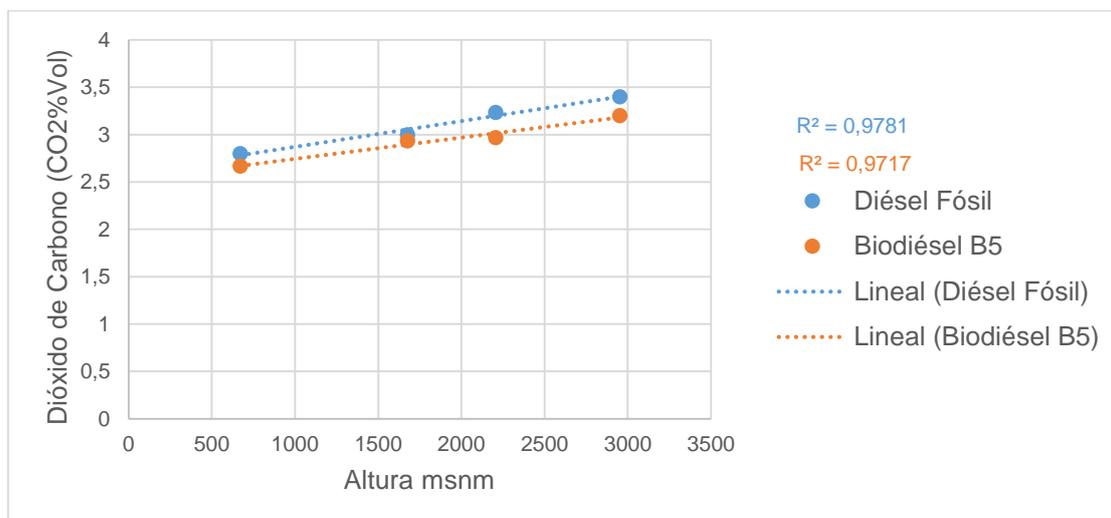


Figura 4. 6 Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) vs altura a 750 rpm

4.4.5 COMPARACIÓN DEL CO₂ ENTRE DIÉSEL FÓSIL Y BIODIÉSEL B5 A 1500 RPM

En la tabla 4.14 se observa el porcentaje de CO₂ para el diésel fósil a 617 msnm es de 3,70 % en relación al biodiésel. Alcanzado la altura de 1677 msnm el valor del diésel incrementa en 7,61 %. Por otra parte en la altura de 2207 y 2953 msnm; el CO₂ en el diésel fósil disminuye en 4,04 % y 2,86 % respectivamente, aunque comparado con biodiésel los valores siguen siendo mayores. El promedio de reducción alcanzado por el biodiésel fue de 4,55 %.

Tabla 4. 14 Comparación del CO₂ diésel fósil vs biodiésel B5 a 1500 rpm

Altura msnm	1500 RPM		
	Diésel fósil [CO ₂ %Vol]	Biodiésel [CO ₂ %Vol]	Porcentaje de reducción
617	2,70	2,60	3,70 %
1677	3,07	2,83	7,61 %
2207	3,30	3,17	4,04 %
2953	3,50	3,40	2,86 %
Promedio de reducción (%)			4,55 %

La figura 4.7 muestra la variación del CO₂ con el motor a 1500 rpm en las alturas de 617, 1677, 2207 y 2953 msnm en el diésel fósil los porcentajes son mayores en cada altura. Además el R² fue 0,9931 para diésel fósil, mientras que el biodiésel B5 obtuvo 0,9666 indicando que los valores son confiables para los dos combustibles por ser próximos a la unidad.

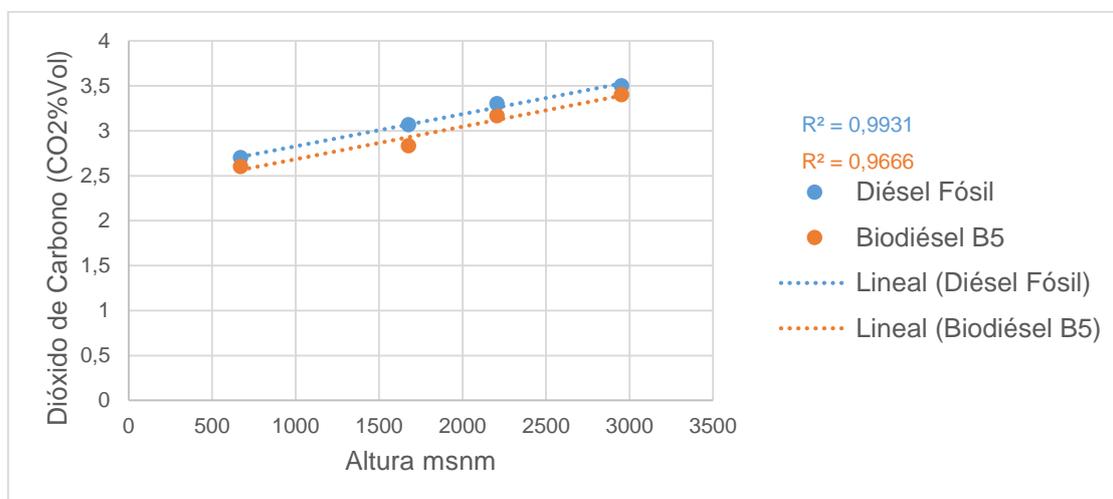


Figura 4. 7 Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) vs altura a 1500 rpm

4.4.6 COMPARACIÓN DEL CO₂ ENTRE DIÉSEL FÓSIL Y BIODIÉSEL B5 A 2500 RPM

En la Tabla 4.15 se observa que el valor del CO₂ para los dos combustibles tiene el mismo valor 0 % a 617 msnm. En las alturas de 1677 y 2207 msnm, el porcentaje incrementa en 1,14 % y 4,26 % respectivamente para el diésel comparado con biodiésel.

En cambio en la altura de 2953 msnm, el CO₂ en el diésel fósil reduce su valor en 1,04 % aunque el valor obtenido sigue siendo mayor que el biodiésel. El combustible alternativo B5 alcanzó un promedio de reducción de 1,61 %.

Tabla 4. 15 Comparación del CO₂ diésel fósil vs biodiésel B5 a 2500 rpm

Altura msnm	2500 RPM		
	Diésel fósil [CO ₂ %Vol]	Biodiésel [CO ₂ %Vol]	Porcentaje de reducción
617	2,70	2,70	0,00 %
1677	2,93	2,90	1,14 %
2207	3,13	3,00	4,26 %
2953	3,20	3,17	1,04 %
Promedio de reducción (%)			1,61 %

En las altitudes de 617 hasta 2914 msnm se evidencia que las emisiones de CO₂ presentan valores inferiores en el biodiésel B5 en cada altura.

El motor se encontraba a 2500 rpm, así mismo el R² obtuvo 0,9591 y 0,9989 para diésel fósil y biodiésel respectivamente estos valores muestran que los datos son confiables por aproximarse a 1 conforme indica la figura 4.8.

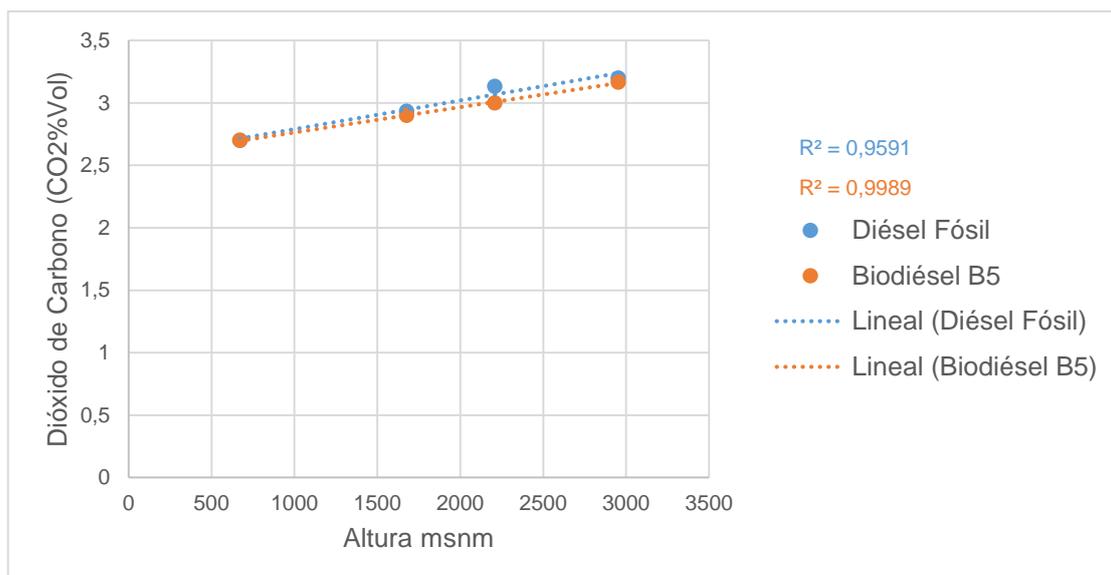


Figura 4. 8 Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) vs altura a 2500 rpm

4.4.7 COMPARACIÓN DE NO_x ENTRE DIÉSEL FÓSIL Y BIODIÉSEL B5 A 750 RPM

En la tabla 4.16 se aprecia que el promedio de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) para el diésel fósil se incrementan en las alturas comprendidas de 617 y 1677 msnm. Con los valores de 8,72 % y 10,49 % respectivamente en comparación con el biodiésel.

Alcanzado la altitud de 2207 msnm, se evidencia una reducción de los NO_x en el diésel fósil de 4,22 %. Aunque en la máxima altura de 2953 msnm, las emisiones de NO_x aumentan en 9,76 % en el diésel fósil frente al biodiésel B5. El descenso de las emisiones de NO_x son notables con el biodiésel de esta manera se obtuvo un promedio de reducción de 8,30 %.

Tabla 4. 16 Comparación de NO_x diésel fósil vs biodiésel B5 a 750 rpm

Altura msnm	750 RPM		
	Diésel fósil [NO _x ppm]	Biodiésel [NO _x ppm]	Porcentaje de reducción
617	237	216,33	8,72 %
1677	267	239	10,49 %
2207	284,33	272,33	4,22 %
2953	310,67	280,33	9,76 %
Promedio de reducción (%)			8,30 %

La figura 4.9 enseña como los óxidos de nitrógeno (NO_x) alcanzan valores superiores en las alturas de 617, 1677, 2207 y 2953 msnm con el motor a 750 rpm; el coeficiente de determinación R^2 fue de 0,9981 para diésel fósil, mientras que el biodiésel B5 obtuvo 0,934 los valores alcanzados de R^2 por los dos combustibles muestran que los datos son confiables.

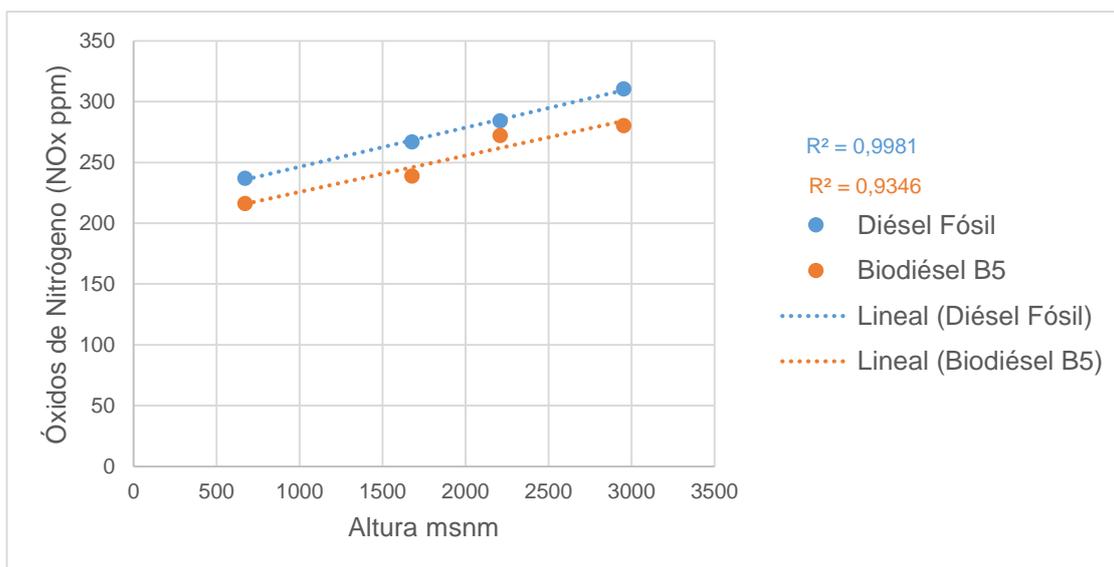


Figura 4. 9 Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) vs altura a 750 rpm

4.4.8 COMPARACIÓN DE NOX ENTRE DIÉSEL FÓSIL Y BIODIÉSEL B5 A 1500 RPM

En la tabla 4.17 se indica, el porcentaje de NO_x para el diésel fósil de 24,69 % en relación al biodiésel B5 en la altura de 617 msnm. Alcanzado la altura de 1677 msnm, el valor de NO_x es de 3,64 % para el diésel fósil. Por el contrario en las alturas de 2207 y 2953 msnm los NO_x aumentan en el diésel fósil de 7,27 % y 12,38 % frente al biodiésel. El promedio de reducción de óxidos de nitrógeno fue de 12,00 %.

Tabla 4. 17 Comparación de NO_x diésel fósil vs biodiésel B5 a 1500 rpm

Altura msnm	1500 RPM		
	Diésel fósil [NOx ppm]	Biodiésel [NOx ppm]	Porcentaje de reducción
617	108	81,33	24,69 %
1677	119	114,67	3,64 %
2207	133	123,33	7,27 %
2953	142,67	125	12,38 %
Promedio de reducción (%)			12,00 %

El motor a 1500 rpm en las alturas de 617 hasta 2953 msnm se evidencia que las emisiones de NO_x son mayores en el diésel fósil en todas altitudes conforme indica la figura 4.10.

Además el R² fue de 0,9742 y 0,8677 para diésel fósil y biodiésel respectivamente de esta forma se conoce que los datos tienen mayor grado de confiabilidad para el diésel fósil frente al biodiésel por ser próximo a la unidad.

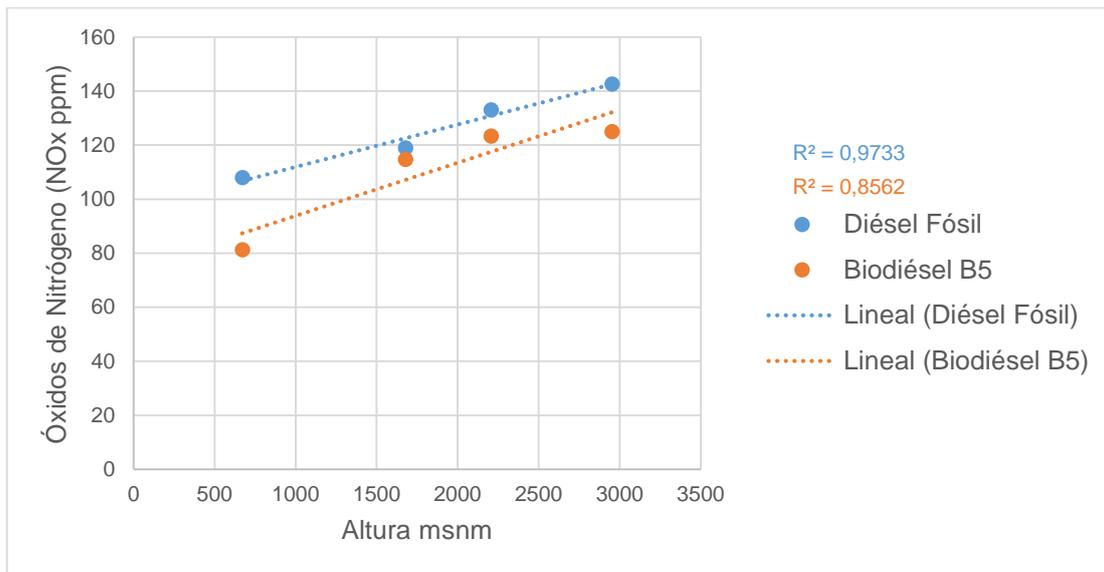


Figura 4. 10 Emisiones de óxido de nitrógeno (NO_x) vs altura a 1500 rpm

4.4.9 COMPARACIÓN DE NOX ENTRE DIÉSEL FÓSIL Y BIODIÉSEL B5 A 2500 RPM

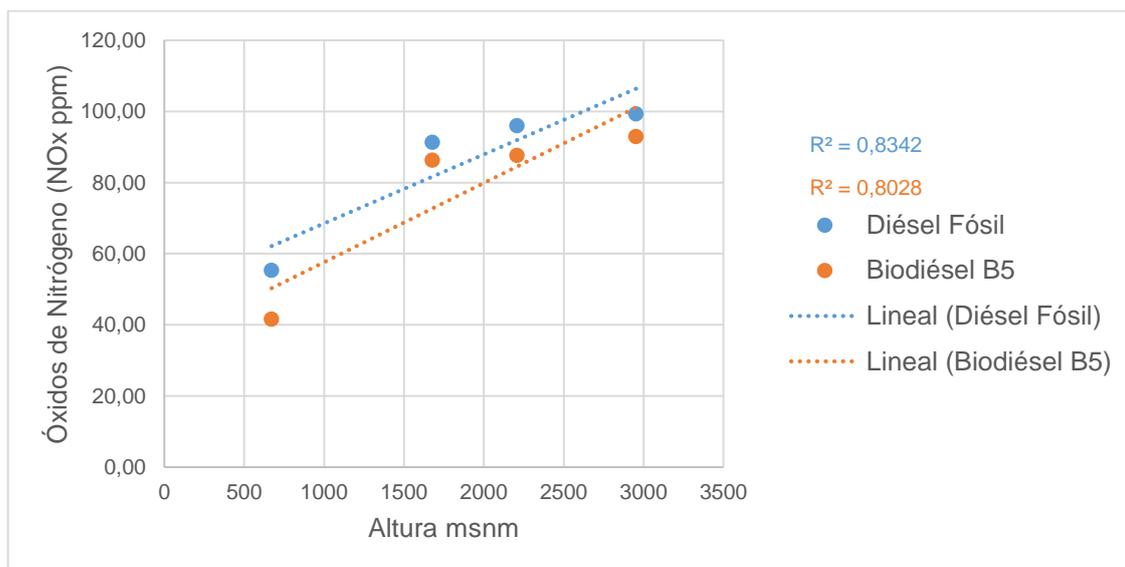
En la tabla 4.18 se aprecia que los NO_x alcanzan un valor de 24,70 % en el diésel fósil frente al biodiésel en la altura de 617 msnm. A los 1677 msnm, el porcentaje disminuye en 5,47 % para el diésel fósil. A medida que la altura aumenta a 2207 msnm el promedio de NO_x en el diésel fósil presenta 8,68 %, en la máxima altura 2953 msnm, los NO_x muestran un valor de 6,38 %.

Los valores de óxidos de nitrógeno obtenidos por el diésel fósil son mayores al biodiésel en todas las alturas, así se obtuvo un promedio de reducción de 11,31 % mediante el uso del B5.

Tabla 4. 18 Comparación de NO_x diésel fósil vs biodiésel B5 a 2500 rpm

Altura msnm	2500 RPM		
	Diésel fósil [NO _x ppm]	Biodiésel [NO _x ppm]	Porcentaje de reducción
617	55,33	41,67	24,70 %
1677	91,33	86,33	5,47 %
2207	96	87,67	8,68 %
2953	99,33	93	6,38 %
Promedio de reducción (%)			11,31 %

La figura 4.11 muestra que las emisiones de NO_x son mayores en el diésel fósil en las alturas de 617, 1677, 2207 y 2953 msnm, con el motor a 2500 rpm. Además el R² fue 0,8342 para diésel fósil mientras que el biodiésel obtuvo 0,8028 en estas condiciones los datos representados por los dos combustibles muestran un grado de confiabilidad bajo aunque se acercan a la unidad.

**Figura 4. 11** Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) vs altura a 2500 rpm

4.5 COMPARACIÓN DE EMISIONES DIÉSEL FÓSIL Y BIODIÉSEL B5 CON LA NORMA MEXICANA

Para realizar el análisis de resultados se ha citado la norma mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017 de emisiones de gases contaminantes en motores diésel según el método de prueba estacionaria. Dicha norma en uno de sus artículos describe, el derecho de las

personas para disponer de un ambiente sano, mediante la aplicación de límites de gases contaminantes producidos por automotores hacia la atmósfera (SEGOB, 2017).

Tabla 4. 19 Límites máximos permisibles de gases de escape de automotores diésel

Año Modelo	Monóxido de Carbono (CO%Vol)	Dióxido de carbono (CO2%Vol)	Óxidos de nitrógeno (NOx ppm)
1994 y Posteriores	1	7	1000

(SEGOB, 2017)

Una vez obtenidos los parámetros de control de gases contaminantes, utilizados en otros países para el control de emisiones de vehículos con motor diésel, se realizó los siguientes análisis.

4.5.1 ANÁLISIS DE EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Las emisiones de monóxido de carbono (CO) de diésel fósil y biodiésel B5 en cada altura se compararon con la norma mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, con la finalidad de conocer si los promedios obtenidos de CO por cada altura según la tabla 4.20, cumplen con los requisitos de la normativa internacional para motores diésel.

La norma establece como límite máximo 1 %Vol de CO en la prueba estática que puede emitir un automotor de gasóleo al medio ambiente. A continuación se analizan las emisiones de gases de escape en las alturas de 617,1677, 2207 y 2953 msnm.

Tabla 4. 20 Comparativa de emisiones de CO con norma mexicana

Altura msnm	Promedio CO (%Vol)		Límite máximo CO (%Vol)
	Diésel fósil	Biodiésel B5	NOM-167-SEMARNAT-2017
617	0,080	0,070	1
1677	0,099	0,087	1
2207	0,109	0,099	1
2953	0,119	0,106	1

4.5.1.1 Emisiones de monóxido de carbono a 617 msnm

En la figura 4.12 se observa que a 617 msnm, las emisiones de CO para el diésel fósil alcanzaron un promedio de 0,080 % Vol mientras que el biodiésel obtuvo 0,070 % Vol. Los porcentajes de los dos combustibles fueron comparados con la norma mexicana, donde establece que el monóxido de carbono (CO) de tener un valor de 1 % Vol de esta forma se logra cumplir con los requisitos de emisiones de forma satisfactoria. La reducción alcanzada para el diésel fósil fue de 91,96 % mientras que el biodiésel obtuvo un 92,96 %.

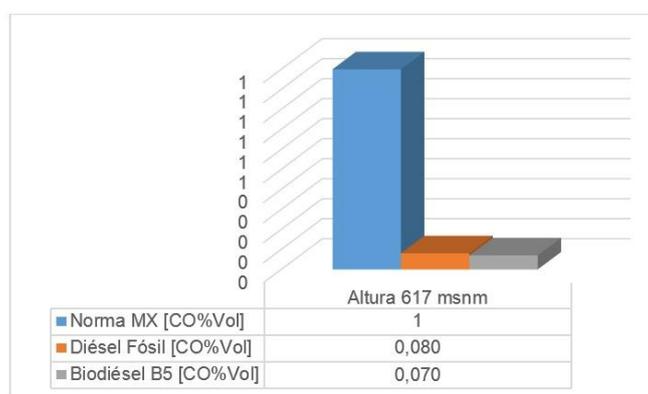


Figura 4. 12 Comportamiento del monóxido de carbono a 617 msnm

4.5.1.2 Emisiones de monóxido de carbono a 1677 msnm

La figura 4.13 muestra los porcentajes de 0,099 % Vol y 0,087 % Vol de CO para diésel fósil y biodiésel B5 respectivamente en la altitud de 1677 msnm, los valores obtenidos cumplen con la norma mexicana que establece 1 % Vol de CO. La disminución alcanzada de CO fue de 90,13 % y 91,28 % para diésel fósil y biodiésel respectivamente.

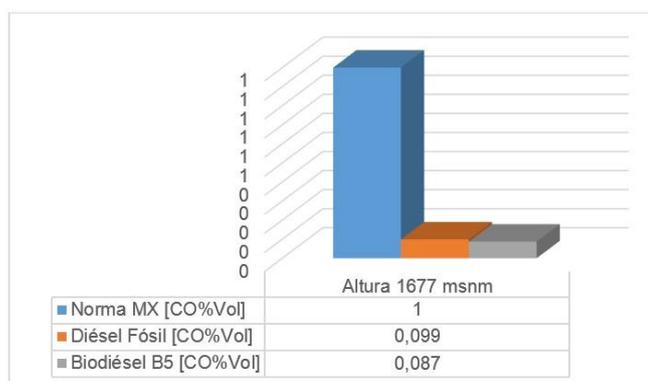


Figura 4. 13 Comportamiento del monóxido de carbono a 1677 msnm

4.5.1.3 Emisiones de monóxido de carbono a 2207 msnm

Los porcentajes de CO en la altitud de 2207 msnm se muestran en la figura 4.14; los valores alcanzados de monóxido de carbono en los combustibles cumplen con la norma mexicana donde establece que el CO debe ser de 1 % Vol siendo estos: 0,109 % Vol para diésel fósil y 0,099 % Vol para el biodiésel. Al final se logró una reducción de 89,09 % con respecto al diésel fósil y 90,10 % para el biodiésel.

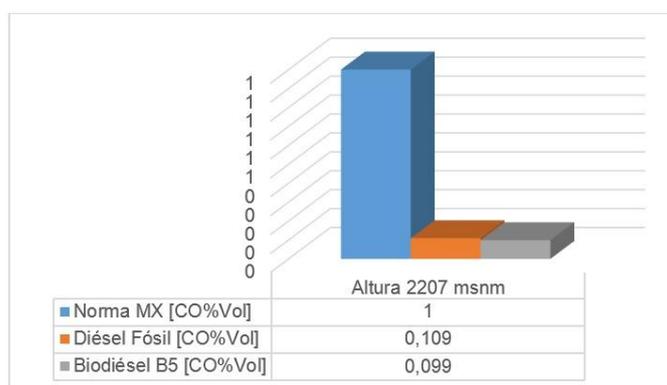


Figura 4. 14 Comportamiento del monóxido de carbono a 2207 msnm

4.5.1.4 Emisiones de monóxido de carbono a 2953 msnm

Los porcentajes de CO a 2953 msnm para diésel fósil y biodiésel mostrados en la figura 4.15 cumplen con los requisitos de la norma mexicana que determina el valor de 1 % Vol, siendo estos valores 0,119 % Vol y 0,106 % Vol para los dos combustibles respectivamente. En la altitud de 2953 msnm se logró una disminución de 88,08 % y para diésel fósil y 89,41 % en el biodiésel.

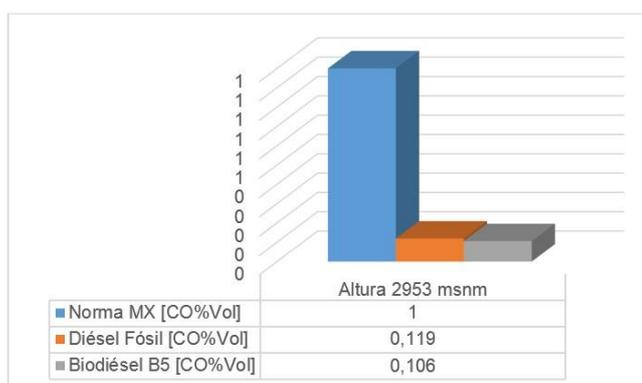


Figura 4. 15 Comportamiento del monóxido de carbono a 2953 msnm

4.5.2 ANÁLISIS DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

Otro contaminante producido por los motores de gasóleo es el dióxido de carbono (CO₂) por este motivo se realiza una comparación de los promedios obtenidos de CO₂ con diésel fósil y biodiésel B5 en las alturas de 617, 1677, 2207 y 2953 msnm conforme indica la tabla 4.21; con la normativa mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017. La norma establece como límite mínimo de emisión 7 % Vol CO₂ en la prueba estática para automotores que funcionan con gasóleo, con este dato se compara los promedios obtenidos en cada altura.

Tabla 4. 21 Comparativa de emisiones de CO₂ con norma mexicana

Altura msnm	Promedio CO2 (%Vol)		Límite mínimo CO2 (%Vol)
	Diésel fósil	Biodiésel B5	NOM-167-SEMARNAT-2017
617	2,7	2,66	7
1677	3,0	2,89	7
2207	3,2	3,04	7
2953	3,4	3,26	7

4.5.2.1 Emisiones de dióxido de carbono a 617 msnm

La figura 4.16 permite observar los valores alcanzados de CO₂ a 617 msnm siendo estos 2,7 % Vol y 2,66 % Vol para diésel fósil y biodiésel B5 respectivamente, cumpliendo con la norma mexicana que exige un valor máximo de CO₂ de 7 % Vol. En estas condiciones la disminución alcanzada fue de 60,95 % en el diésel fósil y 62,06 % para el biodiésel.

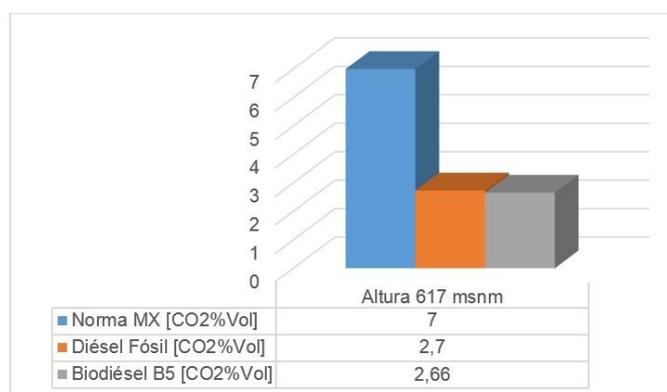


Figura 4. 16 Comportamiento del dióxido de carbono a 617 msnm

4.5.2.2 Emisiones de dióxido de carbono a 1677 msnm

En la altitud de 1677 msnm se cumple con la norma mexicana con respecto al CO₂ donde el valor máximo es 7 %Vol conforme muestra la figura 4.17. Así los valores fueron de 3,0 %Vol para diésel fósil y 2,89 %Vol para biodiésel. La reducción alcanzada de dióxido de carbono fue 57,14 % para diésel fósil, mientras que el biodiésel obtuvo 58,73 %.

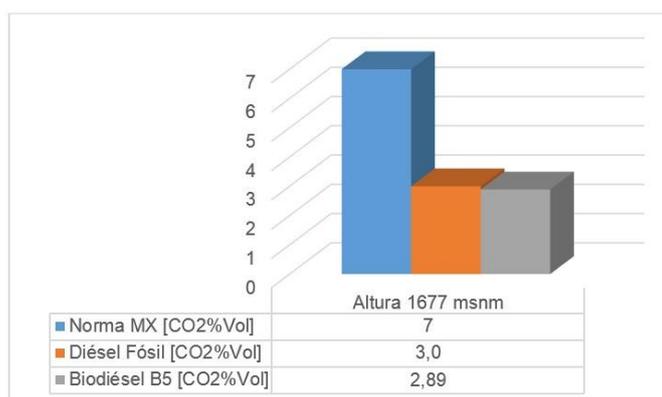


Figura 4. 17 Comportamiento del dióxido de carbono a 1677 msnm

4.5.2.3 Emisiones de dióxido de carbono a 2207 msnm

La figura 4.18 presenta los valores de CO₂ en la altitud de 2207 msnm, siendo estos 3,2 %Vol y 3,04 %Vol para diésel fósil y biodiésel B5 respectivamente. Los valores de los dos combustibles cumplen con el límite de la norma mexicana que exige el valor máximo 7 %Vol de CO₂. Además se obtuvo una reducción de 53,97 % con respecto al diésel fósil y 56,51 % para el biodiésel frente a la norma mexicana.

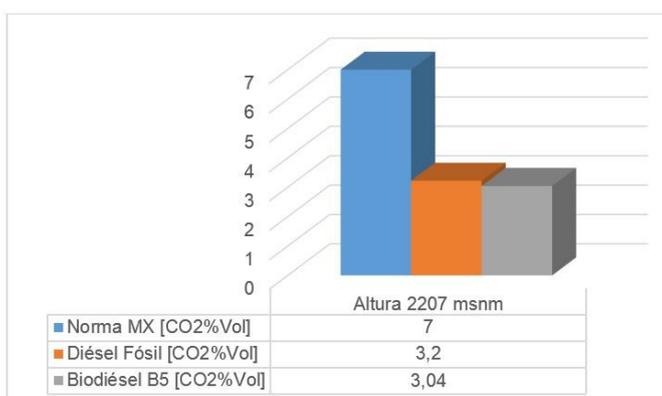


Figura 4. 18 Comportamiento del dióxido de carbono a 2207 msnm

4.5.2.4 Emisiones de dióxido de carbono a 2953 msnm

El comportamiento de las emisiones de dióxido de carbono en la altura de 2953 msnm se presentan en la figura 4.19, los porcentajes fueron 3,4 %Vol para el diésel fósil y 3,26 %Vol para el biodiésel de esta forma se cumple con la norma mexicana que establece un 7 %Vol como límite de CO₂. La reducción alcanzada en porcentaje fue de 51,90 % para diésel fósil y 53,49 % en el biodiésel.

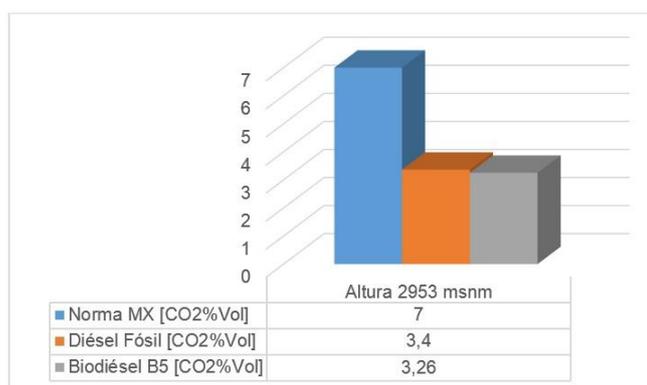


Figura 4. 19 Comportamiento del dióxido de carbono a 2953 msnm

4.5.3 ANÁLISIS DE EMISIONES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)

Los motores diésel producen óxido de nitrógeno (NO_x) son perjudiciales para la salud y el medio ambiente por los efectos altamente tóxicos. La normativa mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, establece que los motores de gasóleo pueden emitir máximo 1000 ppm de NO_x a la atmósfera en la prueba estática. A continuación se realiza una comparación con los promedios de las emisiones de NO_x producidas por un automotor empleando diésel fósil y biodiésel B5 conforme indica la tabla 4.22.en las alturas de 617,1677, 2207 y 2953 msnm

Tabla 4. 22 Comparativa de emisiones de NO_x con norma mexicana

Altura msnm	Promedio NO _x (ppm)		Límite máximo NO _x (ppm)
	Diésel fósil	Biodiésel B5	NOM-167-SEMARNAT-2017
617	133,44	113,11	1000
1677	159,11	146,67	1000
2207	171,11	161,11	1000
2953	184,22	166,11	1000

4.5.3.1 Emisiones de óxidos de nitrógeno a 617 msnm

En la figura 4.20 permite conocer el cumplimiento de la norma mexicana debido a que establece el valor de 1000 ppm para los NO_x . En la altitud de 617 msnm los valores alcanzados fueron 133,44 ppm y 113,11 ppm respectivamente para diésel y biodiésel B5. El porcentaje de disminución con relación la norma mexicana fue de 86,66 % para el diésel fósil y 88,69 % con respecto al biodiésel.

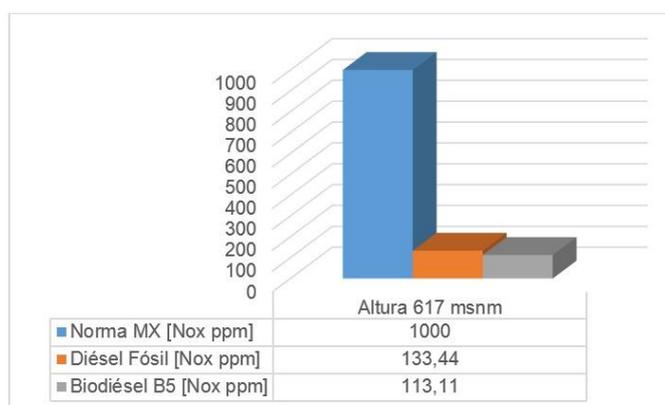


Figura 4. 20 Comportamiento de los óxidos de nitrógeno a 617 msnm

4.5.3.2 Emisiones de óxidos de nitrógeno a 1677 msnm

En la altura de 1677 msnm, el valor de NO_x del diésel fósil fue 159,11 ppm y 146,67 ppm para biodiésel con forme muestra la figura 4.21 de esta forma los valores obtenidos por los dos combustibles cumplen con lo exigido por la norma mexicana que determina 1000 ppm. Al final se observa una reducción de 84,09 % en el diésel fósil y 85,33 % para el biodiésel.

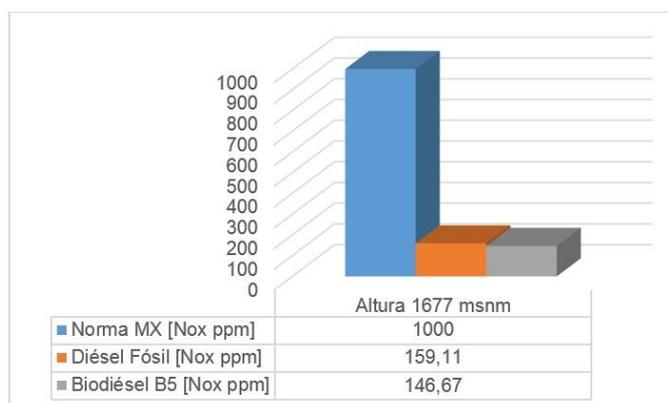


Figura 4. 21 Comportamiento de los óxidos de nitrógeno a 1677 msnm

4.5.3.3 Emisiones de óxidos de nitrógeno a 2207 msnm

Los valores obtenidos de óxidos de nitrógeno en la altura de 2207 msnm fueron de 171,11 ppm y 161,11 ppm para diésel fósil y biodiésel B5 respectivamente. Los dos combustibles cumplen con los límites de NO_x, según la norma mexicana que establece como límite de 1000 ppm conforme muestra la figura 4.22. Igualmente los porcentajes de reducción alcanzados fueron 82,89 % en el diésel fósil y 83,89 % para el biodiésel.

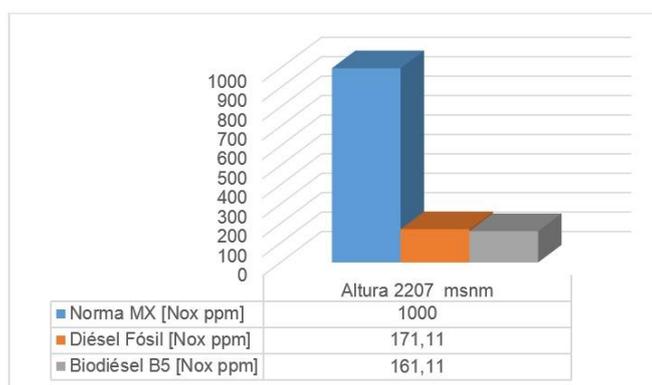


Figura 4. 22 Comportamiento de los óxidos de nitrógeno a 2207 msnm

4.5.3.4 Emisiones de óxidos de nitrógeno a 2953 msnm

La figura 4.23 muestra como el diésel fósil y biodiésel B5 logran cumplir con la norma mexicana que determina el valor máximo de 1000 ppm de NO_x, consiguiendo los siguientes valores 184,22 ppm y 166,11 ppm respectivamente para los dos combustibles en la altura de 2953 msnm. Además el promedio de reducción obtenido fue 81,58 % para el diésel fósil y 83,39 % en el biodiésel.

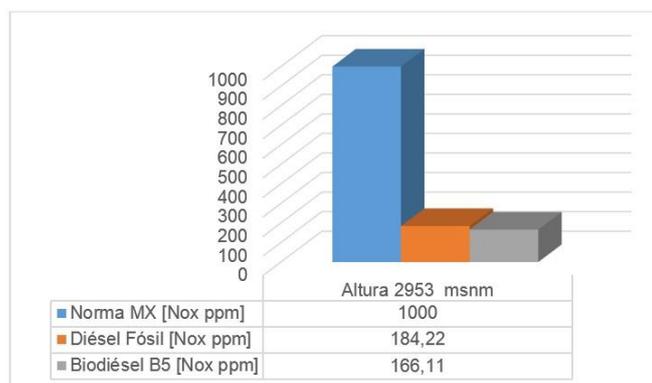


Figura 4. 23 Comportamiento de los óxidos de nitrógeno a 2953 msnm

4.5.4 COMPARATIVA DE LAS EMISIONES FRENTE A LA NORMA MEXICANA

Las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) se presentan en la tabla 4.23 con los datos totales obtenidos en todas las alturas con el fin de conocer el cumplimiento de los estándares de emisión que exige la norma NOM-167-SEMARNAT-2017.

Logrando una reducción de CO del 89,81% y 90,94% para diésel y biodiésel respectivamente. Así mismo se observa una disminución de CO₂ de 55,99% para diésel fósil y 57,70% para biodiésel. Por otra parte los NO_x obtuvieron una reducción de 83,80% en el diésel fósil y 85,33% con respecto al biodiésel B5.

Tabla 4. 23 Emisiones de CO, CO₂ y NO_x frente a la norma mexicana

Emisiones	NOM-167-SEMARNAT-2017	Diésel fósil	Biodiésel B5	(%) Reducción diésel fósil	(%) Reducción biodiésel B5
Monóxido de carbono (CO % Vol)	1	0,102	0,091	89,81%	90,94%
Dióxido de carbono (CO ₂ % Vol)	7	3,08	2,96	55,99%	57,70%
Óxidos de nitrógeno (NO _x ppm)	1000	161,97	146,75	83,80%	85,33%

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES V

5.1 CONCLUSIONES

- La norma Euro 3 se creó desde el año 2000 y la misión fue disminuir los contaminantes emitidos al ambiente producidos por motores de combustión interna utilizados en vehículos, para lograr cumplir con los requisitos de emisión fue necesario el desarrollo de motores menos contaminantes y combustibles de bajo contenido de azufre. El diésel Premium en Ecuador posee 500 ppm de azufre, en estas condiciones, no está apto para ser utilizado en un motor Euro 3 debido a que origina desgaste en la bomba de inyección, inyectores, cilindros y pistones produciendo elevadas emisiones de gases de escape; para reducir los desgastes prematuros en el motor habría que reducir el 40 % de contenido de azufre.
- La presión atmosférica entre las alturas de 617 hasta 2953 msnm se redujo en 24,71 % a pesar de existir esta caída de presión; el biodiésel B5 a base de aceite de higuerrilla permitió una reducción de emisiones frente al diésel fósil. Según las revoluciones del motor a 750 rpm la disminución de CO fue de 21,79 %, mientras que el CO₂ obtuvo 5,28 % y 8,30 % referente a los NO_x. En cambio a 1500 rpm la disminución fue 16,03 % para CO; el CO₂ logró 4,55 % y 12,00 % correspondiente a los NO_x. A 2500 rpm el descenso fue de 6,99 %; 1,61 % y 11,31 % respectivamente para el CO, CO₂ y NO_x.
- En la altitud de 617 hasta 2953 msnm las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) fueron comparadas con la normativa mexicana obteniendo los siguientes porcentajes de reducción, en cuanto al CO para diésel fósil fue de 89,81 % y 90,94 % en el biodiésel B5. De igual manera las emisiones de CO₂ alcanzaron una disminución de 55,99 % y 57,70 % para diésel y biodiésel respectivamente. Por otra parte los NO_x obtuvieron un descenso de 83,80 % para diésel fósil y 85,33 % en el biodiésel de esta manera los dos combustibles cumplieron con lo establecido según la norma internacional NOM-167-SEMARNAT-2017.

5.2 RECOMENDACIONES

- En estudios posteriores se recomienda utilizar mezclas de biodiésel a base de aceite de higuera mayores a B5 en alturas superiores a 3000 msnm, además sería recomendable someter al vehículo a carga para conocer el efecto que trae sobre las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) hidrocarburos (HC), oxígeno (O₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y opacidad.
- En futuras investigaciones sería importante realizar la caracterización de la mezcla B5 de biodiésel a base de aceite de higuera con la finalidad de conocer las propiedades y efectuar la comparación con el diésel que se comercializa a nivel nacional.
- Realizar un estudio sobre la influencia del contenido de azufre en el diésel Premium de 500 ppm en la producción de emisiones, desgaste de elementos del motor y catalizador, debido a que en el país se propuso implementar la normativa Euro 3.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Azam, A., & Shoukat, A. (2016). Emissions from Diesel Engine and Exhaust After Treatment Technologies. *4th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development 2016*, 1-6. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/314215052_Emissions_from_Diesel_Engine_and_Exhaust_After_Treatment_Technologies
2. Baca, J. C. (2011). *Inventario de Emisiones de Gases del Efecto de Invernadero. Sector Energía*. Quito: Distrito Metropolitano de Quito Secretaría de Ambiente. Obtenido de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/biblioteca-digital/category/69-proyectos?download=503:inventario-gei-dmq-2011-energia%22>
3. Balarezo, L. A. (2013). *Caracterización de Mezclas Diésel-Biodiesel Orientadas a Disminuir las Emisiones Contaminantes Provocadas por Fuentes Móviles*. Quito: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2459/1/T-UCE-0017-55.pdf>
4. Brain Bee S.p.A. (2016). *Brain Bee Automotive*. Obtenido de <https://www.brainbee.it/>
5. Brijesh, P., & Sreedhara, S. (2013). Exhaust emissions and its control methods in compression ignition engines: A review. *International Journal of Automotive Technology*, 14, 195-206. doi:DOI 10.1007/s12239-013-0022-2
6. Canaco. (2017). *Free Synonymizer*. Obtenido de <http://canacopegdl.com/keyword/diesel-molecule.html>
7. Castaño, D. A., & Patiño Jaramillo, G. A. (2003). *Estudio de los factores que inciden en el desempeño de motores de encendido provocado MEP convertidos a gas natural*. Medellín: Universidad de Antioquia. Obtenido de <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/64/1/EstudioFactoresQueIncidenDesempe%C3%B1oMotoresEncendidoProvocadoConvertidosGasNatural.pdf>
8. Diario Motor. (26 de Febrero de 2012). Una mirada técnica al problema de las emisiones. Obtenido de <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/02/26/una-mirada-tecnica-al-problema-de-las-emisiones/>
9. Downing, K. (February de 2015). The concerns about diésel engine exhaust. *State of Oregon Department of Environmental Quality*, 1- 10. Obtenido de <http://www.deq.state.or.us/aq/diesel/docs/DieselEffectsReport.pdf>
10. Ebbs, C., & Saarinen, M. (15 de Febrero de 2018). *Auto Express*. Obtenido de <http://www.autoexpress.co.uk/car-news/consumer-news/90816/euro-6-emissions-standards-what-do-they-mean-for-you>
11. El Telégrafo. (25 de Septiembre de 2015). AEA: El 35% de autos en Ecuador causa altos niveles de contaminación. *El Telégrafo*. Obtenido de <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/aea-el-35-de-autos-en-ecuador-causa-altos-niveles-de-contaminacion>

12. EnviteC. (Abril de 2017). Obtenido de https://www.envitec.com/uploads/products/00000_0458_2017_04_20_114240.pdf
13. Fidalgo, R. (17 de Febrero de 2017). Cómo reducen sus emisiones los coches. *Autocasión*. Obtenido de <http://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/como-reducen-las-emisiones-los-coches>
14. Fiebig, M., & Wiartalla, A. (2014). Particulate emissions from diesel engines: correlation between engine technology and emissions. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 1-18. doi:10.1186/1745-6673-9-6
15. Fontaneda, A. T. (2016). *Estudio de los dispositivos y sistemas que permiten el control y reducción de la contaminación en el sector del transporte por carretera*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/99222/REPORT_172.pdf?sequence=1&isAllowed=y
16. Google maps. (2018). *Google maps*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/@-1.672722,-83.615586,6z>
17. Guaita Barahona, J. E., & Sarango Tene, J. A. (2013). *Selección e Implementación de un Sistema de Sobrealimentación, para un vehículo Hyundai H100 Motor Diésel 2.6*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/2655/1/65T00079.pdf>
18. Guzmán Antamba, A. R., & Peralvo Clavón, M. A. (2011). *Estudio de las emisiones de gases contaminantes de un motor de ciclo diésel, usando combustible microemulsionado con agua*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7788/1/CD-4060.pdf>
19. Impormel. (23 de Julio de 2018). *Impormel*. Obtenido de http://impormel.com/equipos-de-medicion/971-barometro-altimetro-compass-brujula-calendario.html?search_query=altimetro&results=2
20. Ingeniería y Solución Automotriz. (31 de Diciembre de 2012). Obtenido de <http://www.solucionautomotriz.com/equipos-automotrices/control-de-emisiones/item/32-analizador-de-gas-ags-688-brain-bee>
21. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Norma INEN 1489 Productos Derivados del Petróleo. Diésel. Requisitos*. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/06/NTE-ENEN-1489-7-ENMIENDA-1.pdf>
22. Jarrín, P. F. (2015). *Análisis de resultados de la medición de emisiones de gases contaminantes de fuentes móviles a partir de la implementación de la revisión técnica vehicular en el cantón cuenca*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7647/1/UPS-CT004530.pdf>
23. Ji-Lin, L., & Ze-fei, T. (2010). Performance of Diesel Engine Fueled with Ethanol-diesel Blends in Different Altitude Regions. *International Conference on Digital Manufacturing & Automation*, 2, 82-85. doi:10.1109/ICDMA.2010.45

24. Kelland, K. (12 de Junio de 2012). *Reuters*. Obtenido de <https://lta.reuters.com/article/worldNews/idLTASIE85B0C720120612>
25. Land Transport Guru. (4 de Febrero de 2014). *European Emission Standards*. Obtenido de <http://landtransportguru.net/european-emission-standards/>
26. Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J. R., & Agudelo, A. (2006). Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 2: Motores Diésel. *Scielo*, 31-34. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000500006>
27. Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J., & Sánchez, C. (2006). Estudio del efecto de la altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 1: Funcionamiento. *Scielo*, 17, 21-30. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000500005>
28. Marcos, D. (2 de Septiembre de 2015). *Autocasión*. Obtenido de <https://www.autocasion.com/actualidad/noticias/entra-en-vigor-la-normativa-euro-6>
29. Masaquiza Yanzapanta, Á. G., & Vizuete Palacios, J. E. (2012). *Estudio técnico de un sistema integral de revisión vehicular para la provincia de Chimborazo en la ESPOCH*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2260/1/65T00046.pdf>
30. Mazda. (2013). *Mazda*. Obtenido de <https://www.auto-data.net/es/mazda-bt-50-2.5-td-143hp-11236>
31. Motor. (2 de Septiembre de 2015). *EFE Motor*. Obtenido de <https://www.efemotor.com/entra-en-vigor-la-norma-de-emisiones-euro-6-especialmente-exigente-con-los-diesel/>
32. Nesbit, M., & Colsa, A. (2016). Comparative study on the differences between the EU and US legislation on emissions in the automotive sector. *Directorate general for internal polices*, 1-100. Obtenido de [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/587331/IPOL_STU\(2016\)587331_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/587331/IPOL_STU(2016)587331_EN.pdf)
33. Nurul Ashikin, B. M., & Oliver Ling, H. L. (October de 2014). Human Health and Wellbeing: Human health effect of air pollution. *Social and Behavioral Sciences*, 153, 221-229. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.056>
34. OMS. (02 de Mayo de 2018). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
35. Paredes Quistial, R. F., & Ichau Pupiales, M. (2013). *Investigación de emisiones contaminantes de vehículos que circulan dentro de la Universidad Técnica del Norte*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3243/1/05%20FECYT%201772%20TESIS.pdf>
36. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (13 de 10 de 1998). Obtenido de https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9ee5d16b-1a4a-4a72-ac90-5e3a0bb1d745.0010.02/DOC_1&format=PDF

37. Pascual, V. (30 de Julio de 2015). *Ciencias Ambientales*. Obtenido de <https://www.cienciasambientales.com/es/noticias-ambientales/la-nueva-normativa-euro-6-hara-que-tu-proximo-coche-diesel-sea-el-menos-contaminante-de-la-historia-11139>
38. Recursos Técnicos. (31 de Octubre de 2017). *CEAC*. Obtenido de <http://ceaclarevista.com/motores-limpios-motores-euro-vi/>
39. Reibán Heredia, J. M., & Ramíerz Velásquez, C. A. (2014). *Análisis del balance energético e implementación de un banco didáctico con visualización de datos en tiempo real en un motor Toyota 2B diésel para el laboratorio de Ingeniería Automotriz*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9035/1/UPS-CT005293.pdf>
40. Repsol Innovación. (5 de Marzo de 2013). *Repsol*. Obtenido de <http://blogs.repsol.com/innovacion/asi-nos-afectara-la-norma-euro-6/>
41. Reşitoğlu, İ. A., & Altinişik, K. (January de 2015). The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Techn Environ Policy*, 17, 15-27. doi:10.1007/s10098-014-0793-9
42. SEGOB. (7 de Junio de 2016). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5440157&fecha=07/06/2016
43. SEGOB. (5 de Septiembre de 2017). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5496105&fecha=05/09/2017
44. Shaohua, L., & Lizhong, S. (February de 2014). Effects of altitude and fuel oxygen content on the performance of a high pressure common rail diésel engine. *Fuel*, 118, 243-249. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2013.10.007
45. Vallejo, M. A. (2014). *Estudio Comparativo del uso del Diésel Entre Europa y Ecuador, Utilizado para Motores de Vehículos*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/610/1/T-UIDE-0560.pdf>
46. Velasco Hurtado, C., & Velasco Villarroel, J. (Julio de 2014). Efectos de la altitud sobre la combustión. *Metalúrgica*(35), 20-29. Obtenido de http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2078-55932014000100003&script=sci_arttext
47. Villena, M. (23 de Octubre de 2017). Obtenido de OPS: <http://www.ops.org.bo/altura/doc1.htm>
48. Zbarcea, O., & Scarpete, D. (2016). Environmental Pollution by Diesel Engines. Part II: A Literature Review Regarding Hc, Co, Co2 and Soot Emissions. *Termotehnica*, 65-69. Obtenido de <http://www.agir.ro/buletine/2653.pdf>

ANEXOS

ANEXO I

EQUIPOS DE MEDICIÓN DE EMISIONES



A I. 1 Sonda SGD-010, sensor NO_x y filtro de partículas



A I. 2 Analizador de gases AGS-688

ANEXO II

ADQUISICIÓN DE DATOS



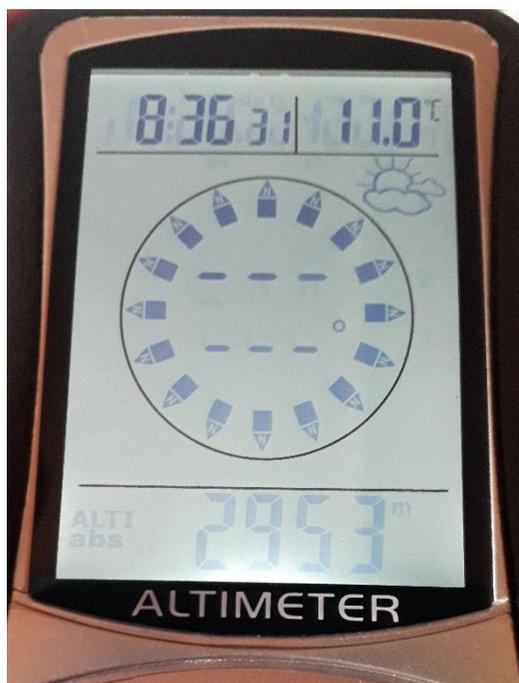
A II. 1 Altura y temperatura en la localidad de Lita



A II. 2 Altura y temperatura en la localidad de Ambuquí



A II. 3 Altura y temperatura en la localidad de Ibarra



A II. 4 Altura y temperatura en la localidad de Tulcán



A II. 5 Presión atmosférica y temperatura en la localidad de Lita



A II. 6 Presión atmosférica y temperatura en la localidad de Ambuquí



A II. 7 Presión atmosférica y temperatura en la localidad de Ibarra



A II. 8 Presión atmosférica y temperatura en la localidad de Tulcán

ANEXO III

CAMPO DE MEDICIÓN



A III. 1 Preparación de la mezcla biodiésel B5



A III. 2 Preparación de los equipos y vehículo de prueba



A III. 3 Obtención de datos de emisiones

ANEXO IV

DATOS DE EMISIONES

```

-----
DIESEL GAS ANALYSIS
-----
Tipo:                AGS-688
Version Software:   1.001
No. Serie:          110907001146

Placa:              PCB 7502
-----
VALORES MEDIDOS
Temp. : ----- [°C]
RPM   : 1500    [1/min]
CO    : 0.034   [%Vol]
CO2   : 2.7     [%Vol]
HC    : 0       [ppmVol]
O2    : 17.13  [%Vol]
NOx   : 102    [ppmVol]
-----
Fecha y hora
23.03.2018 17:03
-----
Sello:

Examinador:                DFBT50
Firma:
  
```

A IV. 1 Emisiones con diésel fósil localidad de Lita

```

-----
DIESEL GAS ANALYSIS
-----
Tipo:                AGS-688
Version Software:    1.001
No. Serie:           110907001146
-----
Placa:               PCB 7502
-----
VALORES MEDIDOS
Temp. : ----- [°C]
RPM   : 1500    [1/min]
CO    : 0.045   [%Vol]
CO2   : 3.0     [%Vol]
HC    : 7       [ppmVol]
O2    : 17.26  [%Vol]
NOx   : 111    [ppmVol]
-----
Fecha y hora
24.03.2018 16:47
-----
Sello:

Examinador:                DFBT50

Firma:

```

A IV. 2 Emisiones con diésel fósil localidad de Ambuquí

```

-----
DIESEL GAS ANALYSIS
-----
Tipo:                AGS-688
Version Software:    1.001
No. Serie:           110907001146
-----
Placa:               PCB7502
-----
VALORES MEDIDOS
Temp. : ----- [°C]
RPM   : 1500    [1/min]
CO    : 0.051   [%Vol]
CO2   : 3.2     [%Vol]
HC    : 7       [ppmVol]
O2    : 16.90  [%Vol]
NOx   : 137    [ppmVol]
-----
Fecha y hora
23.03.2018 13:39
-----
Sello:

Examinador:                DFBT50

Firma:

```

A IV. 3 Emisiones con diésel fósil localidad de Ibarra

```

-----
DIESEL GAS ANALYSIS
-----
Tipo:                AG5-688
Version Software:   1.001
No. Serie:          110907001146
-----
Placa:              PCB 7502
-----
VALORES MEDIDOS
Temp. : ----- [°C]
RPM   : 1500 [1/min]
CO    : 0.059 [%Vol]
CO2   : 3.5 [%Vol]
HC    : 1 [ppmVol]
O2    : 16.29 [%Vol]
NOx   : 137 [ppmVol]
-----
Fecha y hora
24.03.2018 11:13
-----
Sello:

Examinador:                DFBT50

Firma:

```

A IV. 4 Emisiones con diésel fósil localidad de Tulcán

```

-----
DIESEL GAS ANALYSIS
-----
Tipo:                AG5-688
Version Software:   1.001
No. Serie:          110907001146
-----
Placa:              PCB 7502
-----
VALORES MEDIDOS
Temp. : ----- [°C]
RPM   : 1500 [1/min]
CO    : 0.028 [%Vol]
CO2   : 2.7 [%Vol]
HC    : 3 [ppmVol]
O2    : 17.86 [%Vol]
NOx   : 86 [ppmVol]
-----
Fecha y hora
23.03.2018 17:58
-----
Sello:

Examinador:                85----

Firma:

```

A IV. 5 Emisiones con biodiésel B5 localidad de Lita

```

DIESEL GAS ANALYSIS
-----
Tipo:                AGS-688
Version Software:   1.001
No. Serie:          110907001146
-----
Placa:               PCB 7502
-----
VALORES MEDIDOS
Temp. : ----- [°C]
RPM   : 1490    [1/min]
CO    : 0.041   [%Vol]
CO2   : 2.8     [%Vol]
HC    : 6       [ppmVol]
O2    : 17.17  [%Vol]
NOx   : 118    [ppmVol]
-----
Fecha y hora
24.03.2018 16:50
-----
Sello:

Examinador:
B5-----

Firma:

```

A IV. 6 Emisiones con biodiésel B5 localidad de Ambuquí

```

DIESEL GAS ANALYSIS
-----
Tipo:                AGS-688
Version Software:   1.001
No. Serie:          110907001146
-----
Placa:               PCB7502
-----
VALORES MEDIDOS
Temp. : ----- [°C]
RPM   : 1500    [1/min]
CO    : 0.041   [%Vol]
CO2   : 3.2     [%Vol]
HC    : 0       [ppmVol]
O2    : 16.71  [%Vol]
NOx   : 123    [ppmVol]
-----
Fecha y hora
23.03.2018 12:44
-----
Sello:

Examinador:
B5-----

Firma:

```

A IV. 7 Emisiones con biodiésel B5 localidad de Ibarra

```
DIESEL GAS ANALYSIS
-----
Tipo:          AGS-688
Version Software: 1.001
No. Serie:     110907001146
-----
Placa:         PCB 7502
-----
VALORES MEDIDOS
Temp. : ----- [°C]
RPM   : 1500    [1/min]
CO    : 0.046   [%Vol]
CO2   : 3.5     [%Vol]
HC    : 4       [ppmVol]
O2    : 16.04   [%Vol]
NOx   : 121    [ppmVol]
-----
Fecha y hora
24.03.2018 12:07
-----
Sello:

Examinador:          85----
Firma:
```

A IV. 8 Emisiones con biodiésel B5 localidad de Tulcán