

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

Cristian Chávez
cechavezc@utn.edu.ec
Universidad Técnica del Norte

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 higerilla, 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.

Índice de términos

Euro 3, diésel fósil, biodiésel B5, emisiones de gases de escape, monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno.

I. 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.

II. MÉTODOS Y MATERIALES

Se realizó comparaciones entre las característica más importantes del diésel europeo utilizado en la homologación de vehículos equipados con motores Euro 3 frente al diésel Premium con la propósito 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.

2.1 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.

2.2 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.

2.3 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.

2.3.1 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 2. 1 Características del diésel euro

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)

2.3.2 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 2. 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).

2.4 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).

2.4.1 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 2.3 muestra las especificaciones de la camioneta.

Tabla 2. 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 a 1800 rpm

(Mazda, 2013, pág. 2).

2.4.2 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.

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.

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

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.

2.4.3 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.

2.4.4 Procedimiento para las pruebas de emisiones 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.

2.4.4.1 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 2.4 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 2. 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

2.4.4.2 Prueba en la localidad de Lita-Imbabura 1617 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 2.5 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 2. 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

2.4.4.3 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 2.6 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 2. 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

2.4.4.4 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 2.7 se observa que a 750 rpm el CO obtuvo 0,074 %Vol a medida que aumentan la 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 2. 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

2.4.5 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.

2.4.5.1 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 2.8 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 2. 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

2.4.5.2 Prueba en la localidad de Ambuquí-Imbabura 1617 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 2.9 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 2. 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
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

2.4.5.3 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 2.10 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 2. 10 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
2500	1°	0,215	3	72
	2°	0,201	3	94
	3°	0,211	3	97
Promedio		0,209	3	87,67

2.4.5.4 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 2.11 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 2. 11 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

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis de las características del diésel euro y diésel Premium

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.

3.1.1 Punto de inflamación

En la tabla 3.1 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 3. 1 Comparación del punto de inflamación

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

3.1.2 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 3.2.

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 3. 2 Comparación del índice de cetano

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

3.1.3 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 3.3. 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 3. 3 Comparación del contenido de azufre

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

3.2 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.

3.2.1 Variación de temperatura y presión atmosférica con la altura

La figura 3.1 muestra la reducción de 59,26 % y 24,71% de temperatura ambiente y presión atmosférica respectivamente desde la localidad de Lita hasta Tulcán.

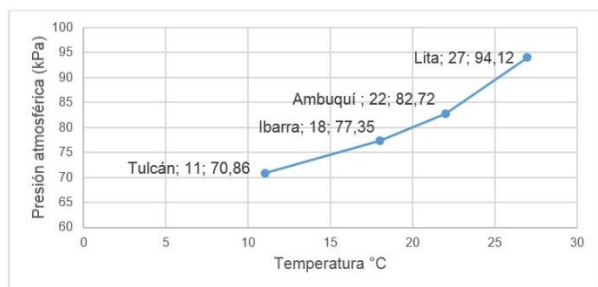


Figura 3. 1 Variación de la temperatura y presión con la altura

3.2.2 Emisiones de monóxido de carbono (CO)

La tabla 3.4 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 alturas de 2207 y 2953 msnm.

Tabla 3. 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

3.2.3 Emisiones de dióxido de carbono (CO₂)

La tabla 3.5 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 3. 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

3.2.4 Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x)

La tabla 3.6 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 3. 6 Promedio de óxido 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

3.3 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.

3.3.1 Variación de temperatura y presión atmosférica con la altura

La figura 3.2 muestra la reducción de 53,57 % y 25,19% de temperatura ambiente y presión atmosférica respectivamente desde la localidad de Lita hasta Tulcán.

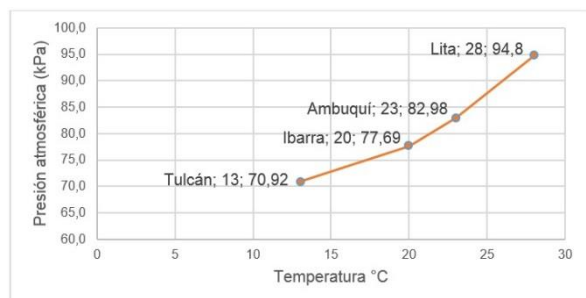


Figura 3. 2 Variación de la temperatura y presión con la altura

3.3.2 Emisiones de monóxido de carbono (CO)

En la tabla 3.7 se observa que las emisiones de (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 3. 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

3.3.3 Emisiones de dióxido de carbono (CO₂)

La tabla 3.8 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 aumenta en 6,48 %.

Tabla 3. 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

3.3.4 Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x)

La tabla 3.9 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 3. 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

3.4 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.

3.4.1 Comparación del CO entre diésel fósil y biodiésel B5 a 750 rpm

En la tabla 3.10 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 3. 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 3.3 permite observar el comportamiento del monóxido de carbono (CO) con el motor a 750 rpm, con un coeficiente de determinación R² de 0,954 para diésel fósil y 0,9407 en el biodiésel, mostrando

que los datos son confiables por aproximarse a la unidad.

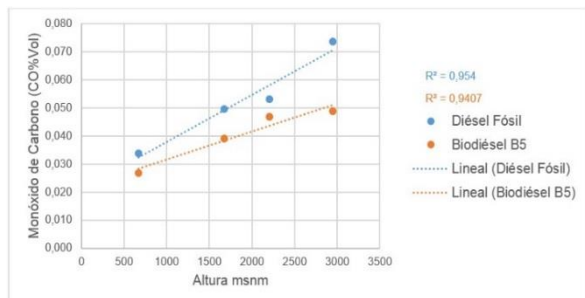


Figura 3. 3 Emisiones de monóxido de carbono (CO) vs altura a 750 rpm

1500 rpm, los datos representados por R² son confiables por acercarse a 1.

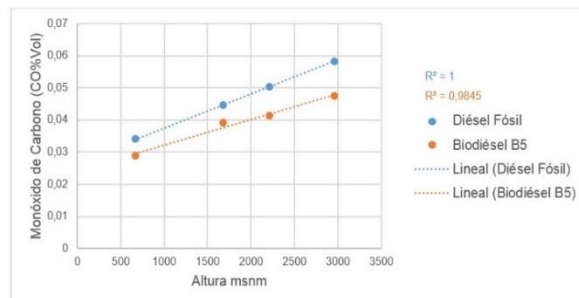


Figura 3. 4 Emisiones de monóxido de carbono (CO) vs altura a 1500 rpm

3.4.2 Comparación del CO entre diésel fósil y biodiésel B5 a 1500 rpm

En la tabla 3.11 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 3. 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 3.4 muestra que los valores de las emisiones de CO son mayores en el gasóleo, además el coeficiente de determinación R² 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

3.4.3 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 3.5 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 R² fue 0,915 para diésel fósil y 0,976 respecto al biodiésel, siendo

estos valores confiables por ser próximos a la unidad.

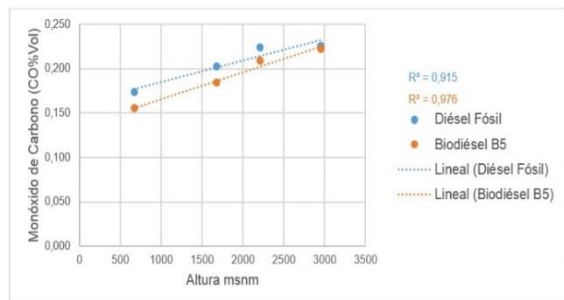


Figura 3. 5 Emisiones de monóxido de carbono (CO) vs altura a 2500 rpm

3.4.4 Comparación del CO₂ entre diésel fósil y biodiésel B5 a 750 rpm

En la tabla 3.13 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 3. 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 3.6 indicando que los valores del coeficiente de determinación son confiables.

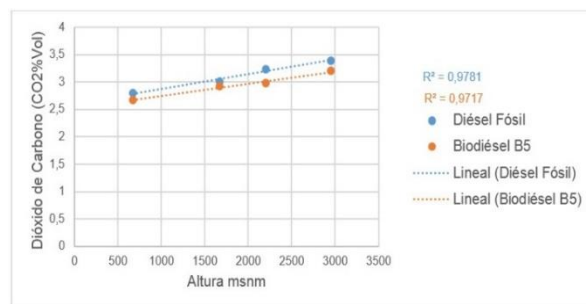


Figura 3. 6 Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) vs altura a 750 rpm

3.4.5 Comparación del CO₂ entre diésel fósil y biodiésel B5 a 1500 rpm

En la tabla 3.14 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 3. 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 3.7 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 R^2 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.

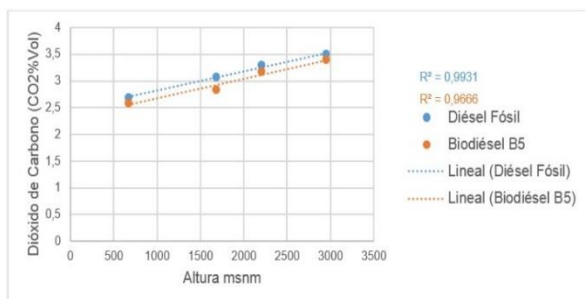


Figura 3. 7 Emisiones de dióxido de carbono (CO_2) vs altura a 1500 rpm

3.4.6 Comparación del CO_2 entre diésel fósil y biodiésel B5 a 2500 rpm

En la tabla 3.15 se observa que el valor del CO_2 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 CO_2 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 3. 15 Comparación del CO_2 diésel fósil vs biodiésel B5 a 2500 rpm

Altura msnm	2500 RPM		
	Diésel fósil [CO2% Vol]	Biodiésel [CO2% 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 CO_2 presentan valores inferiores en el biodiésel B5 en cada altura.

El motor se encontraba a 2500 rpm, así mismo el R^2 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 3.8.

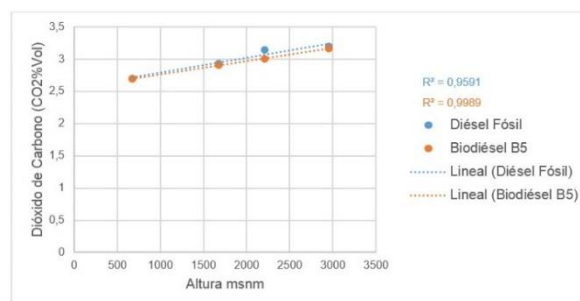


Figura 3. 8 Emisiones de dióxido de carbono (CO_2) vs altura a 2500 rpm

3.4.7 Comparación de NO_x entre diésel fósil y biodiésel B5 a 750 rpm

En la tabla 3.16 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 3. 16 Comparación del 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 3.9 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 R² fue de 0,9981 para diésel fósil, mientras que el biodiésel B5 obtuvo 0,934 los valores alcanzados de R² por los dos combustibles muestran que los datos son confiables.

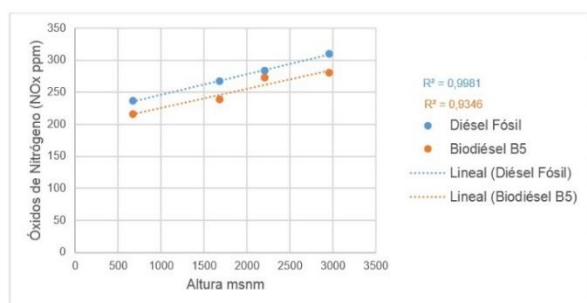


Figura 3. 9 Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) vs altura a 750 rpm

3.4.7 Comparación de NO_x entre diésel fósil y biodiésel B5 a 1500 rpm

En la tabla 3.17 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 3. 17 Comparación del NO_x diésel fósil vs biodiésel B5 a 1500 rpm

Altura msnm	1500 RPM		
	Diésel fósil [NO _x ppm]	Biodiésel [NO _x 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 3.10.

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.

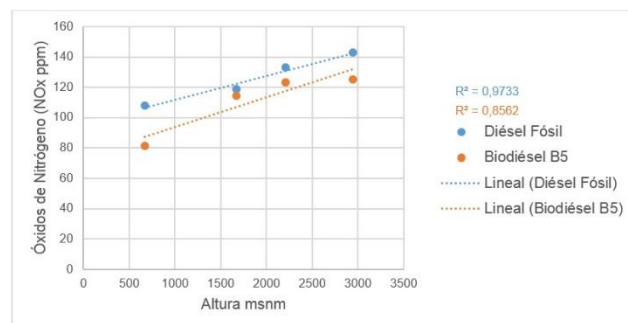


Figura 3. 10 Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) vs altura a 1500 rpm

3.4.8 Comparación de NO_x entre diésel fósil y biodiésel B5 a 2500 rpm

En la tabla 3.18 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 3. 18 Comparación del 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 3.11 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.

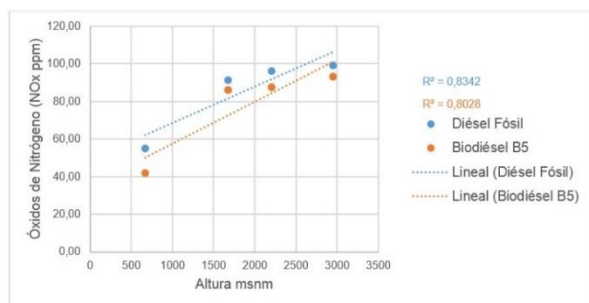


Figura 3. 11 Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) vs altura a 2500 rpm

3.5 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 3. 19 Límites máximos permisibles de gases de escape de automotores diésel

Año Modelo	Monóxido de Carbono (CO% Vol)	Dióxido de carbono (CO ₂ % Vol)	Óxidos de nitrógeno (NO _x ppm)
1994 y Posteriores	1	7	1000

3.5.1 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 3.20, 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 3. 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

3.5.1.1 Emisiones de monóxido de carbono a 617 msnm

En la figura 3.12 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 %.

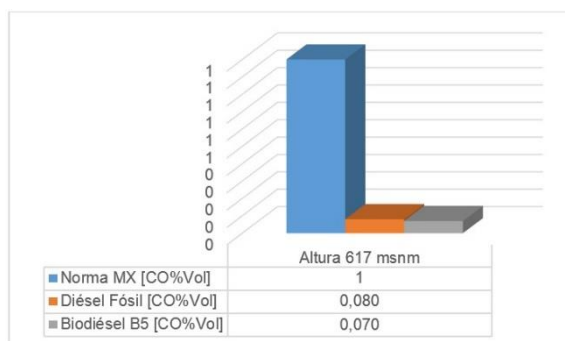


Figura 3. 12 Comportamiento del monóxido de carbono a 617 msnm

3.5.1.2 Emisiones de monóxido de carbono a 1677 msnm

La figura 3.13 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.

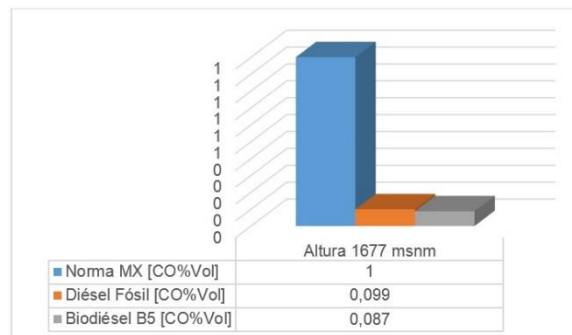


Figura 3. 13 Comportamiento del monóxido de carbono a 1677 msnm

3.5.1.3 Emisiones de monóxido de carbono a 2207 msnm

Los porcentajes de CO en la altitud de 2207 msnm se muestran en la figura 3.14; 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.

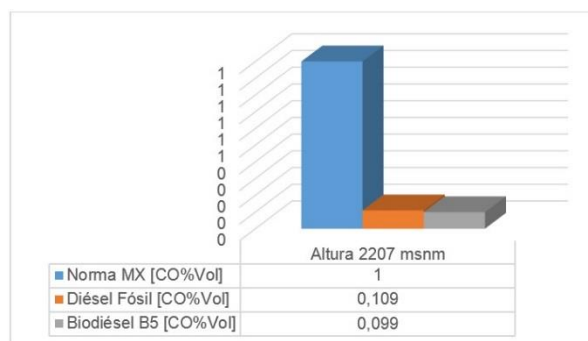


Figura 3. 14 Comportamiento del monóxido de carbono a 2207 msnm

3.5.1.4 Emisiones de monóxido de carbono a 2953 msnm

Los porcentajes de CO a 2953 msnm para diésel fósil y biodiésel mostrados en la figura 3.15 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.

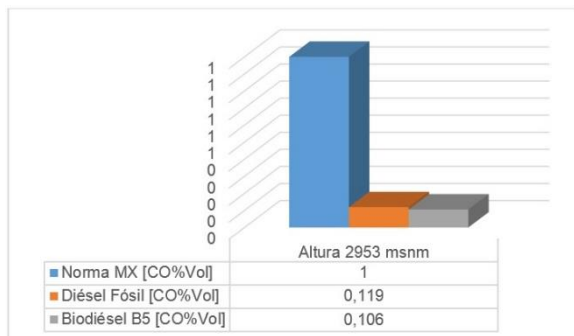


Figura 3. 15 Comportamiento del monóxido de carbono a 2953 msnm

3.5.2 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 3.21; 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 3. 21 Comparativa de emisiones de CO₂ con norma mexicana

Altura msnm	Promedio CO ₂ (%Vol)		Límite mínimo CO ₂ (%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

3.5.2.1 Emisiones de dióxido de carbono a 617 msnm

La figura 3.16 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.

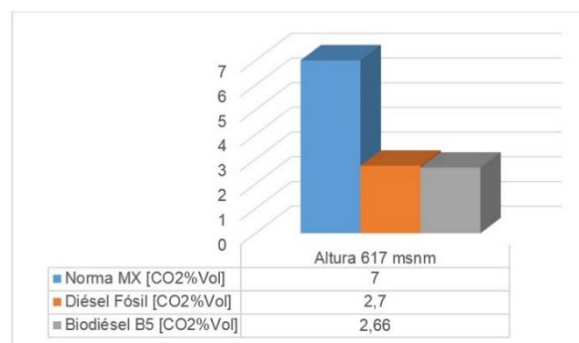


Figura 3. 16 Comportamiento del dióxido de carbono a 617 msnm

3.5.2.2 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 3.17. 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 %.

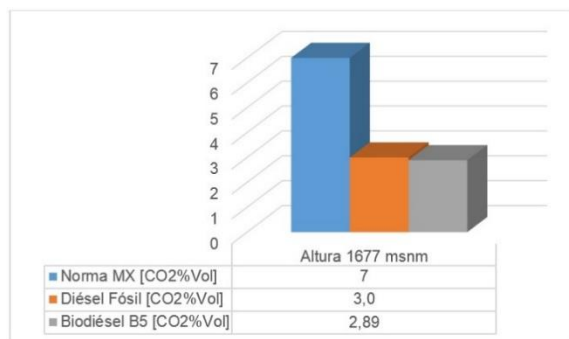


Figura 3. 17 Comportamiento del dióxido de carbono a 1677 msnm

3.5.2.3 Emisiones de dióxido de carbono a 2207 msnm

La figura 3.18 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.

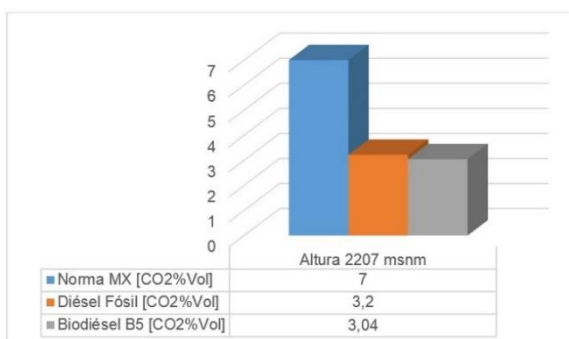


Figura 3. 18 Comportamiento del dióxido de carbono a 2207 msnm

3.5.2.4 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 3.19, 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.

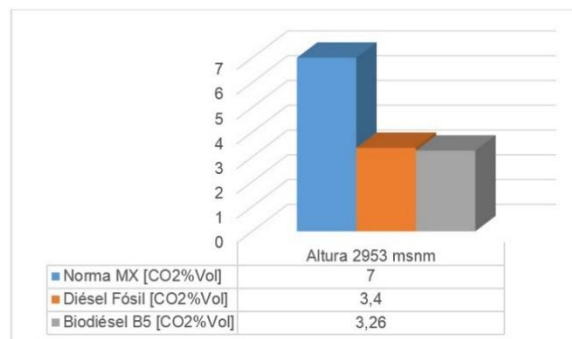


Figura 3. 19 Comportamiento del dióxido de carbono a 2953 msnm

3.5.3 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 3.22 en las alturas de 617,1677, 2207 y 2953 msnm

Tabla 3. 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

3.5.3.1 Emisiones de óxidos de nitrógeno a 617 msnm

En la figura 3.20 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.

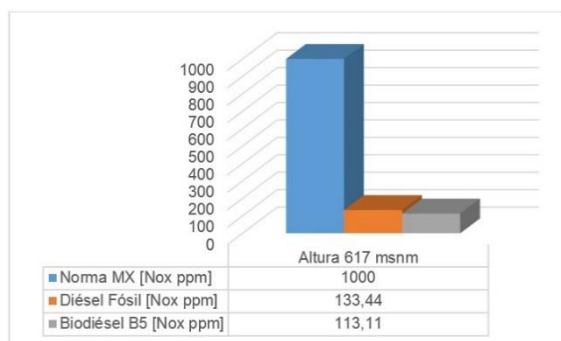


Figura 3. 20 Comportamiento de los óxidos de nitrógeno 617 msnm

3.5.3.2 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 3.21 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.

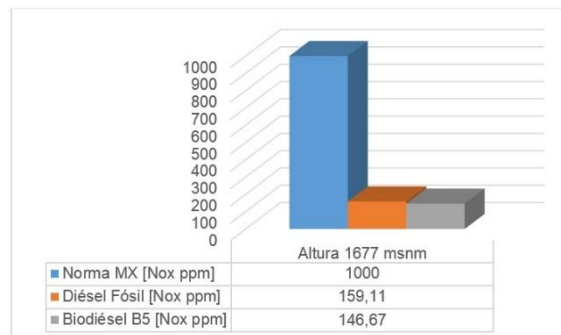


Figura 3. 21 Comportamiento de los óxidos de nitrógeno 1677 msnm

3.5.3.3 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 3.22. Igualmente los porcentajes de reducción alcanzados fueron 82,89 % en el diésel fósil y 83,89 % para el biodiésel.

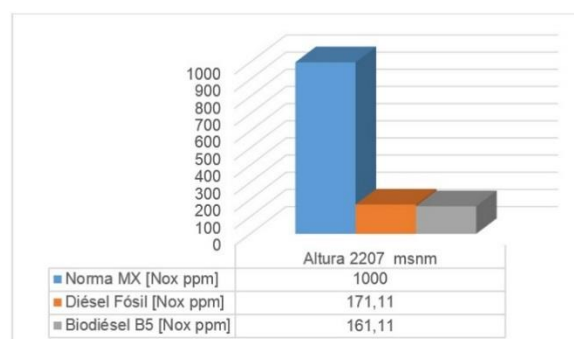


Figura 3. 22 Comportamiento de los óxidos de nitrógeno 2207 msnm

3.5.3.4 Emisiones de óxidos de nitrógeno a 2953 msnm

La figura 3.23 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.

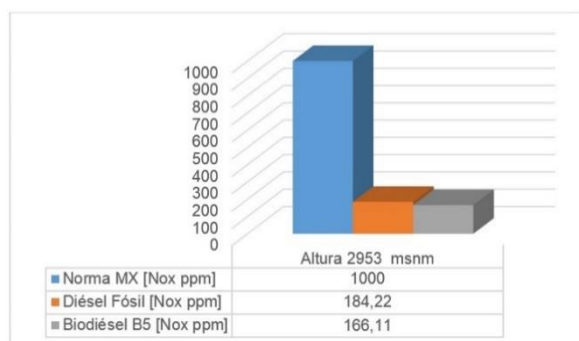


Figura 3. 23 Comportamiento de los óxidos de nitrógeno 2953 msnm

3.5.4 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 3.23 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 3. 23 Emisiones de CO, CO₂ y NO_x frente a la norma mexicana

Emisiones	NOM-167-SEMARNAT-2017	Diésel fósil	Biodiésel B5
Monóxido de carbono (CO % Vol)	1	0,102	0,091
Dióxido de carbono (CO ₂ % Vol)	7	3,08	2,96
Óxidos de nitrógeno (NO _x ppm)	1000	161,97	146,75

IV 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 higuera 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.

REFERENCIAS

1. 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-INEN-1489-7-ENMIENDA-1.pdf>
2. Mazda. (2013). *Mazda*. Obtenido de <https://www.auto-data.net/es/mazda-bt-50-2.5-td-143hp-11236>
3. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (13 de 10 de 1998). Obtenido de https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9e5d16b-1a4a-4a72-ac90-5e3a0bb1d745.0010.02/DOC_1&format=PDF
4. 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

Autor

Estudios:

Primaria:

Escuela Carlos Martínez Acosta

Secundaria:

Colegio Fiscal Popular “General Eloy Alfaro”

Superior:

Universidad Técnica del Norte