



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES
DE UNA UNIDAD EURO I, EURO II, EURO III, DEL
TRANSPORTE URBANO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: NELSON DENNIS ZAVALA HERRERA
DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS CASTELO VALDIVIESO

RIOBAMBA – ECUADOR

2020

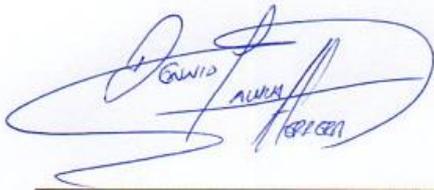
©2020. Nelson Dennis Zavala Herrera

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Nelson Dennis Zavala Herrera, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de marzo de 2020

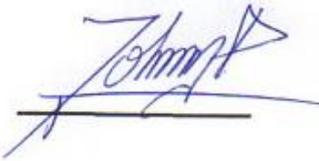


Zavala Herrera Nelson Dennis

Cédula de Identidad: 060424754-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto de investigación, “ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DE UNA UNIDAD EURO I, EURO II, EURO III, DEL TRANSPORTE URBANO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”, realizado por el señor **NELSON DENNIS ZAVALA HERRERA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA (año-mes-día)
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		<u>2020-02-07</u>
Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION		<u>2020-02-07</u>
Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos MIEMBRO DEL TRIBUNAL		<u>2020-02-07</u>

DEDICATORIA

Dedico este trabajo y la obtención del título a mi padre a mi madre a mi hermana que fueron los pilares fundamentales para poder alcanzar un logro más en mi vida, pero sabiendo llevar conmigo siempre los valores y consejos brindados mediante toda mi vida personal y estudiantil.

Dennis

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a Dios por brindarme la fortaleza y el valor para salir adelante en cada uno de mis días de estudio, por brindarme una familia que nunca me dejará de apoyar y por poner en mi camino a personas que aportaron de manera positiva en cuanto a mi realización profesional.

Agradezco a cada uno de mis profesores que estuvieron conmigo en la realización de este sueño de una u otra manera ayudándome en todas las vicisitudes que tuve que afrontar durante la carrera de la universidad.

Quiero agradecer de manera especial al Ingeniero Juan Carlos Castelo por ser una persona que me apoyo desde las aulas hasta la culminación de la mi carrera brindándome todos sus conocimientos y confianza el cual fue necesario para alcanzar este logro.

A mi madre Irma Herrera que siempre creyó en mí, le agradezco por toda la paciencia que tuvo conmigo, por nunca dejarme solo cuando me sentí derrotado y ahora que logré un triunfo más sé que lo disfrutas conmigo madre.

A mi padre Nelson Zavala que es la inspiración mía de cada día el que me ayudo para ser una persona que aporte a la sociedad, gracias por ayudarme a encontrar mi vocación y hacer de ella mi profesión, siempre me sentiré orgulloso de ti, eres mi ejemplo a seguir.

A mi hermana Mishell Zavala gracias por ayudarme en todos mis trabajos por estar conmigo hasta la madrugada estudiando por darme esa felicidad para comenzar de nuevo cuando ya no podía más, esto es para que siempre lleves presente que lo que te propones si lo haces con fe lo lograras ñaña.

A mi novia Sandy Montufar por ser mi apoyo fundamental, gracias por esas palabras necesarias que han hecho de mí una mejor persona siendo una inspiración más para ese futuro tan anhelado. Esto será solo el inicio de una serie de metas por alcanzar.

A toda mi familia mis abuelitos, mis tíos, mis primos que me han dado esas palabras de aliento y apoyo para nunca dejar de ser mejor cada día les agradezco por tanta bondad que han tenido conmigo, dejare siempre en alto todo mi legado de cada una de mis familias.

Dennis

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	viii
INDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO REFERENCIAL.....	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Planteamiento del problema	4
1.3. Justificación	5
1.3.1. Justificación teórica	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. El medio ambiente	7
2.2. Contaminación ambiental: emisiones contaminantes	7
2.3. Emisiones en motores diésel.....	8
2.4. Material particulado	9
2.5. Fuentes de emisión del PM.....	10
2.6. Legislaciones encargadas del control de emisiones contaminantes	11
2.7. Norma Ecuatoriana De Calidad Del Aire Ambiente.....	12
2.8. Norma EURO	12
2.9. Comparación de valores admisibles en la norma EURO.....	14
2.10. Los ciclos de conducción	15

2.11.	Ciclos de conducción de tipo modal	15
2.12.	Ciclos de conducción de tipo transitorio	17
2.13.	Estrategias en motores diésel para la reducción de emisiones contaminantes	19
2.14.	Tabla de requisitos del diésel premium.....	21
CAPÍTULO III		
3.	MARCO METODOLÓGICO	22
3.1.	Equipos y herramientas empleadas en el estudio	22
3.2.	VARIABLES dependientes e independientes.....	27
3.3.	Caracterización del estudio.....	28
3.4.	Protocolo en la realización de pruebas.....	29
3.5.	Altimetría de la ruta.....	34
CAPÍTULO IV		
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	35
4.1.	Análisis e interpretación de graficas del Hino GD	35
4.2.	Análisis e interpretación de graficas del Hino FG.....	40
4.3.	Análisis e interpretación de graficas del Hino AK	46
4.4.	Promedios generales	53
4.5.	Promedio total de los tres tramos de la ruta	55
4.6.	Promedio total de la ruta de cada unidad	55
	CONCLUSIONES.....	57
	RECOMENDACIONES.....	59
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2. Valores de la norma EURO en motores diésel de vehículos pesados y buses	15
Tabla 2-2. Valores tomados en la realización del ciclo de conducción Artemis	18
Tabla 3-3. Especificaciones de medidor MAHA MPM-4.....	23
Tabla 4-3. Especificaciones técnicas de la unidad HINO GD	25
Tabla 5-3. Especificaciones técnicas de la unidad HINO FG	26
Tabla 6-3. Especificaciones técnicas de la unidad HINO AK	27
Tabla 7-3. Puntos y tiempos de referencia de la ruta	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Contaminación ambiental por parte de campo automotriz	8
Figura 2-2. Fuentes generadoras de material particulado PM.....	10
Figura 3-2. Esquema de clasificación de las fuentes de PM de origen antrópico	11
Figura 4-2. Reducción de valores de emisiones de la norma EURO I a la VI	13
Figura 5-2. Sistema de recirculación de gases	19
Figura 6-2. Catalizador para motores diésel	20
Figura 7-2. Filtro de partículas DPF o FAP	21
Figura 8-2. NTE INEN 1489:2012 productos derivados del petróleo el combustible diésel	21
Figura 9-3. Analizador de gases MAHA MPM-4.....	22

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1-2.	Gráfica del ciclo de conducción NEDC	16
Gráfica 2-2.	Gráfica del ciclo de conducción 10-15 japonés	16
Gráfica 3-2.	Gráfica del ciclo de conducción JC08	17
Gráfica 4-2.	Gráfica del ciclo de conducción FTP-75	17
Gráfica 5-2.	Gráfica del ciclo de conducción Artemis.....	18
Gráfica 6-3.	Ventana de la interfaz RS 232	23
Gráfica 7-3.	Adecuamiento de la sonda en el sistema de escape	29
Gráfica 8-3.	Analizador de gases situado dentro del automotor	30
Gráfica 9-3.	Encendido del equipo.....	30
Gráfica 10-3.	Botón de reinicio	31
Gráfica 11-3.	Altimetría de la ruta	34
Gráfica 12-4.	Prueba #1 en el tramo #1 del Hino GD	35
Gráfica 13-4.	Prueba #2 en el tramo #1 del Hino GD	35
Gráfica 14-4.	Prueba #3 en el tramo #1 del Hino GD	36
Gráfica 15-4.	Promedio general del tramo #1 del HINO GD	36
Gráfica 16-4.	Prueba #1 en el tramo #2 del Hino GD	37
Gráfica 17-4.	Prueba #2 en el tramo #2 del Hino GD	37
Gráfica 18-4.	Prueba #3 en el tramo #2 del Hino GD	37
Gráfica 19-4.	Promedio general del tramo #2 del HINO GD	38
Gráfica 20-4.	Prueba #1 en el tramo #3 del Hino GD	39
Gráfica 21-4.	Prueba #2 en el tramo #3 del Hino GD	39
Gráfica 22-4.	Prueba #3 en el tramo #3 del Hino GD	39
Gráfica 23-4.	Promedio general del tramo #3 del HINO GD	40
Gráfica 24-4.	Prueba #1 en el tramo #1 del Hino FG	41
Gráfica 25-4.	Prueba #2 en el tramo #1 del Hino FG	41
Gráfica 26-4.	Prueba #3 en el tramo #1 del Hino FG	41
Gráfica 27-4.	Promedio general del tramo #1 del HINO FG.....	42
Gráfica 28-4.	Prueba #1 en el tramo #2 del Hino FG	43
Gráfica 29-4.	Prueba #2 en el tramo #2 del Hino FG	43
Gráfica 30-4.	Prueba #3 en el tramo #2 del Hino FG.....	43
Gráfica 31-4.	Promedio general del tramo #2 del HINO FG.....	44
Gráfica 32-4.	Prueba #1 en el tramo #3 del Hino FG.....	45
Gráfica 33-4.	Prueba #2 en el tramo #3 del Hino FG.....	45

Gráfica 34-4.	Prueba #3 en el tramo #3 del Hino FG.	45
Gráfica 35-4.	Promedio general del tramo #3 del HINO FG.....	46
Gráfica 36-4.	Prueba #1 en el tramo #1 del Hino AK	47
Gráfica 37-4.	Prueba #2 en el tramo #1 del Hino AK	47
Gráfica 38-4.	Prueba #3 en el tramo #1 del Hino AK	47
Gráfica 39-4.	Promedio general del tramo #1 del HINO AK	48
Gráfica 40-4.	Prueba #1 en el tramo #2 del Hino AK	49
Gráfica 41-4.	Prueba #2 en el tramo #2 del Hino AK	49
Gráfica 42-4.	Prueba #3 en el tramo #2 del Hino AK	49
Gráfica 43-4.	Promedio general del tramo #2 del HINO AK	50
Gráfica 44-4.	Prueba #1 en el tramo #3 del Hino AK	51
Gráfica 45-4.	Prueba #2 en el tramo #3 del Hino AK	51
Gráfica 46-4.	Prueba #3 en el tramo #3 del Hino AK	51
Gráfica 47-4.	Promedio general del tramo #3 del HINO AK	52
Gráfica 48-4.	Promedio general tramo # 1 de las tres unidades.....	53
Gráfica 49-4.	Promedio general tramo # 2 de las tres unidades.....	53
Gráfica 50-4.	Promedio general tramo # 3 de las tres unidades.....	54
Gráfica 51-4.	Promedio general de los tramos en las tres unidades.....	55
Gráfica 52-4.	Promedio general de la ruta por cada unidad.....	55

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: INFORMACIÓN DE LA LÍNEA DE BUS N°3 SANTA ANITA – CAMAL

ANEXO B: INTERFAZ DEL ANALIZADOR DE GASES MAHA MPM-4

ANEXO C: COLOCACIÓN DE EQUIPOS DE ACUERDO A LA UNIDAD EN ESTUDIO

ANEXO D: TOMA DE DATOS EN EL TRANSCURSO DE TRABAJO NORMAL DE LA UNIDAD DE TRANSPORTE

ANEXO E: RUTA DESDE LA PARADA DE BUSES SANTA ANITA HASTA LAS CALLES RICARDO DESCALZI Y AV. SAIMT AMMAND MONTREAD

ANEXO F: RUTA DESDE LAS CALLES RICARDO DESCALZI Y AV. SAIMT AMMAND MONTREAD HASTA LA AVENIDA LEOPOLDO FREIRE Y CALLE QUITO

ANEXO G: RUTA DESDE LA AVENIDA LEOPOLDO FREIRE Y CALLE QUITO HASTA LA AVENIDA EDELBERTO BONILLA

ANEXO H: RUTA DESDE LA AVENIDA EDELBERTO BONILLA HASTA LA AVENIDA LEOPOLDO FREIRE

ANEXO I: RUTA DESDE LA AVENIDA LEOPOLDO FREIRE HASTA LAS CALLES PURUHÁ Y GUAYAQUIL

ANEXO J: RUTA DESDE LAS CALLES PURUHÁ Y GUAYAQUIL HASTA LA CALLE DEMETRIO AGUILERA MALTA

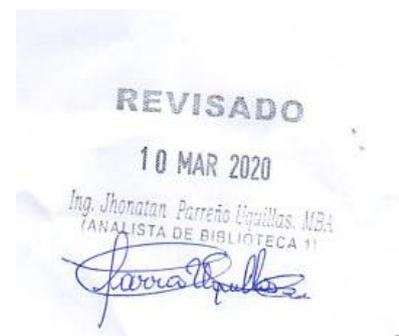
ANEXO K: RUTA DESDE LA CALLE DEMETRIO AGUILERA MALTA HASTA LA PANAMERICANA E35

ANEXO L: RUTA DESDE LA PANAMERICANA E35 HASTA LA PARADA DE BUSES SANTA ANITA

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realizó la toma de emisiones de material particulado en tres unidades de transporte urbano que cuentan con motores diésel en la ciudad Riobamba. La toma de datos fue con un analizador de gases portátil generando valores de material particulado MP2.5 directamente proporcionales al tiempo. Los vehículos fueron seleccionados de la cooperativa de transporte urbano "Puruhá", escogiendo la marca Hino de la flota de vehículos. En la ruta elegida se obtuvo una cobertura tanto de los sectores urbanos céntricos como los periféricos, donde la afluencia vehicular como peatonal es considerable a lo largo del día. Se realizó un estudio no experimental obteniendo valores reales de funcionamiento de las unidades de transporte, permitiéndonos conocer que los factores con mayor incidencia presentes en la contaminación fueron: el modo de conducción, el horario en el que circulaba y número de usuarios en el bus. Se pudo verificar que la unidad con tecnología antigua (Euro I) tenía la mayor cantidad de material particulado, por otro lado, la unidad equipada con Euro II expulsó la menor emisión de gases contaminantes debido a que el propietario tuvo una conducción moderada. Mientras que la unidad Euro III emitió una mayor contaminación al ambiente que la Euro II, debido a las aceleraciones abruptas que tenía la unidad aportando consigo un nivel de contaminación elevado. Finalmente se pudo concluir que la zona periférica de la ciudad fue la más afectada por la contaminación debido a las altas velocidades a las que transitan las unidades, sin embargo, en la zona céntrica de la urbe en horas de mayor afluencia vehicular ciertas unidades intensificaban las cargas ejercidas al motor generando una mayor cantidad de material particulado, que incluso es visible a simple vista.

PALABRAS CLAVE: <MATERIAL PARTICULADO>, <TECNOLOGIA EURO>, <EMISIONES CONTAMINANTES>, <COMBUSTIBLE DIÉSEL>, <MODO DE CONDUCCION>, <MOTOR DE COMBUSTION INTERNA>, <ANALIZADOR DE GASES>.



ABSTRACT

In the present research work, particulate matter emissions were taken in three urban transport units that have diesel engines in the city of Riobamba. Data collection was with a portable gas analyzer generating MP2.5 particulate matter values directly proportional to time. The vehicles were selected from the urban transport cooperative "Puruhá", choosing the Hino brand from the vehicle fleet. On the chosen route, coverage was obtained from both the downtown and peripheral urban sectors, where the vehicular and pedestrian influx is considerable throughout the day. A non-experimental study was carried out obtaining real operating values of the transport units, allowing us to know that the factors with the highest incidence present in the contamination were: the driving mode, the time in which it circulated and the number of users on the bus. It was verified that the unit with old technology (Euro I) had the highest amount of particulate matter, on the other hand, the unit equipped with Euro II expelled the least emission of polluting gases because the owner had moderate driving. While the Euro III unit emitted more pollution to the environment than Euro II, due to the abrupt accelerations that the unit had, bringing with it a high level of contamination. Finally, it was possible to conclude that the peripheral area of the city was the most affected by pollution due to the high speeds at which the unit's transit, however, in the downtown area of the city in times of greater vehicular influx, certain units intensified the loads exerted to the engine generating a greater amount of particulate material, which is even visible to the naked eye.

Keywords: <PARTICULATE MATERIAL>, <EURO TECHNOLOGY>, <POLLUTANT EMISSIONS>, <DIESEL FUEL>, <DRIVING MODE>, <INTERNAL COMBUSTION ENGINE>, <GAS ANALYZER>.



INTRODUCCIÓN

En Ecuador, la calidad del combustible limita la posibilidad de importar buses con mejor tecnología para cuidar el ambiente, según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1489:2012 Productos Derivados del Petróleo Diesel la cantidad de azufre máxima permitida en el combustible es de 500 ppm, permitiendo que las unidades de transporte con ciertas tecnologías entre ellas Euro I, Euro II y Euro III funcionen aceptablemente en el país.

Por su altitud, Riobamba es un escenario para mayor cantidad de emisiones contaminantes tóxicas y visibles como material particulado. Esto se produce por las combustiones incompletas que llegan a generarse debido a la menor cantidad de oxígeno contenido en el aire que ingresa como fluido operante al interior del motor, así como también por la calidad de combustible a ser atomizado durante el ciclo de funcionamiento.

La contaminación de aire es una problemática mundial que ha ido en aumento durante las últimas décadas, trayendo como consecuencia problemas de salud asociado en gran parte al sistema respiratorio, llevando la mayor responsabilidad los vehículos de combustión interna (diésel), siendo así de suma importancia la obtención de la cantidad de material particulado (PM2.5) emitido por los buses de transporte urbano en la ciudad de Riobamba.

Mediante la resolución No. CNC -006-2012 realizada en el 2012 el gobierno otorgó a cada gobierno autónomo descentralizado la competencia de Tránsito, Transporte Terrestre y Seguridad Vial, dando inicio a la creación de la revisión técnica vehicular, ente encargado del correcto funcionamiento de los vehículos de transporte terrestre, siendo este el eje fundamental para la conservación de la calidad del aire y del medio ambiente dado que su sistema integro de revisión obliga a los usuarios a llevar un control profundo de sus vehículos para lograr mantenerse dentro de los límites de emisiones contaminantes.

En la ciudad de Riobamba si bien es cierto el cabildo ya tiene la competencia de tránsito y transporte terrestre todavía no se revisa los vehículos en un centro especializado donde puedan ser analizados los distintos sistemas que integran el vehículo entre ellos la emisión de gases contaminantes dando libertad a que los medios de transporte que circulan en la ciudad emitan smog sin control alguno.

Es por esta razón que se realizó este trabajo de titulación no experimental con un diseño longitudinal con el fin de recolectar datos a través del tiempo en diferentes períodos y condiciones de funcionamiento de las unidades de transporte público para obtener los datos

reales de emisión de material particulado PM2.5 el cual nos ayudó a comprender la razón del porque un bus urbano emite mayor o menor cantidad de material particulado.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

A lo largo de la historia automotriz se ha realizado innumerables investigaciones para obtener la mayor eficiencia del funcionamiento de un motor de combustión interna siendo algunas de ellas trascendentales para que podamos gozar hoy en día la tecnología que tienen las diferentes marcas y modelos de vehículos.

La ciudad de Riobamba esta entre las ciudades más altas del Ecuador ubicada a 2754 m.s.n.m., la temperatura promedio es de 14°C. La mayoría de vehículos fabricados a nivel mundial y que son importados al país tienen motores calibrados a nivel del mar y con calidades de combustibles superiores a las presentes en el país, por esta razón al momento que estos motores trabajan con las condiciones climáticas presentes en nuestro medio, presentan variaciones en su consumo, funcionamiento y emisión de gases contaminantes producto de combustiones ineficientes.

En el año 2011 se registraron que las fuentes móviles generan el 33,2% de material particulado PM10, en su mayor parte producidas por los buses y vehículos pesados a Diesel (25,4%) y el 62,2% de material particulado PM2.5 es producido por las fuentes móviles, y de éste el 53,6% corresponde a vehículos a Diesel. (Informe final inventario de emisiones contaminantes criterio, DMQ2011)

Los modernos motores diésel son ampliamente utilizados para el transporte comercial debido a su buen rendimiento de potencia, eficiencia térmica, ahorro de combustible y durabilidad. Sin embargo, debido a su combustión difusiva, los motores diésel son los principales emisores de partículas suspendidas. (Reduction of PM emissions from a heavy-duty diesel engine with diesel/methanol dual fuel," Fuel, vol. 123, 2014)

También se han investigado varias tecnologías para reducir el material particulado (PM) del motor diésel, como la combustión a baja temperatura, la presión de inyección de combustible muy alta, así como el filtro de partículas diésel y sistemas postcombustión. El uso de combustibles alternativos para reducir las emisiones de PM está ganando cada vez más atención en todo el mundo. El uso de combustibles alternativos, como el gas natural, el biodiesel y los alcoholes, no solo puede reducir el consumo de combustible diésel sino también

reducir las emisiones de contaminantes ("Experimental investigation on the performance, gaseous and particulate emissions of a methanol fumigated diesel engine," Science of The Total Environment, vol. 389, 2008).

1.2. Planteamiento del problema

El balance energético nacional del 2016, presentado por el Ministerio de Coordinación de Sectores Estratégicos, muestra a nivel nacional la demanda de energía por sección. El sector del transporte tiene una tasa de crecimiento de 2.2% anual en el periodo 2014-2015, representando un 46% del total de la demanda energética en el 2015. Cerca del 80% de la demanda de energía proviene de fuentes fósiles, habiendo un 31% de consumo de diésel, seguido de la gasolina con un 27%, mientras que la electricidad y el GLP tienen un 15% y 9% respectivamente. El estudio indica que en el año 2015 el diésel tiene una utilización del 69% en transporte del total de diésel consumido por lo que el país necesito 1.993 millones de galones, referente al consumo de diésel por tipo de vehículo predomina el de carga pesada con 73%. (Balance energético nacional ,2016)

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos en el año 2016 en el país fueron matriculados 2'056.213 unidades de las cuales en Chimborazo se matricularon el 1.6% del parque automotor nacional. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2016)

En el país el gobierno a través del tiempo ha mejorado considerablemente la calidad de los combustibles, pero al mantener un porcentaje del subsidio de la gasolina y diésel no le ha permitido tener estudios y mejoraras a la calidad de nuestro combustible por la situación socio-económica que vive el Ecuador tratando de mantener precios accesibles para los combustibles, pero sin tener combustibles de buena calidad, siendo una desventaja para los vehículos diésel ya que las nuevas tecnologías de estos motores trabajan con una cantidad de partículas por millón de 50 a 10 ppm.

Para el entendimiento de esta problemática se plantea un estudio de las emisiones contaminantes del transporte urbano en la ciudad de Riobamba en tres unidades de los medios de transporte urbano masivo de la ciudad que trabajen con motores diésel en un horario y ruta establecida, la recolección de los datos se realizará con un analizador de gases portátil creando valores referentes que serán útiles para nuevos estudios venideros.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

En el presente trabajo de titulación se utilizará conocimientos existentes sobre los motores de combustión interna a diésel, manejo de software de emisiones contaminantes, con el fin de conocer la cantidad de emisiones que son producto de la combustión de los motores diésel de acuerdo a la capacidad y tiempo de recorrido de las unidades de transporte el mismo que servirá como instrumento para próximas investigaciones para el mejoramiento de las emisiones contaminantes en el transporte urbano de la ciudad de Riobamba.

1.3.2. Justificación metodológica

El proyecto de titulación inicia con la recopilación de datos e información sobre la emisión de contaminantes para poder realizar el estudio adecuado de la emisión de gases de las unidades de transporte urbano, al ser una nueva propuesta de investigación no se la desarrollará bajo ninguna norma o estudio experimental ya que el mismo se lo realizara en condiciones de funcionamiento real en una ruta específica pudiendo así determinar los puntos críticos de las emisiones contaminantes del transporte urbano en la ciudad de Riobamba.

1.3.3. Justificación práctica

La presente investigación se basa en analizar las emisiones contaminantes de las tecnologías Euro I Euro II y Euro III del transporte urbano de la ciudad de Riobamba determinando así los focos contaminantes basándose en distintas variables como tecnología del transporte urbano, horario de la toma de muestras, cantidad de pasajeros, velocidad de la unidad, congestión vehicular, modo de conducción y ruta; por las cuales se visualizará los cambios que presentan cada una de las unidades de transporte con el uso del analizador de gases MAHA MPM-4 que nos entrega la gráfica de valores perteneciente a cada unidad en tiempo real, pudiendo así observar los rangos máximos de emisiones contaminantes.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Analizar y estudiar las emisiones contaminantes de una unidad euro I, euro II, euro III, del transporte urbano de la ciudad de Riobamba mediante un analizador de gases portátil para obtener un registro de datos de emisiones en condiciones reales.

1.4.2. Objetivos específicos

- Seleccionar un vehículo euro I, euro II, euro III de la flota vehicular del transporte urbano de la ciudad de Riobamba para la recolección de datos de emisiones en condiciones reales de -funcionamiento del transporte.
- Seleccionar la ruta de pruebas considerando horarios, características y ciclos de operación para la recolección de los datos.
- Medir la cantidad de emisiones presentes en los vehículos seleccionados con un analizador de gases portátil para obtener los datos del material particulado.
- Analizar los datos estadísticamente, y comparar las emisiones de los vehículos utilizados para obtener los datos de emisiones de la ciudad de Riobamba.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El medio ambiente

El concepto de medio ambiente ha cambiado mucho en los últimos años, es así que aparte de considerárselo simplemente como un conjunto de elementos físicos y biológicos, va enfocado hacia un entendimiento más amplio, englobando más aspectos de los dos mencionados anteriormente. Es así, que se concibe al medio ambiente, como un macro-sistema conformado por varios sub-sistemas, tales como el aire, suelo, agua, etc., los cuales tienen una interacción mutua entre sí, y desde luego como en todo sistema, si se produce un fallo en dichas interacciones, desencadenará en un problema ambiental (Jaén, et al., 2006, p. 22).

2.2. Contaminación ambiental: emisiones contaminantes

La preocupación hacia la contaminación ambiental no toma lugar, sino hasta finales de los años 50 y principios de los 60, donde se empezó a notar un creciente foco de contaminación en algunas ciudades del mundo. A partir de ese punto, algunos gobiernos empezaron a prestar mayor interés en dicha problemática, que los llevo a tomar cartas en el asunto (Álvarez y Callejón, 2005, p. 337).

Luego de un análisis de los principales focos que daban paso al incremento de la problemática en cuestión, se llegó a la conclusión que el causante primordial era uno solo, el campo automotor. En dicha época el auge del automóvil ya se había establecido hace algunos años, y la aglomeración de los mismos en las zonas urbanas traía consigo el aumento de emisiones contaminantes, debido a sus motores (Álvarez y Callejón, 2005, p. 337).

A partir de dicho análisis, se empezaron a establecer una serie de reglamentos enfocados en el control y limitación de los vehículos, con la esperanza de reducir prontamente la situación concerniente; Estados Unidos y posteriormente Europa, fueron los entes iniciales, que empezaron a trabajar en el establecimiento de dichas normativas (Álvarez y Callejón, 2005, p. 337).

La fundamentación de la contaminación por partes de los vehículos se basa en la combustión de los carburantes que se utilizan para el funcionamiento de sus motores, lo que conlleva a la producción y emisión de gases contaminantes, tales como dióxido de carbono (CO₂), monóxido

de carbono (CO), óxidos nitrosos (Nox) o material particulado (PM). Tales gases tienen gran impacto tanto en la salud humana, como en el medio ambiente.



Figura 1-2. Contaminación ambiental por parte de campo automotriz
Realizado por: (Futuro Verde, 2017)

2.3. Emisiones en motores diésel

Hoy en día sería impensable no disponer de un motor diésel para distintas actividades, desde el campo de la industria al de la automoción. Es una verdad a voces, que el motor diésel es sin duda alguna, mucho más eficiente a la hora de convertir la energía producto del combustible en movimiento.

Para lograr una mayor potencia, los motores diésel inyectan una mayor cantidad de aire (oxígeno) dentro de las cámaras, en la mezcla con el combustible, esto con la ayuda de un turbo incorporado. Este incremento de oxígeno implica a su vez un incremento de nitrógeno (LFERRAZ, 2015).

En la combustión, esta no se realiza perfectamente cómo se deseará, lo que conlleva a que quede parte del oxígeno sin quemarse, y ya sea por las altas temperaturas o presiones de la cámara, desencadena que el nitrógeno se combine con el oxígeno, formando así los indeseados Nox, que junto con nanopartículas (PM) contenidas en el diésel, escapan a la atmósfera durante el proceso de escape (LFERRAZ, 2015).

A pesar del hecho que los motores diésel generen menos CO₂ que los motores a gasolina, sucede lo contrario con los Nox y el material particulado (PM), que son altamente peligrosos para la salud humana (Novella, 2012. P. 3)

2.3.1. Tipos de gases productos de las emisiones en motores diésel

A pesar de que producto de la combustión en el motor diésel se generan una serie de emisiones, solo a algunos de ellos se le da prioridad en el estudio, debido al impacto que generan, o porque su producción es mucho mayor al de las demás.

Entre dichos principales gases, se encuentran:

- **Monóxido de Carbono (CO):** gas sin olor ni color, pero letal. Se mide en gramos por kilómetro recorrido (gr/km) o en función de la potencia del motor (g/kWh). Generado en mayor cantidad por los motores a gasolina.
- **Óxidos de Nitrógeno (Nox):** producto de la combinación oxígeno – nitrógeno, principalmente por altas temperaturas. Se generan en mayor medida en motores diésel. Se mide en gr/km o g/kWh.
- **Hidrocarburos (HC):** gases venenosos, producto de una combustión incompleta. Al igual que con los CO, se producen mayormente en los motores a gasolina. Se mide en gr/km o g/kWh. Punto aparte de la expulsión por separado de los HC luego de la combustión, también se encuentran los HC + Nox hidrocarburos no quemados + óxidos de nitrógenos con una expulsión a la atmósfera de forma conjunta.
- **Material Particulado (PM):** diminutos cuerpos en suspensión en el aire, generados de forma antropogénica o natural, generándose particularmente en los motores diésel (AutoAvance, 2019).

Dependiendo si el vehículo es de tipo turismo o de tipo pesado (camiones y buses), las normas por lo general miden dichos gases en g/km para el primero, y en g/kWh para los últimos.

Cada uno de los gases mencionados compone, como se mencionó, la lista principal con objeto de estudio, existiendo asimismo otros, que por su bajo grado de peligrosidad tienden a un menor enfoque. Para el caso particular de este trabajo de titulación, se mostrará especial interés en el análisis del material particulado, especialmente del PM 2.5, causante de serios problemas a la salud, en base a un estudio de su producción por parte de buses urbanos en la ciudad de Riobamba, en situaciones reales.

2.4. Material particulado

El material particulado o PM, como normalmente se lo describe, es una combinación de compuestos de tipo orgánico e inorgánico, que presentan variaciones tanto a nivel físico, como químico. El tiempo de transporte, permanencia y el factor de depositación en el ambiente y sistema respiratorio de las personas, se ven influenciadas por sus características físicas; mientras que las características químicas se encaminan a los efectos que producen en las personas (García, 2006, p. 4).

Dependiendo del diámetro de la partícula, así como el impacto en la contaminación hacia el aire, se puede encontrar partículas del tipo fino, gruesa y superior.

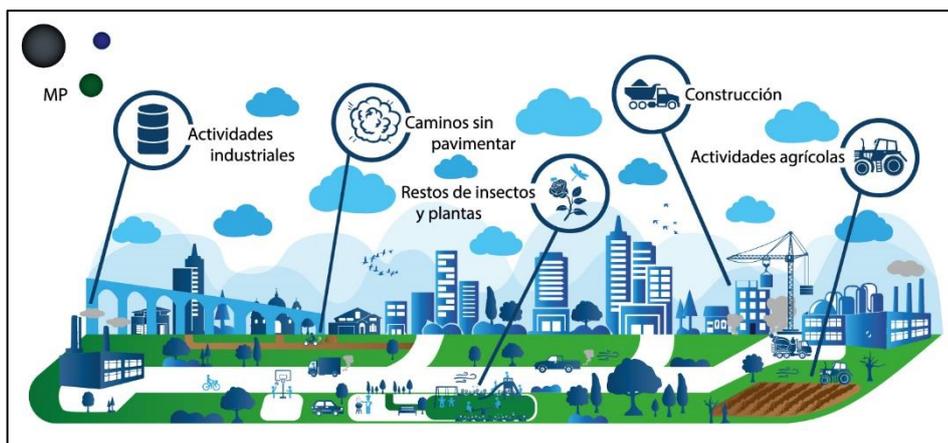


Figura 2-2. Fuentes generadoras de material particulado PM
Realizado por: (CeCAMQ, 2017)

2.4.1. PM finas (< 2.5 μm)

El aquel material particulado, cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2.5 micrómetros. A este tipo se lo denomina como PM 2.5. La composición de las partículas de este tipo por lo general se basa en aerosoles secundarios, partículas de combustión y vapores recondensados de tipo orgánico y metálico.

2.4.2. PM gruesas (entre 2.5 y 10 μm)

Abarca a aquel material particulado con un diámetro aerodinámico que va desde los 2.5 a 10 micrómetros, denominándose a todo el PM de este tipo como PM 10.

2.4.3. PM suspendidas totales (entre 10 y 50 μm)

Corresponda al PM suspendido en el aire con un diámetro aerodinámico de hasta 50 micrómetros. A partir de este punto, el PM con un diámetro mayor al mencionado, no se mantienen suspendidas en el aire por mucho tiempo, sedimentándose producto de la fuerza gravitatoria, lo que no lo convierte en una amenaza a la salud (García, 2006, p. 4).

2.5. Fuentes de emisión del PM

Las fuentes de generación del PM son muy variadas, y va a depender mucho de si se genera, ya sea de forma natural o antrópica, y si estas son emitidas directamente a la atmósfera o no.

2.5.1. Fuentes Naturales

Como se indica, es PM generado de forma natural por la naturaleza, ya sea el polen de flores, la brisa, cenizas volcánicas, polvo, etc. Generalmente el PM generado a partir de estas fuentes es del tipo grueso, por lo que no duran mucho tiempo suspendido en el aire (García, 2006, p. 5).

2.5.2. Fuentes antrópicas

En la generación de PM a partir de este tipo de fuentes, interviene directamente la mano del hombre, ya que estas fuentes se derivan de procesos industriales, generación de energía, quema

de residuos, transporte, etc. El PM generado por estas fuentes son es su mayoría del tipo fino, con un diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrómetros, y contiene una serie de elementos tóxicos (García, 2006, p. 5).

En ese tipo de fuentes, se puede dar el caso de que el PM sea emitido directamente a la atmósfera, siendo así una fuente de tipo primaria; por otro lado, si las fuentes emiten sustancias a la atmosfera, que dan lugar a la formación posterior de PM, se entiende que estas fuentes son de tipo secundaria (García, 2006, p. 5). Para una mejor comprensión de lo mencionado, se puede observar la clasificación de las fuentes de PM por origen antrópico mostrado en la figura 3-2 (García, 2006, p. 6).

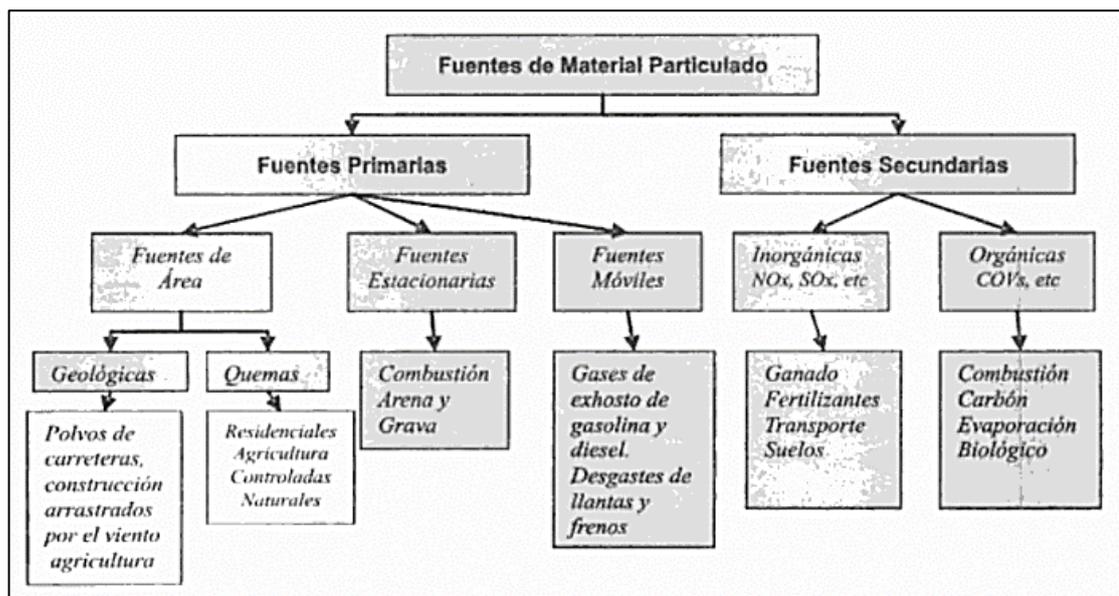


Figura 3-2. Esquema de clasificación de las fuentes de PM de origen antrópico
Realizado por: (García, 2006, p. 6).

2.6. Legislaciones encargadas del control de emisiones contaminantes

Como se mencionó anteriormente, entre los años 50 y 60, se empezaron a desarrollar leyes que combatan al problema de la contaminación ambiental. A partir de dicho punto, empezaron a formarse una serie de legislaciones que, bajo la primicia de vencer el cambio climático, empezaron a establecer una serie de requerimientos en la producción de vehículos, que se consideró como el principal foco de contaminación. Estas legislaciones se establecieron en varias partes de mundo, compartiendo un mismo fin.

- **CARB:** o Junta de Recursos del Aire de California, establecida en EE. UU – California.
- **EPA:** o Agencia de Protección Ambiental, establecida por EE. UU.
- **Normas de la Unión Europea**
- **ECE:** o Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa
- **Legislación japonesa**

En motores diésel, las organizaciones mencionadas, fijan cada cierto tiempo requerimientos de adicción o retiro de ciertos componentes, con considerarse que ayudan o perjudican el problema en cuestión (AutoAvance, 2019).

Como una de las principales legislaciones, en la regulación para motores diésel y gasolina alrededor del mundo, está la norma EURO, que cada cierto tiempo, desde 1992, establece nuevos reglamentos para que las empresas productoras de vehículos puedan sacar al mercado sus unidades.

2.7. Norma Ecuatoriana De Calidad Del Aire Ambiente

El promedio aritmético de la concentración de PM_{2,5} de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico (15 µg/m³).

El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 µg/m³).

Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado PM_{2.5} cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitorea sea mayor o igual a (50 µg/m³) (Norma Ecuatoriana De Calidad Del Aire, 2011).

2.8. Norma EURO

Particularmente en los estados miembros de la EU (European Union) y la EEA (European Economic Area), las emisiones de escape en los vehículos están controladas bajo los estándares de la norma EURO, tanto para motores a gasolina como los de diésel. En un enfoque hacia los motores diésel, los estándares de esta norma trabajan de acuerdo a la calificación de categoría de los vehículos (Okubo y Kuwahara, 2019, p. 31).

Para los vehículos livianos tipo diésel, la norma se presenta con la palabra EURO seguida de un número arábico, es así que desde 1992, año en que entró en vigencia la norma, se ha tenido EURO 1, 2, 3, 4, 5, 6, hasta la actualidad. Por otro lado, para vehículos pesados y buses, la norma se designa con números romanos luego de la palabra EURO, donde hasta el momento se regenta la EURO VI (Okubo y Kuwahara, 2019, p. 31).

Esta norma ha ido disminuyendo los parámetros admisibles de la cantidad de material contaminante que un vehículo puede generar, tal como se muestra en la figura 4-2., donde hay una tendencia a la baja durante cada año.

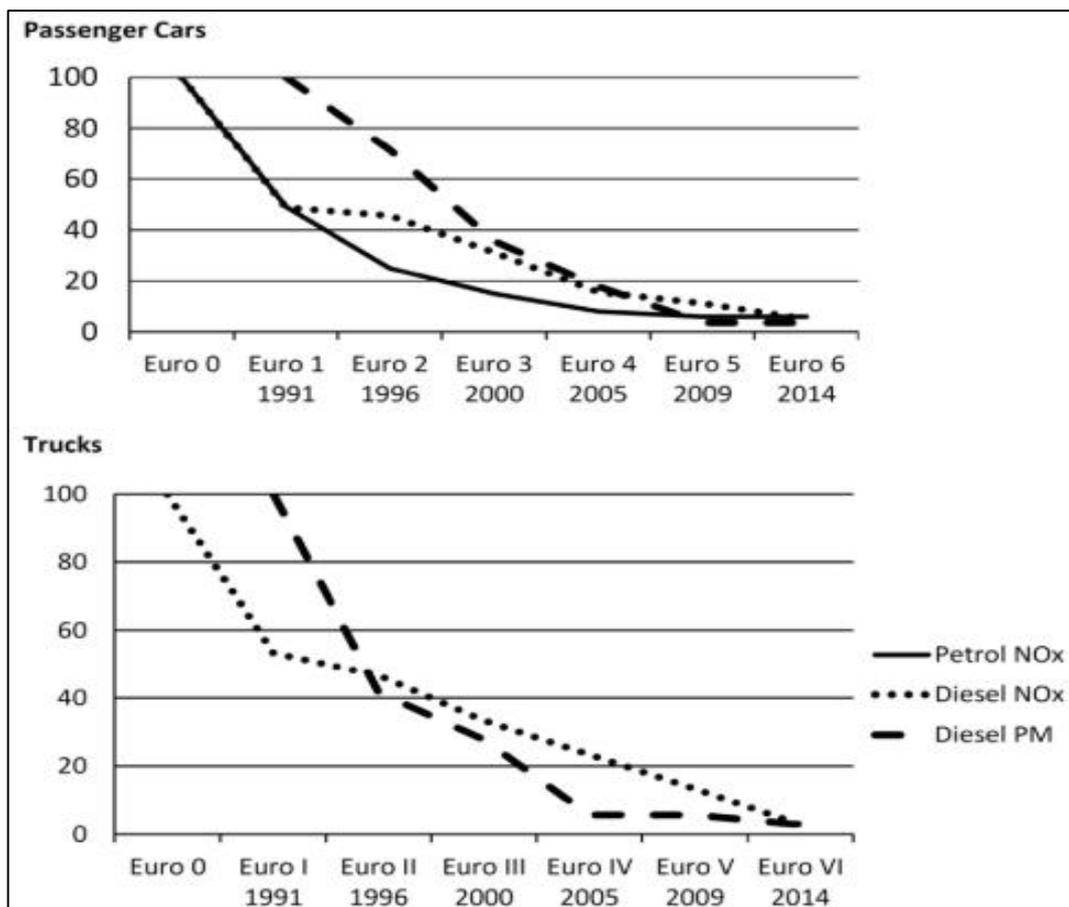


Figura 4-2. Reducción de valores de emisiones de la norma EURO I a la VI
Realizado por: (Merkisz, et al., 2014, p. 3).

2.8.1. EURO I (1992 – diésel)

En este primer punto de partida de la norma EURO, se establecen los primeros valores permisibles máximos que un vehículo diésel debería generar. La inyección del combustible es realizada directamente a la precámara del motor, por medio de una bomba mecánica, que controla la cantidad de combustible que ingresa a los inyectores por el accionamiento del pedal del acelerador. La inyección de combustible no se da de manera efectiva, aumentando el consumo y los gases de escapes contaminantes (Autastec, 2018).

2.8.2. EURO II (1996 – diésel)

Se presta mayor interés a la emisión de CO, HC y Nox. Aunque la inyección de combustible se continúa realizando en la precámara, se utiliza una bomba con control electrónico. Para compensar la reducida respuesta del acelerador electrónico, que también está presente, se incorpora un turbocompresor. Con el fin de hacer frente a la emisión de CO y HC se implementa además el catalizador de 2 vías o de oxidación v

2.8.3. EURO III (2000 – diésel)

Hay una leve disminución en los valores de HC y CO. La inyección de combustible se la realiza directamente en la cámara. La bomba electrónica, controla ahora su aceleración y el tiempo de inyección de combustible. Se continua con el uso del catalizador de 2 vías para actuar en contra de los HC y Co; por otra parte, con 1 implementación de la válvula EGR, se permite la recirculación de los gases de escape, haciendo de esta manera frente a los Nox (Autastec, 2018).

2.8.4. EURO IV (2005 – diésel)

La norma se torna más estricta con las emisiones de Nox y PM. Se mejora el funcionamiento del turbocompresor, y la EGR pasa a enfriarse junto con el sistema de refrigeración del motor. Además de la incorporación del sistema de inyección “common rail”, en donde la inyección de combustible se realiza por ciclos y no de forma continua. Como último punto, se integra además un filtro antipartículas (FAP), que acumula PM, que luego con el aumento de temperatura, son quemadas.

2.8.5. EURO V (2008 y posterior versión 2b en 2011 – diésel)

Se reducen aún más los valores permisibles de los Nox y PM. Se siguen manteniendo los sistemas del catalizador de 2 vías y “common rail”, este último mejora los ciclos de inyección, además de que se rediseña el filtro de antipartículas FAP para que sea más eficiente en la eliminación de PM. Ahora se incorporan 2 EGR, para que trabajen en la parte de alta presión del turbocompresor, y la otra en la baja presión. Todo bajo un control electrónico (Autastec, 2018).

2.8.6. EURO 6 (2013; 6B en 2015; 6c en 2018; y 6d en 2020 – diésel)

En este punto se reducen notablemente los valores de Nox y PM. Se vuelve a mejorar el sistema “common rail”, aumentando los ciclos durante la inyección, reduciendo de este modo el consumo, CO, CO₂ Y HC. Se mejora el diseño del turbocompresor, y al usarse un combustible de mejor calidad, el catalizador de dos vías trabaja más eficientemente. Así mismo, el filtro FAP, mejora su capacidad de atrapar partículas, incluso más pequeñas. Se mantiene el trabajo de las 2 EGR, y además con el fin de disminuir la emisión de Nox, se añade un catalizador de reducción selectiva o SCR, en el cual se incorpora un aditivo que ayuda a eliminar de forma química los Nox que se producen. Este aditivo se lo conoce como AdBlue (Autastec, 2018).

2.9. Comparación de valores admisibles en la norma EURO

Luego de una breve descripción de la transformación que sufrió la norma EURO a lo largo de los años hasta la actualidad (y de echo lo continuara haciendo, ya se está previsto el lanzamiento de la EURO VII el próximo año), es necesario conocer los valores permisibles que admite la norma para cada uno de los gases contaminantes en cuestión, tal como se muestra en la tabla 1-2.

Tabla 1-2. Valores de la norma EURO en motores diésel de vehículos pesados y buses

EMISIONES ESTÁNDARES PARA MOTORES DE VEHÍCULOS PESADOS Y BUSES TIPO DIÉSEL							
Tipo	Fecha	CO	HC	Nox	PM	PN	Smoke
		<i>g/kWh</i>					<i>1/kWh</i>
Euro I	1992 ≤ 85 kW	4.5	1.1	8.0	0.612	--	--
	1992 > 85 kW	4.5	1.1	8.0	0.36	--	--
Euro II	1996	4.0	1.1	7.0	0.25	--	--
	1998	4.0	1.1	7.0	0.15	--	--
Euro III	1999 *EEV only	1.5	0.25	2.0	0.02	--	0.15
	2000.	2.1	0.66	5.0	0.10	--	0.8
Euro IV	2005	1.5	0.46	3.5	0.02	--	0.5
Euro V	2008	1.5	0.46	2.0	0.02	--	0.5
Euro VI	2013	1.5	0.13	0.40	0.01	8.0×10 ¹¹	--

*EEV = Motores EVV (Enhanced Environmental-Friendly Vehicles)
*g = gramos; kWh = kilovatio hora; m = metros

Realizado por: (Dieselnet, 2019).

2.10. Los ciclos de conducción

Básicamente, un ciclo de conducción representa un conjunto de datos evaluados a partir de la velocidad vs tiempo en el vehículo. Para obtener dichos valores se hace uso de un dinamómetro. Gracias a los ciclos de conducción es posible evaluar tanto el consumo de combustible, como las emisiones contaminantes (que son recolectadas y analizadas), esto de una forma normalizada, y así además pudiendo comparar diferentes vehículos entre sí (Romain, 2013).

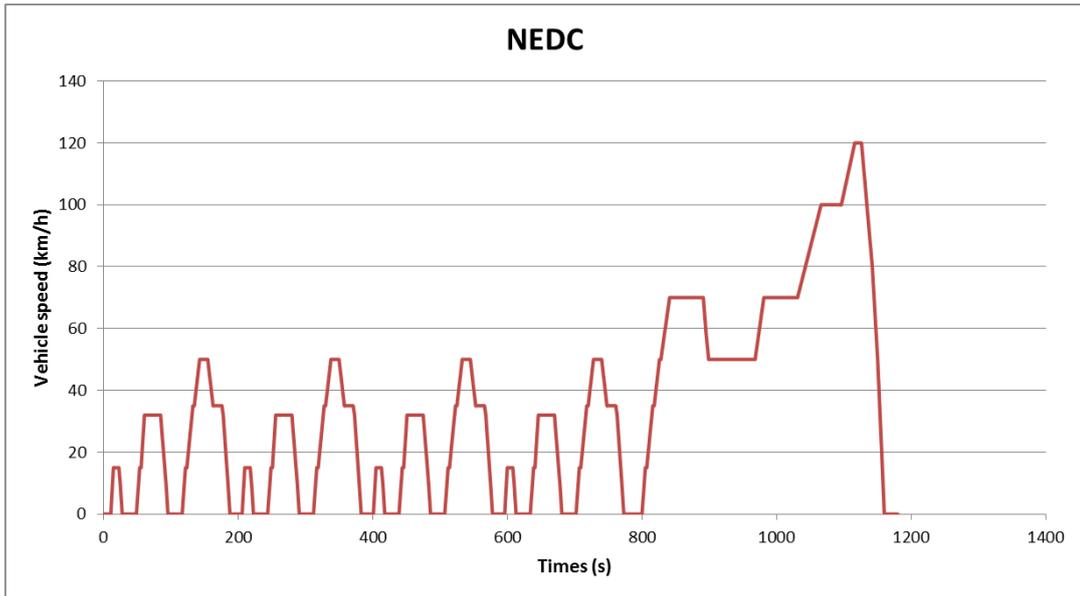
Los ciclos de conducción pueden ser del tipo modal, ya sea el NEDC estándar europeo o el Modo Japonés 10-15; o de tipo transitorio, como el ciclo FTP-75 o el Artemis (Romain, 2013)

2.11. Ciclos de conducción de tipo modal

Los datos recolectados se basan en una compilación de aceleración constante y periodos de velocidad también constantes, pero, no representan un comportamiento real del conductor.

2.11.1. Ciclo NEDC (Europa)

Usado en la homologación de vehículos hasta la norma EURO 6 en Europa y otros países. En la figura 5-2 se puede visualizar 4 picos similares, los cuales representan la evaluación en zona urbana, y el siguiente pico que sigue a los 4 que se repiten, el más grande, en zona extra-urbana.

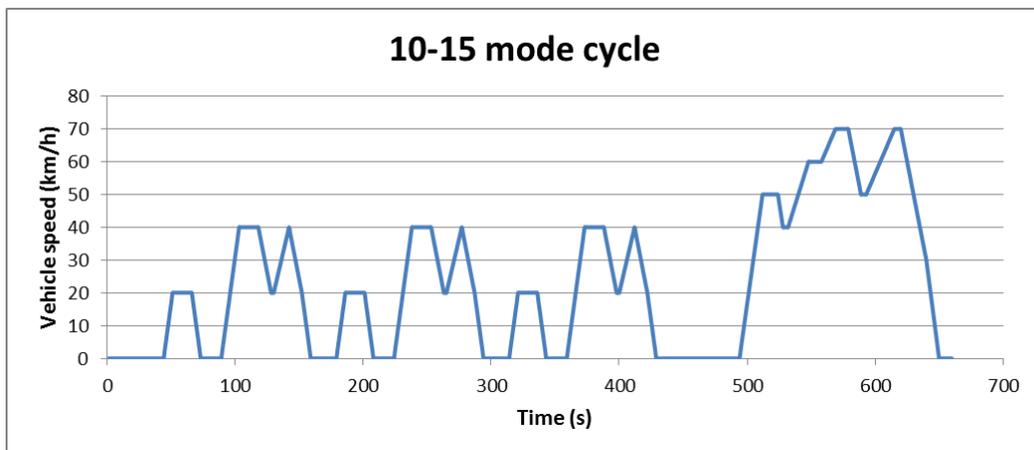


Gráfica 1-2. Gráfica del ciclo de conducción NEDC
Realizado por: (Romain, 2013)

La evaluación es realizada en una distancia de 11023 metros, con una duración de 1180 segundos, y una velocidad promedio de 33.6 km/h. Al no representar un ciclo en condiciones reales, se planea su modificación para la norma EURO 7, que se conocerá como WLTP – Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure (Romain, 2013).

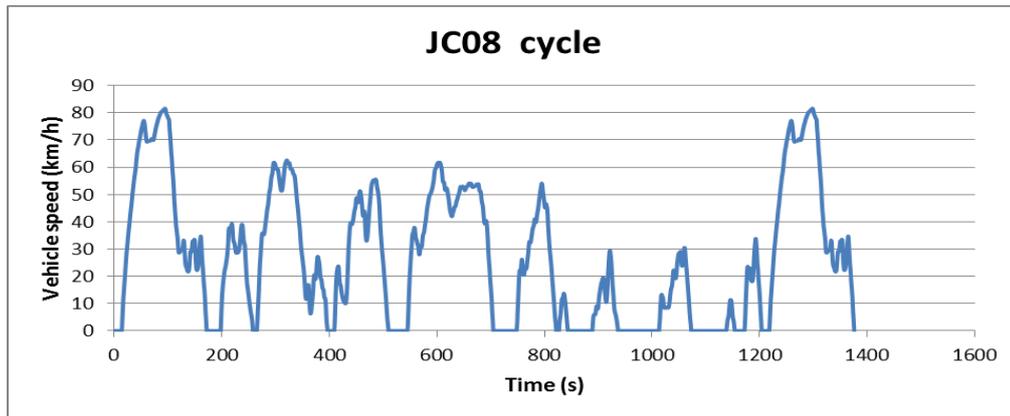
2.11.2. Ciclo 10-15 (Japón)

Usado en Japón para evaluar las emisiones y consumo de combustible, simulando un ciclo en condición urbana y de autopista (donde se incluye ralentí, aceleraciones, crucero y desaceleraciones), con el motor caliente y previo procedimiento de calentamiento. Realizado en una distancia de 8.17 kilómetros, con 1204 segundos de duración, a una velocidad promedio de 24.4 km/h (Romain, 2013).



Gráfica 2-2. Gráfica del ciclo de conducción 10-15 japonés
Realizado por: (Romain, 2013)

Una mejora de este ciclo en condiciones más reales es el JC08, realizado en arranque en frío y caliente, representando de esta manera la conducción en condiciones de congestión, con fuertes aceleraciones y desaceleraciones (Romain, 2013).



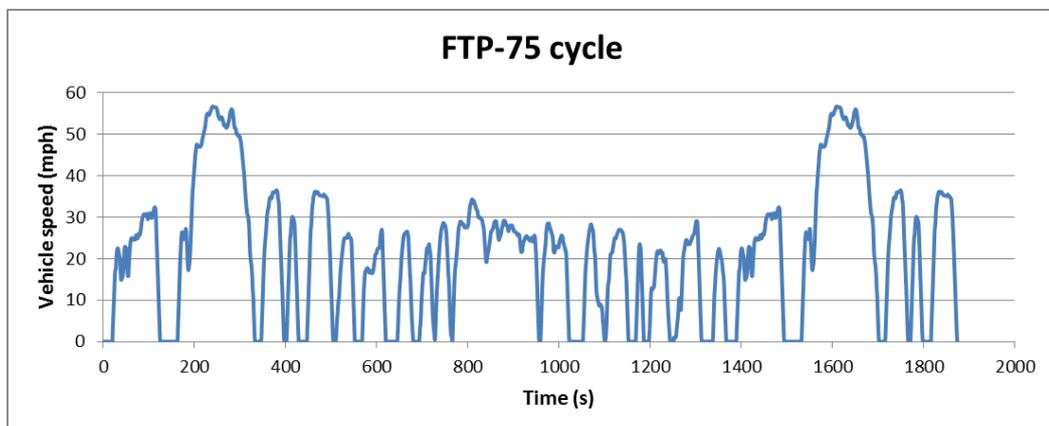
Gráfica 3-2. Gráfica del ciclo de conducción JC08
Realizado por: (Romain, 2013)

2.12. Ciclos de conducción de tipo transitorio

Por otra parte, en los ciclos transitorios la velocidad es variable, tal como se presentaría en situación de carrera real.

2.12.1. Ciclo FTP-75 (EE.UU)

Este ciclo fue creado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, que representa un ciclo de viaje tanto una parte de la conducción urbana (incluyendo paradas frecuentes) y una parte de la conducción en carretera. Evaluación llevada a cabo en una distancia de 17.77 kilómetros, con 1874 segundos de duración, y a una velocidad promedio de 34.1 km/h (Romain, 2013).



Gráfica 4-2. Gráfica del ciclo de conducción FTP-75
Realizado por: (Romain, 2013)

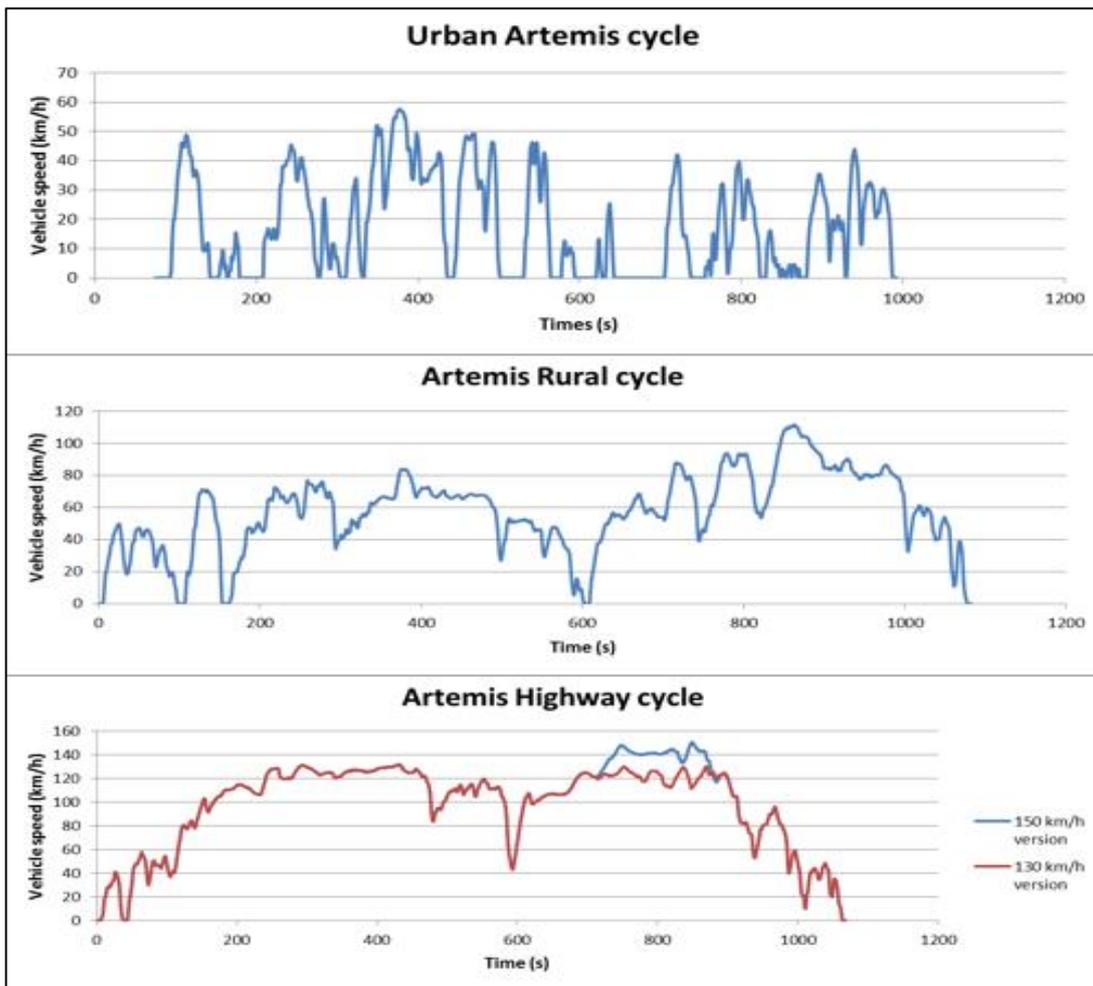
2.12.2. Ciclo Artemis (Europa)

Es un ciclo basado en un estudio estadístico por Europa, el cual está evaluado en condición urbana, rural, carretera a 130 km/h y 150 km/h, con valores de estudio como se muestra en la tabla 2-2.

Tabla 2-2. Valores tomados en la realización del ciclo de conducción Artemis

	URBANO	RURAL	CARRETERA 150 km/h	CARRETERA 130 km/h
Distancia (m)	4870	17272	29545	28735
Duración (s)	993	1082	1068	1068
V. promedio (km/h)	17.6	57.5	99.6	96.9

Realizado por: (Romain, 2013)



Grafica 5-2. Gráfica del ciclo de conducción Artemis

Realizado por: (Romain, 2013)

2.13. Estrategias en motores diésel para la reducción de emisiones contaminantes

El reto de continuar con la mitigación de las emisiones contaminante es un paso a dar para las futuras normas que entren en vigencia. La aplicación de estrategias que logren esto es una base fundamental en el logro de los objetivos. Para adentrarse en el campo de las estrategias para reducción de emisiones en motores diésel, se tiene que hablar de estrategias internas y externas.

La estrategias internas se basan en mecanismos utilizados para atacar al problema desde adentro, ósea, directamente en el cilindro del motor, durante el proceso de combustión, que puede incluir el aumento de la presión de inyección, retraso en los tiempos de inyección, aumento de la recirculación de gases y su posterior enfriado, etc.; por otra parte las estrategias externas se basan en la instalación de dispositivos destinados a controlar o eliminar las emisiones que salen a la atmósfera, posterior a la combustión, tal como la instalación de catalizadores (Nox) y filtros de partículas (PM) (Novella, 2012, pp. 5-8).

2.13.1. Sistema de recirculación de gases (EGR)

Este sistema trabaja en función de los gases quemados que salen de la cámara de combustión, básicamente un porcentaje de dichos gases (entre 0 – 30%) son redirigidos hacia la cámara nuevamente, con el fin de disminuir los puntos calientes dentro. Este trabajo se logra con una válvula EGR instalada en el sistema. Con lo dicho, se logra disminuir la emisión de Nox hasta un 50% (Rychlik y Jasiulewicz, citado en Golinska, 2014, pp. 119 – 120; LFERRAZ, 2015).

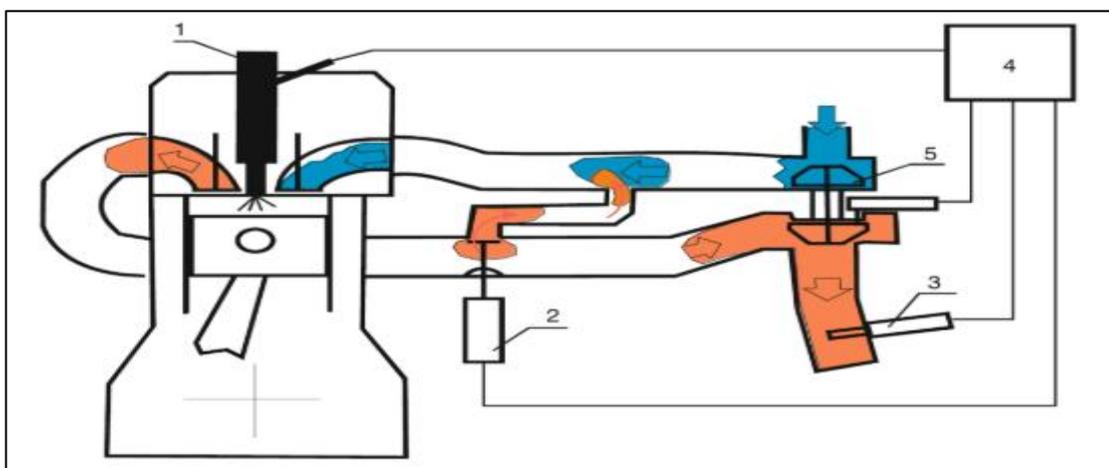


Figura 5-2. Sistema de recirculación de gases
Realizado por: (Golinska, 2014, p. 120)

2.13.2. Tecnología de los catalizadores diésel

Son elementos diseñados principalmente para la eliminación por medio catalítico de Nox producto de los gases de escape en la combustión. Su principal componente es una especie de malla cerámica, que esta revestida con materiales como el platino, rodio o paladio. Entre los principales tipos utilizados en el campo diésel están los catalizadores NSR, los SCR y los catalizadores con tecnología combinada de los 2 anteriores (Quindimil, 2014, pp. 5-6).



Figura 6-2. Catalizador para motores diésel
Realizado por: (Autofácil, 2016)

2.13.3. Catalizadores de almacenamiento y reducción (NSR)

Este tipo de tecnología fue propuesto y desarrollado por Toyota. Busca principalmente la eliminación de Nox mediante la utilización de un catalizador robusto con recubrimiento de pequeñas cantidades de algunos metales preciosos, como rodio o platino, el cual actúa como un activo en la oxidación y reducción; además, como material de almacenamiento se usa óxido de bario, dióxido de cerio, etc., que son compuestos estables a altas temperaturas (Quindimil, 2014, pp. 6-7).

2.13.4. Catalizadores de reducción selectiva (SCR)

Este tipo de tecnología se basa en el uso de un agente reductor, como lo es el amoníaco, para reducir las emisiones de Nox, en los motores de tipo diésel. Este catalizador es utilizado a partir de la norma EURO IV (Quindimil, 2014, p. 7). Existe un tipo de catalizador homónimo a este, el catalizador DOC, que, a diferencia del SCR, no utiliza un agente reductor, y está destinado a la reducción de HC, CO y PM.

2.13.5. Catalizadores pasivos NSR-SCR

Es un catalizador con una combinación de tecnología, tanto del NSR y SCR, teniendo como resultado, un sistema que no necesita alimentarse de un agente reductor (urea), y logra reducir los Nox. Así mismo utilizando, además, la mínima cantidad de metales preciosos (Quindimil, 2014, p. 8).

2.13.6. Filtros de partículas (DPF)

Los filtros de partículas diésel, DPF o FAP, como también son conocidos, son elementos que se encargan de eliminar las partículas de hollín resultante de la combustión. Este sistema empezó a usarse desde la norma EURO V, que los volvió obligatorio en vehículos a diésel. Este tipo de filtro es capaz de remover hasta nano partículas si está integrado adecuadamente. Un filtro DPF trabaja en la manera opuesta al catalizador, ya que el filtro atrapa y elimina hollín mediante un proceso de regeneración pasiva (Qianfan Xin, 2011, p. 512).

El algún caso cuando no se puede generar la regeneración pasiva de forma natural, se procede a ejecutar una regeneración activa, en donde bajo el mando de la computadora del vehículo se inyecta más combustible con el fin de aumentar la temperatura de los gases de escape y poder así quemar el hollín almacenado en el filtro (Interescape, 2019).

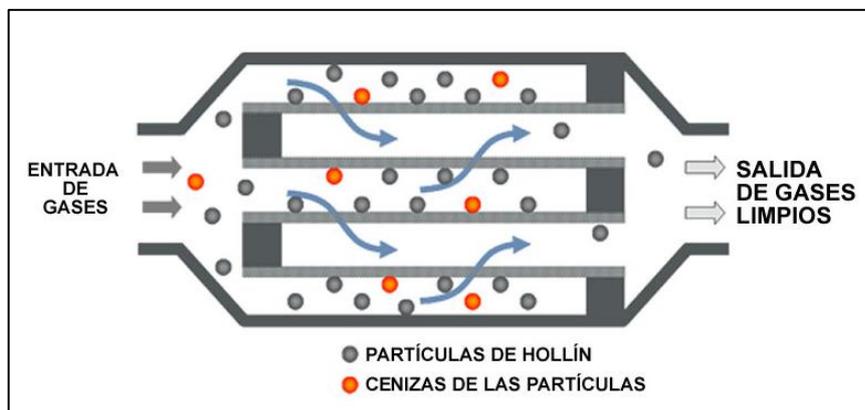


Figura 7-2. Filtro de partículas DPF o FAP
Realizado por: (Autofácil, 2016)

2.14. Tabla de requisitos del diésel premium.

Según el Instituto de Normalización Ecuatoriana (INEN) en su norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1489:2012 séptima versión productos derivados del petróleo el combustible diésel premium siendo el único combustible establecido para la utilización en motores de autoignición para la propulsión de vehículos en el país debiendo cumplir con ciertos requisitos para su expendio especificados en la siguiente figura 13-2.

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
Φ Contenido de agua y sedimento	%	-	0,05	NTE INEN 1494
W Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
W 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
W contenido de azufre	%	-	0,05	ASTM 4294 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, $\Phi_{\text{Biodiésel}}$	%	---	5	EN 14078
NOTA. De no contener biodiesel, no es necesario la realización de este ensayo.				

Figura 8-2. NTE INEN 1489:2012 productos derivados del petróleo el combustible diésel
Realizado por: (INEN 2012)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Equipos y herramientas empleadas en el estudio

Con el fin de llevar a cabo el estudio mencionado en este trabajo de titulación, se debe hacer uso de un analizador de gases, que proporcionara los valores de contaminación por material particulado PM2.5. De igual manera, para dicho estudio se cuenta con tres buses de la marca HINO, cada uno con un tipo de tecnología EURO (I, II, III), donde se realizarán las respectivas pruebas en una ruta de camino designada.

3.1.1. Analizador de gases MAHA MPM-4

Con el fin de determinar la emisión de PM2.5 en cada uno de los 3 vehículos de estudio, se hace uso de un analizador de gases portátil de la marca MAHA. El equipo provee de una sonda, la cual va conectada al tubo de escape para medir los valores de interés. El proceso de funcionamiento está basado en la dispersión de luces mediante un tipo de tecnología láser.



Figura 9-3. Analizador de gases MAHA MPM-4
Realizado por: (PS Auction)

- **Especificaciones**

Las especificaciones con las que el equipo mencionado cuenta son detalladas en la tabla 3-3., que se muestra a continuación:

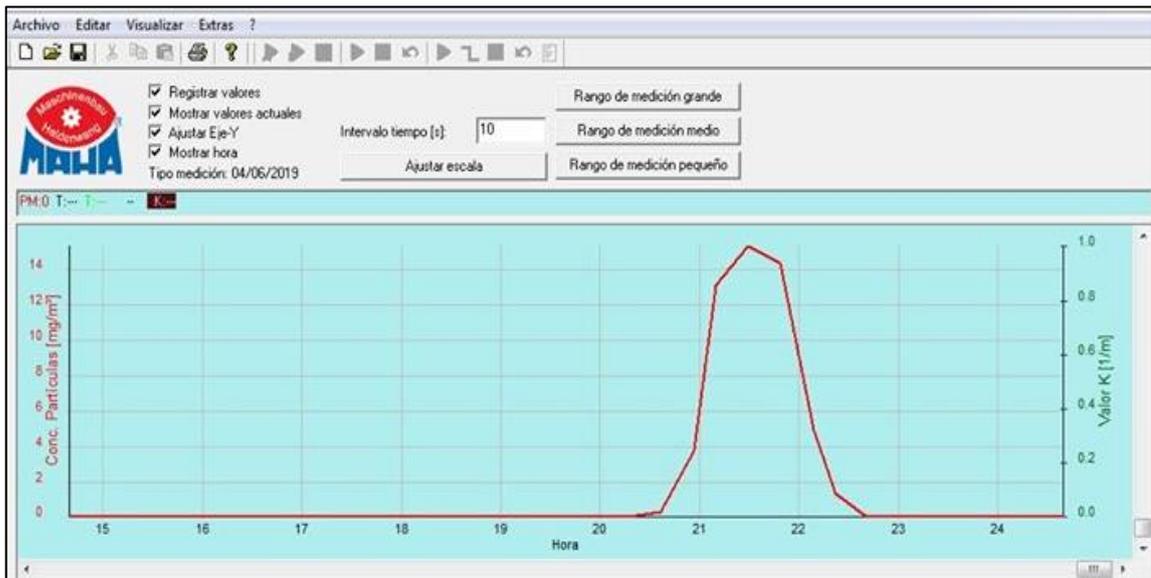
Tabla 3-3. Especificaciones de medidor MAHA MPM-4

ESPECIFICACIONES / MAHA MPM-4	
Corriente de alimentación	12 a 24 V (DC / 110 a 240 V (AC) / 50 a 60 Hz
Peso	5 kg
Método de medición	Laser de dispersión de fotometría (LLSP)
Rango de medición	0.01 a 1000 mg/m ³
Precisión de medición	0.01 mg/m ³
Rango de tamaño de partículas	100 a 10000 nm
Salida análoga	0 a 5 V (DC)
Rango de medición (salida análoga)	0 a 10 mg/m ³ / 0 a 1000 mg/m ³
Interface	RS 232

Realizado por: CCICEV

- **Interfaz RS 232**

El equipo de análisis de gases, MAHA MPA-4, incorpora una interfaz gráfica que permite ser visualizada en una computadora portátil, con lo que se facilita de mejor manera la manipulación de resultados, a la vez que permite ver en tiempo real los valores que se van obteniendo a lo largo del estudio. De igual manera, las gráficas obtenidas mediante esta interfaz permiten ser exportadas a softwares externos como Excel, el mismo que fue aplicado para este estudio.



Gráfica 6-3. Ventana de la interfaz RS 232

Realizado por: (Interfaz Analizador de gases MAHA MPM-4)

Como se puede observar en la figura 15-3., el software que aparece en pantalla al ejecutar el test de análisis de gases presenta una interfaz de fácil interacción entre el usuario y vehículo a través del tiempo, permitiendo un análisis directo durante el test.

Entre los principales botones mostrados en la ventana principal de la interfaz se encuentran:

- **Registrar valores:** Si se habilita esta función, empezará la recolección de valores.
- **Mostrar valores actuales:** Si se habilita esta función, el tiempo el eje X se ira desplazando automáticamente durante la ejecución del test.
- **Ajustar eje Y:** Si se habilita esta función, la escala se ajusta automáticamente para visualizar de mejor manera la gráfica que se vaya obteniendo.
- **Mostrar hora:** Si se habilita esta función, el tiempo real en el que se está realizando el test aparecerá en el eje X, o por el contrario, el tiempo que ha transcurrido desde que se inició el test.
- **Tipo medición:** Se muestra la fecha y hora en la que se inició el test.
- **Visualización de valores:** Se muestra los valores actuales del test.
- **Intervalo de tiempo:** El tiempo que transcurre a lo largo del test se representa en el eje X, pudiendo de igual manera ser posible modificar su intervalo durante el proceso.
- **Ajustar escala:** Si se usa esta función, la escala en el eje Y puede ser modificada de manera que todos los valores dentro del actual rango de tiempo son mostrados apropiadamente.
- **Rango de medición grande / medio / pequeño:** Se puede seleccionar varios rangos - predefinidos mediante estos botones.
- **Ventana de comunicación:** En esta ventana se pueden visualizar los mensajes de comunicación con las interfaces EUROSISTEM o MET6 (únicamente si se encuentran habilitadas para su uso).

3.1.2. Vehículos de pruebas

Los 3 vehículos usados en cada una de las pruebas de este estudio, son unidades de la marca HINO, ya que la mayor cantidad del parque automotor de transporte urbano de la ciudad son de esta marca, perteneciendo varios de ellos a la cooperativa de transporte urbano PURUHA de la ciudad de Riobamba.

Cada unidad esta implementada con una de las tecnologías EURO (I, II, III) ya que por la calidad del combustible no se nos permite la utilización de mejores tecnologías, con los cuales se puede obtener información de la cantidad de material particulado PM2.5

Tabla 4-3. Especificaciones técnicas de la unidad HINO GD

VEHÍCULO DE PRUEBA N° 1



Tecnología EURO	EURO I	N° de placa	PZM0635
Marca	HINO	Modelo	GD1JLTZ
Versión	--	Año	2001
VIN	J4DGD1JLT1XX10586	Serie de motor	J08CTW10679
Torque	52 kgM (1500 RPM)	Potencia	260 HP (2500 RPM)
Cilindrada	8000 cc (6 cilindros)	Modelo de motor	J08
Disposición motor	Lineal	Posición motor	Delantera
Combustible	Diésel	Tracción	Posterior
Tonelaje	3.5 Toneladas		
Designación de neumáticos	275/80R22.5	País de origen	Japón
Tipo de frenos	Mixto Hidroneumático	Número de ejes	2
Categoría-Subcategoría-Código-Tipo	M3-BUS-BUS	Clase	No aplica

Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

Tabla 5-3. Especificaciones técnicas de la unidad HINO FG

VEHÍCULO DE PRUEBA N° 2



Tecnología EURO	EURO II	N° de placa	HAK0893
Marca	HINO	Modelo	FG1JPUZ
Versión	--	Año	2007
VIN	JHDFG1JPU7XX12111	Serie de motor	J08CTT26958
Torque	76 kgM (1500 RPM)	Potencia	260 HP (2500 RPM)
Cilindrada	8000 cc (6 cilindros)	Modelo de motor	J08
Disposición motor	Lineal	Posición motor	Delantera
Combustible	Diésel	Tracción	Posterior
Tonelaje	3.5 Toneladas		
Designación de neumáticos	295/80R22.5	País de origen	Japón
Tipo de frenos	Neumático	Número de ejes	2
Categoría-Subcategoría-Código-Tipo	M3-BUS-BUS	Clase	No aplica

Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

Tabla 6-3. Especificaciones técnicas de la unidad HINO AK

VEHÍCULO DE PRUEBA N° 3			
			
Tecnología EURO	EURO III	N° de placa	TAA1595
Marca	HINO	Modelo	AK8JRSA
Versión	--	Año	2012
VIN	JHDAK8JRSCXX10978	Serie de motor	J08EUD16086
Torque	75.4 kgM (1500 RPM)	Potencia	250 HP (2500 RPM)
Cilindrada	8000 cc (6 cilindros)	Modelo de motor	J08
Disposición motor	Lineal	Posición motor	Delantera
Combustible	Diésel	Tracción	Posterior
Tonelaje	3.5 Toneladas		
Designación de neumáticos	11R22.5-16	País de origen	Japón
Tipo de frenos	Neumático	Número de ejes	2

Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

3.2. Variables dependientes e independientes

3.2.1. Variables dependientes

Basado en que el estudio será llevado a cabo en situación real de funcionamiento de los vehículos usados en cuestión, se presentó aspectos en el estudio que incidirán de cierta manera en los resultados. Tales aspectos o variables, dependen en cierto modo de diversos factores a lo largo del estudio, cambiando así de valores constantemente. Entre estas variables de naturaleza dependiente se tiene:

- Número de pasajeros
- Paradas en la ruta
- Velocidad del vehículo
- Congestión vehicular
- Modo de conducción
- Tipo de tecnología (EURO)

3.2.2. Variables independientes

Por el hecho de que el estudio fue realizado en carretera, la ruta por donde transitaron los vehículos para la recolección de datos, será invariable e independiente de cualquier otra variable.

3.3. Caracterización del estudio

El presente trabajo se realizó bajo la primicia de que los buses a utilizarse en las pruebas realicen normalmente sus actividades de trabajo, con el fin de no alterar los resultados obtenidos durante el estudio.

A cada bus se le realizaron un total de 3 pruebas, en donde cada una de ellas se dividió a su vez en 3 sub-pruebas con intervalos de treinta minutos cada una. Durante cada uno de esos intervalos, se obtuvo una gráfica que se caracteriza por mostrar picos que cambian a lo largo del tiempo del test dependiendo de la cantidad de material particulado PM2.5 que se emitió al ambiente.

Cada uno de los 3 buses, siguió la misma ruta de recorrido, realizando las paradas necesarias en algunos puntos de esa ruta, para recoger o dejar pasajeros, tal como sería en una jornada normal de trabajo. Durante el trayecto, dependiendo de las variables dependientes mencionadas en el apartado 3.2.1, los resultados podrían mostrar cambios bruscos. Las pruebas en cada una de los buses, iniciaron en diferentes horarios, esto dependiendo del horario de trabajo en el día a cada unidad.

Cabe mencionar que al realizarse este estudio en situaciones reales y debido a las variables cambiantes todo el tiempo se hizo uso del método de aceleración libre, donde no se estará sujeto a un rango específico de revoluciones a las que el vehículo transitará.

Hoy en día no existe ninguna norma NTE INEN en el país, en cuanto a la gestión ambiental, que limite la cantidad de material particulado PM2.5 permisible que se puede emitir a la atmósfera por parte de las fuentes móviles y estacionarias que usan diésel como combustible.

Por lo mencionado, cabe anotar que este test se llevó a cabo tomando como referencia los parámetros de análisis del ciclo americano FTP-75, el cual representó un ciclo de viaje tanto de la zona urbana como de la zona periférica teniendo paradas constantes, manteniendo la misma ruta para cada unidad y una velocidad promedio de 40 km/h y con un tiempo promedio de 2 horas por cada prueba.

3.4. Protocolo en la realización de pruebas

Con el fin de llevar a cabo un estudio con resultados que sean confiables, se debe seguir una serie de pasos o protocolo, desde el principio del test hasta el final de este, tal como se detalla a continuación.

- I. Indicar al chófer de cada bus que no realice ningún tipo de modificación en el automotor, que no sea necesaria para que este cumpla su labor de trabajo.
- II. Verificar que el sistema de escape del automotor no presente ningún tipo de fuga que pueda incurrir en la salida de las muestras, en este caso el humo de escape o smog.
- III. Conectar la sonda al tubo de escape, y asegurarse de que esta no se desacople del mismo a lo largo del trayecto.



Gráfica 7-3. Adecuamiento de la sonda en el sistema de escape
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

- IV. Una vez colocada la sonda, situar el equipo analizador de gases dentro del automotor. La forma más práctica, es que este se pase a través de una ventana lateral del bus, para que se facilite la toma de datos por parte del usuario que maneja el equipo.



Gráfica 8-3. Analizador de gases situado dentro del automotor
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

V. Encender el equipo al momento de iniciar el test. Este se calibrará automáticamente para iniciar la recolección de datos.



Gráfica 9-3. Encendido del equipo
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

VI. Después de cada intervalo de prueba se debe reiniciar el equipo. Esto se lo realiza con el botón que se encuentra ubicado a un lado del botón de encendido.



Gráfica 10-3. Botón de reinicio

Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

- VII.** Los resultados se verán reflejados en la interfaz del equipo, haciendo uso de una computadora portátil, para luego exportar los mismos a una hoja de Excel.
- VIII.** Realizar cada uno de los puntos mencionados, en cada uno de los 3 vehículos de pruebas, para luego comparar los resultados obtenidos.

3.4.1. Ruta de recorrido

En cada automotor se realizaron las pruebas, siguiendo una ruta específica, la cual está asignada a cada unidad de la cooperativa (PURUHA, línea N°3), de tal modo que al final se pudo analizar los datos tomando en consideración de cada una de las características o elementos relevantes durante cada test.

Como punto de partida de las unidades iniciaron el recorrido desde la Cooperativa de vivienda Santa Anita, ubicación en donde las pruebas eran puestas en marcha.

Cuando cada unidad completaba su recorrido regresaba muévanme al punto de partida, tal como un ciclo cerrado, donde se daba por terminado la primera prueba de la unidad, que estaba compuesta de 3 test individuales con intervalos de treinta minutos cada uno, obteniéndose una base de datos por intervalo. Luego que la unidad nuevamente partía en su recorrido, se iniciaba nuevamente la prueba, asimismo, dividida en 3 test que duraban treinta minutos.

Al final, a cada unidad se le realizaron 3 pruebas, divididas en 3 test cada una, con lo que se lograba obtener una gráfica por intervalo que muestra en su comportamiento la cantidad de material particulado PM2.5 emitido.

3.4.2. Puntos importantes de la ruta durante las pruebas

Como se mencionó en el apartado 3.4.1, al ser este un estudio en carretera, pueden presentarse variables que alteren los puntos referenciales donde inicia o termina cada intervalo de test, pudiendo asimismo variar en cada una de las 3 pruebas tomadas por automotor. En la tabla 7-3, se muestra los puntos y tiempos referenciales donde cada intervalo inicio y termina cumpliéndose el tiempo de cada intervalo que fue de 30 minutos cada uno, para cada una de las unidades de prueba.

Tabla 7-3. Puntos y tiempos de referencia de la ruta

HINO AK8JRSA				
N° DE PRUEBA	N° DEL INTERVALO	PUNTO DE REFERENCIA		TIEMPO
PRUEBA N° 1	1er intervalo	Inicio	Parada Santa Anita	6:39 AM
		Final	Olmedo y Carabobo	7:09 AM
	2do intervalo	Inicio	Olmedo y Carabobo	7:10 AM
		Final	Guayaquil y Alvarado	7:39 AM
	3er intervalo	Inicio	Guayaquil y Alvarado	7:39 AM
		Final	Parada Santa Anita	8:09 AM
PRUEBA N° 2	1er intervalo	Inicio	Parada Santa Anita	8:32 AM
		Final	Olmedo y Colon	9:02 AM
	2do intervalo	Inicio	Olmedo y Colon	9:02 AM
		Final	Guayaquil y Puruha	9:32 AM
	3er intervalo	Inicio	Guayaquil y Puruha	9:32 AM
		Final	Parada Santa Anita	10:04 AM
PRUEBA N° 3	1er intervalo	Inicio	Parada Santa Anita	10:33 AM
		Final	Olmedo y Carabobo	11:03 AM
	2do intervalo	Inicio	Olmedo y Carabobo	11:03 AM
		Final	Guayaquil y Alvarado	11:33 AM
	3er intervalo	Inicio	Guayaquil y Alvarado	11:33 AM
		Final	Parada Santa Anita	12:00 AM

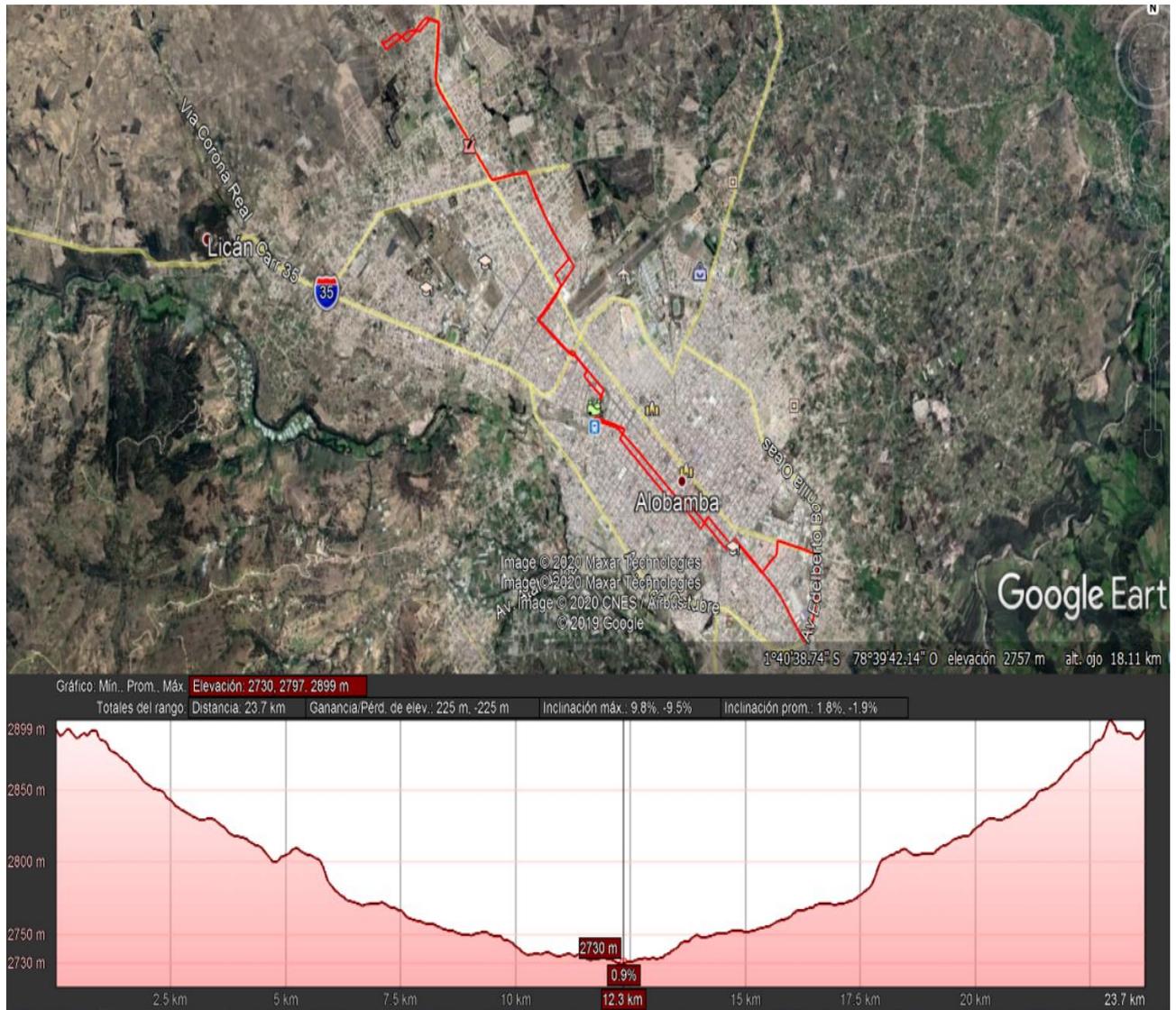
HINO FG1JPUZ				
PRUEBA N° 1	1er intervalo	Inicio	Parada Santa Anita	12:57 PM
		Final	Olmedo y España	13:27 PM
	2do intervalo	Inicio	Olmedo y España	13:27 PM
		Final	Guayaquil y Velasco	13:57 PM
	3er intervalo	Inicio	Guayaquil y Velasco	13:57 PM
		Final	Parada Santa Anita	14:32 PM
PRUEBA N° 2	1er intervalo	Inicio	Parada Santa Anita	14:57 PM
		Final	Olmedo y Loja	15:27 PM
	2do intervalo	Inicio	Olmedo y Loja	15:27 PM
		Final	Villarroel y Carabobo	15:57 PM
	3er intervalo	Inicio	Villarroel y Carabobo	15:57 PM
		Final	Parada Santa Anita	16:33 PM
PRUEBA N° 3	1er intervalo	Inicio	Parada Santa Anita	17:01 PM
		Final	Olmedo y Almagro	17:31 PM
	2do intervalo	Inicio	Olmedo y Almagro	17:31 PM
		Final	Villarroel y Colon	18:01 PM
	3er intervalo	Inicio	Villarroel y Colon	18:01 PM
		Final	Parada Santa Anita	18:40 PM
HINO GD1JLTZ				
PRUEBA N° 1	1er intervalo	Inicio	Parada Santa Anita	11:09 AM
		Final	Olmedo y Almagro	11:39 AM
	2do intervalo	Inicio	Olmedo y Almagro	11:39 AM
		Final	Villarroel y Colon	12:09 PM
	3er intervalo	Inicio	Villarroel y Colon	12:09 PM
		Final	Parada Santa Anita	12:38 PM
PRUEBA N° 2	1er intervalo	Inicio	Parada Santa Anita	13:04 PM
		Final	Olmedo y España	13:34 PM
	2do intervalo	Inicio	Olmedo y España	13:34 PM
		Final	Guayaquil y Darquea	14:04 PM
	3er intervalo	Inicio	Guayaquil y Darquea	14:04 PM
		Final	Parada Santa Anita	14:39 PM
PRUEBA N° 3	1er intervalo	Inicio	Parada Santa Anita	15:06 PM
		Final	Olmedo y Juan Montalvo	15:36 PM
	2do intervalo	Inicio	Olmedo y Juan Montalvo	15:37 PM
		Final	Villarroel y Colon	16:07 PM
	3er intervalo	Inicio	Villarroel y Colon	16:07 PM
		Final	Parada Santa Anita	18:38 PM

Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

3.5. Altimetría de la ruta

Elevación máxima de 2899msnm.

Elevación mínima de 2730msnm.



Grafica 11-3. Altimetría de la ruta
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

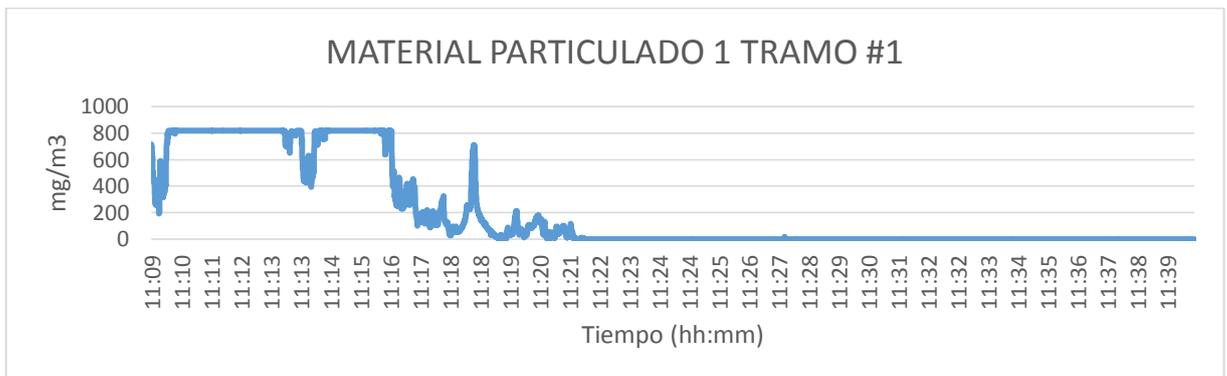
CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de graficas del Hino GD

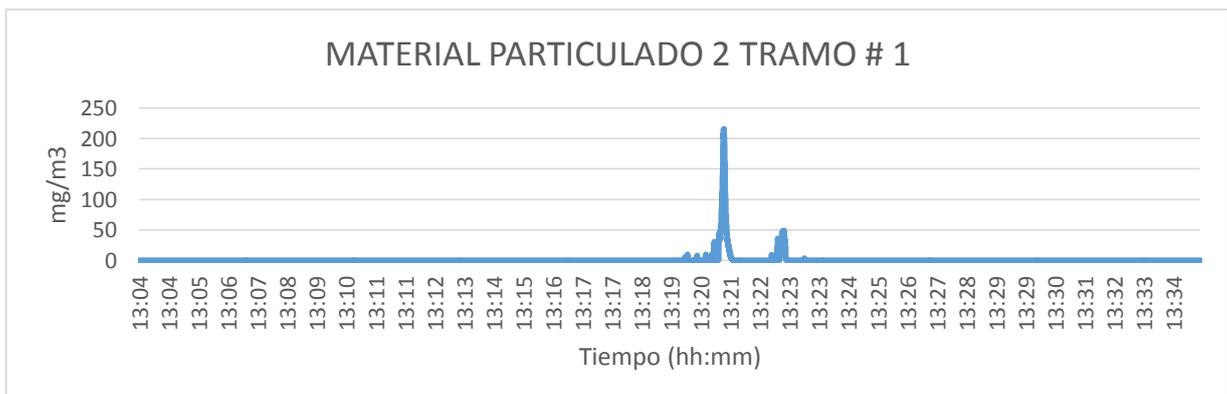
4.1.1. Intervalos del Hino GD- Primer tramo

En las siguientes gráficas 5-4, 6-4 y 7-4 observamos los valores de las tres pruebas realizadas en la unidad en el tramo #1 que está dentro de los 30 minutos, cada una de ellas muestran valores diferentes. En la primera prueba que fue entre las 11 AM se obtuvo un promedio de 203.10 mg/m³ de material particulado (PM2.5), en la segunda prueba que se realizó entre la 1 PM se obtuvo un valor de 1.17 mg/m³ de material particulado (PM2.5) y mientras que en la tercera prueba el promedio fue de 0.04 mg/m³ de material particulado (PM2.5) dado el resultado entre las 3 de la tarde.



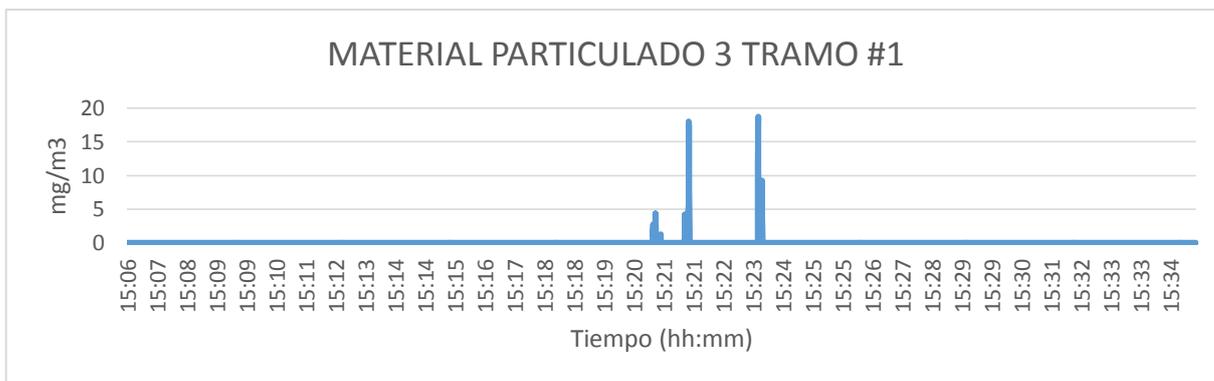
Gráfica 12-4. Prueba #1 en el tramo #1 del Hino GD

Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020



Gráfica 13-4. Prueba #2 en el tramo #1 del Hino GD

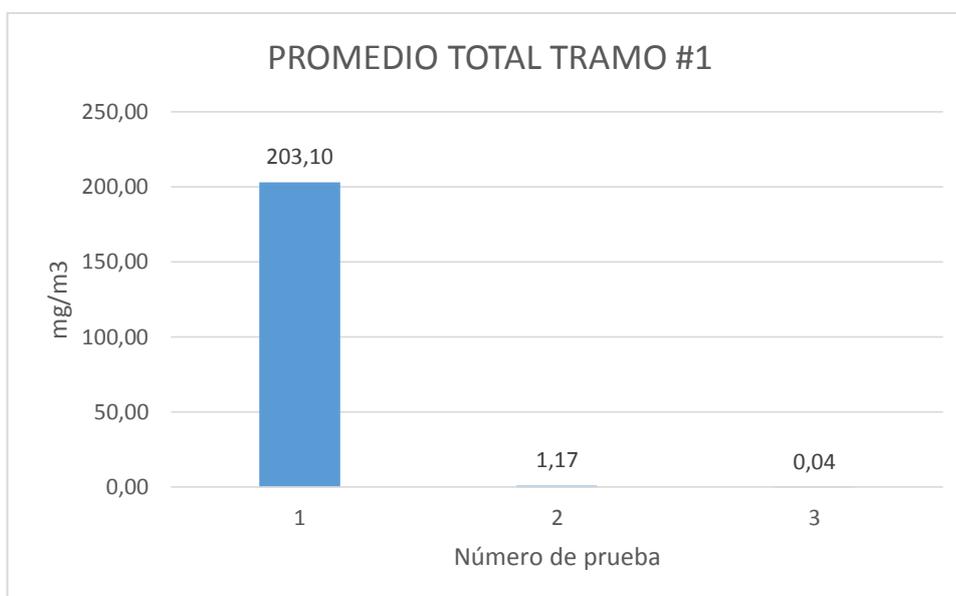
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020



Gráfica 14-4. Prueba #3 en el tramo #1 del Hino GD

Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

Teniendo los valores generales de cada una de las pruebas se obtuvo un valor promedio general total de 68.10 mg/m³ de material particulado (PM2.5) entregando como resultado la gráfica general siguiente.



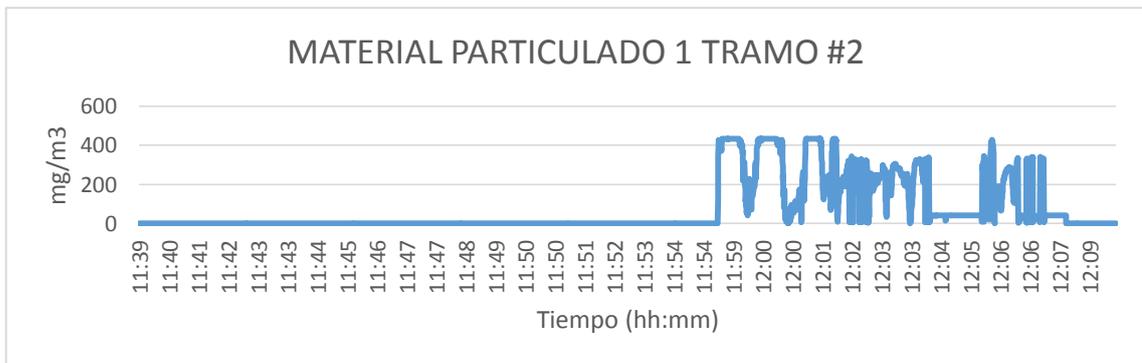
Gráfica 15-4. Promedio general del tramo #1 del HINO GD

Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

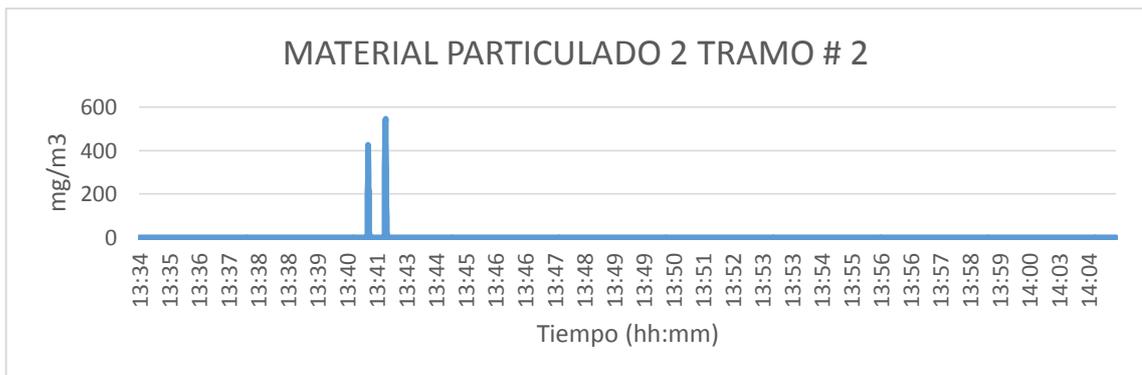
Con estos resultados se puede decir que en el tramo #1 en la primera prueba que fue entre las 11 AM existe una diferencia considerable con las dos pruebas siguientes tomando en cuenta que este tramo fue establecido entre la zona periférica y la zona urbana, al momento que se obtuvieron los datos de la primera prueba la unidad no tuvo lapsos de paradas continuas por la misma razón el vehículo supero los límites de velocidad establecidos que son los 50 km/h dando como resultado una mayor cantidad de material particulado, cabe mencionar que al ser una tecnología antigua la unidad no cuenta con un sistema de filtros de partículas contaminantes lo cual hace que el material particulado salga libremente al ambiente.

4.1.2. Intervalos del Hino GD- Segundo tramo

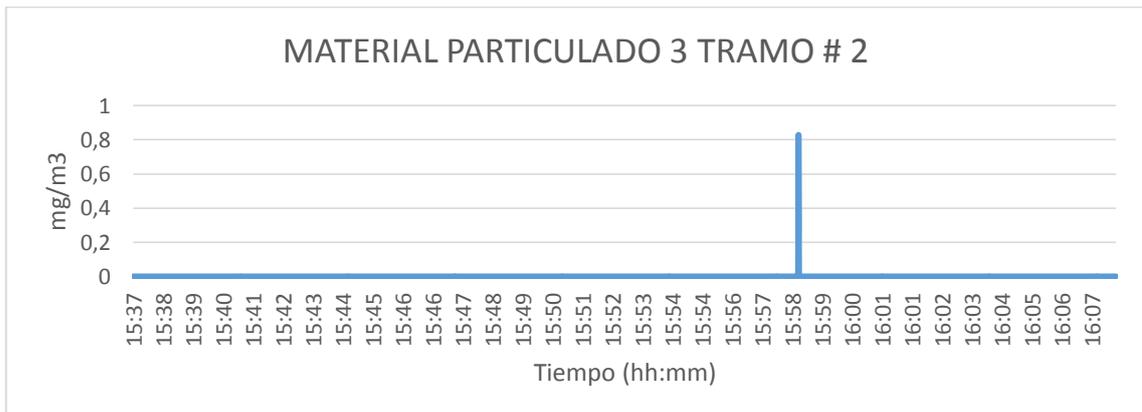
Al igual que en el apartado anterior se obtuvo las siguientes gráficas 9-4, 10-4 y 11-4 con los valores de las tres pruebas realizadas en la unidad en el tramo #2 que está dentro de los 30 minutos establecidos, donde cada una de ellas muestran valores diferentes. En la primera prueba que fue entre las 11 y 12 AM se obtuvo un promedio de 72.09 mg/m³ de material particulado (PM2.5), en la segunda prueba que fue dada entre la 1 y 2 PM se obtuvo un valor de 0 mg/m³ de material particulado (PM2.5) y mientras que en la tercera prueba el promedio fue de 0 de material particulado (PM2.5) dado el resultado entre las 3 y 4 PM.



Gráfica 16-4. Prueba #1 en el tramo #2 del Hino GD
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

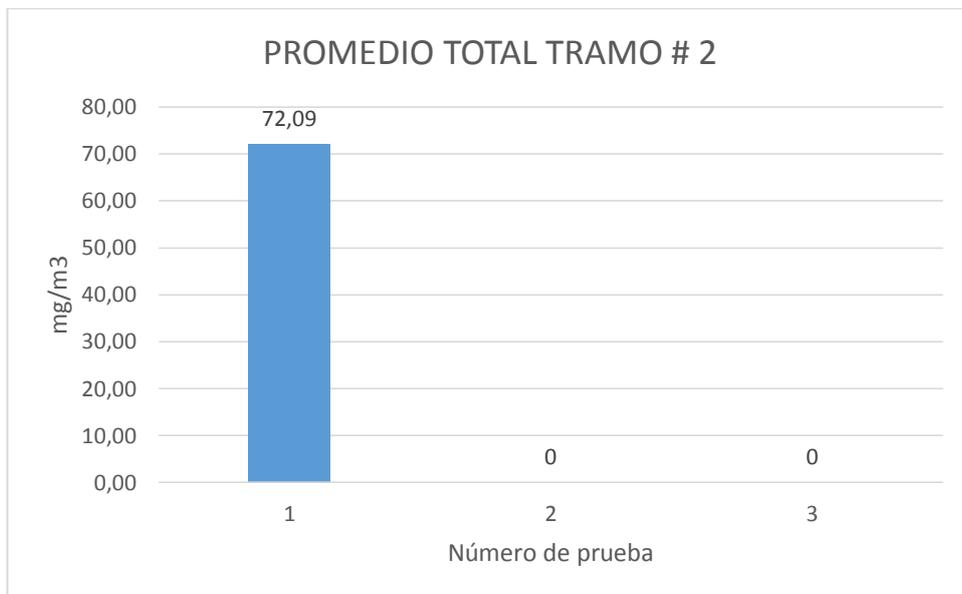


Gráfica 17-4. Prueba #2 en el tramo #2 del Hino GD
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020



Gráfica 18-4. Prueba #3 en el tramo #2 del Hino GD
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

Con estos valores generales de cada una de las pruebas se da un valor promedio general total de 24.03 mg/m³ de material particulado (PM2.5) dando como resultado la gráfica general siguiente.



Gráfica 19-4. Promedio general del tramo #2 del HINO GD
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

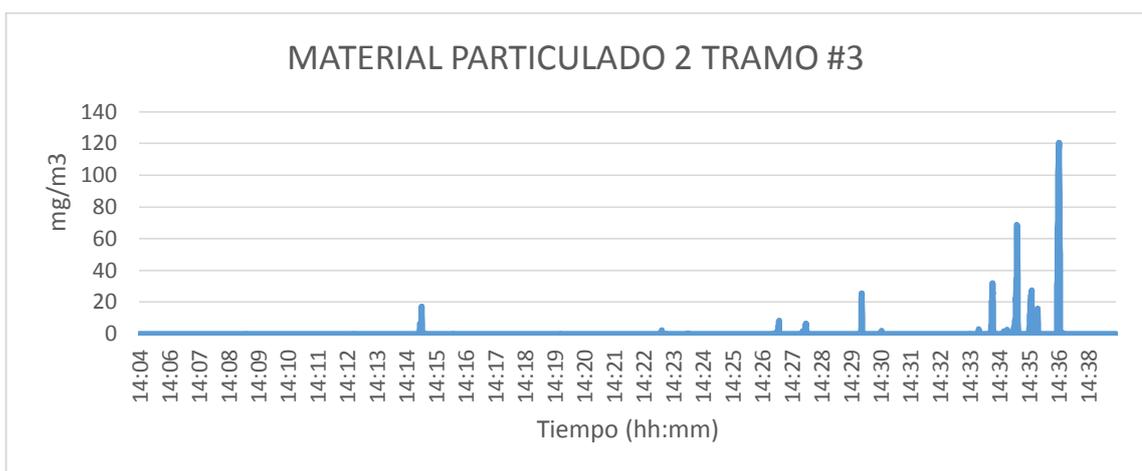
Con la gráfica 12-4. se analiza primero que el tramo #2 fue dado sobre el casco urbano siendo igual que el apartado 4.1.1. la primera toma la que mayor valor de material particulado nos entrega por la razón que la hora en que fue analizada esta prueba se encontraba al inicio de la hora pico por lo tanto la unidad tuvo que acelerar su trayecto ya que estas cumplen con un tiempo de llegada a distintos puntos de control en toda la ruta establecida, mientras que en la segunda muestra la unidad se encontraba en la hora pico y en esos momentos los tiempos de llegada a cada uno de los puntos de control son más permisibles por tal motivo el conductor no tenía razones de sobreacelerar la unidad y por la cantidad de tráfico sobre la zona urbana la unidad se mantenía la mayor cantidad de tiempo en ralentí. Mientras que en la tercera toma de datos el conductor por la libertad de tránsito en la urbe y la cantidad de pasajeros mínima no tuvo la necesidad de exigir al motor.

4.1.3. Intervalos del Hino GD- Tercer tramo

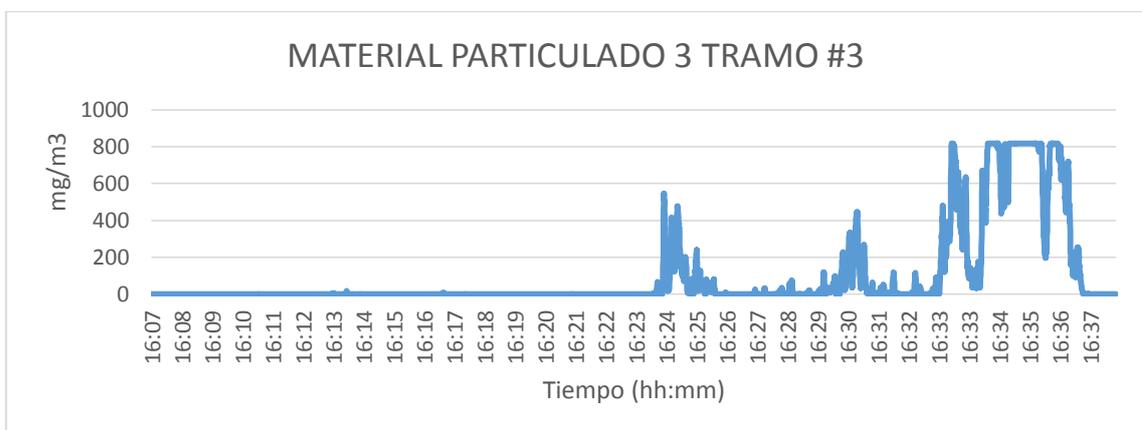
En estas últimas gráficas 13-4, 14-4 y 15-4 obtenemos valores de las tres pruebas realizadas en la unidad en el tramo #3 cumpliendo con el tiempo establecido de 30 minutos, en que cada una de ellas muestran valores distintos. En la primera prueba siendo las 12 AM se obtuvo un promedio de 301.57mg/m³ de material particulado (PM2.5), en la segunda prueba que fue dada entre la 2 PM se obtuvo un valor de 0.54 mg/m³ de material particulado (PM2.5) y mientras que en la tercera prueba el promedio fue de 95.58 mg/m³ de material particulado (PM2.5) dado el resultado entre las 4 PM.



Gráfica 20-4. Prueba #1 en el tramo #3 del Hino GD
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

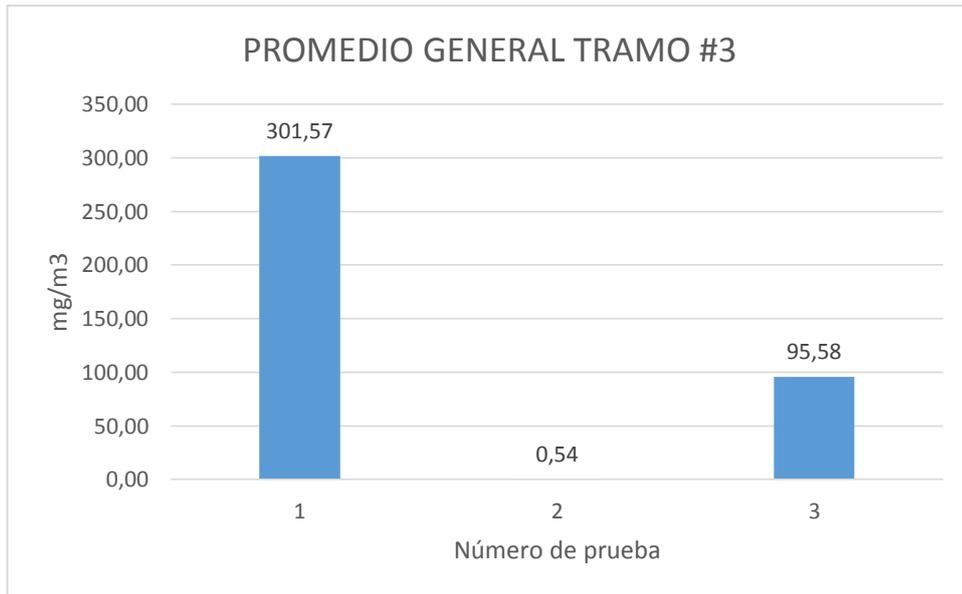


Gráfica 21-4. Prueba #2 en el tramo #3 del Hino GD
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020



Gráfica 22-4. Prueba #3 en el tramo #3 del Hino GD
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

Con estos valores se obtuvo un valor promedio general que da un total de 132.56 mg/m3 de material particulado (PM2.5) dando como resultado la gráfica general siguiente.



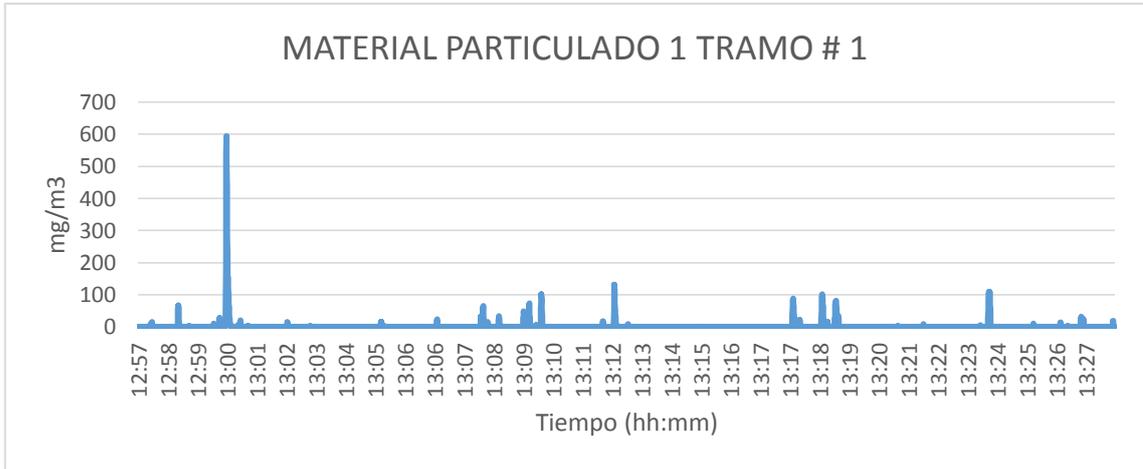
Gráfica 23-4. Promedio general del tramo #3 del HINO GD
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

En este tercer tramo obtenemos el valor mayor de material particulado existente en todo el recorrido de la ruta, pues bien es cierto, en este se comparte la zona periférica de la ciudad con el recorrido #1 pero entregándonos valores diferentes en cada intervalo siendo la razón principal que la geografía del tramo #1 es de bajada y de subida en el número # 3 siendo que en este el motor mantenga una mayor carga al momento de cubrir esta ruta. En la primera prueba se encuentra el bus a media carga de su capacidad lo que al momento de llegar a la zona periférica el chofer tiene la libertad de aumentar la carga del motor y por ende existe la mayor cantidad de material particulado. En la segunda prueba el bus se encuentra completa su capacidad de pasajeros de los cuales fueron desembarcando paulatinamente se iba cumpliendo con el fin del recorrido es decir que desde el inicio de la zona periférica hasta el final de ruta fue donde los pasajeros llegaban a su destino dando como resultado una cantidad menor de material particulado por que el chofer tenía que hacer paradas seguidas.

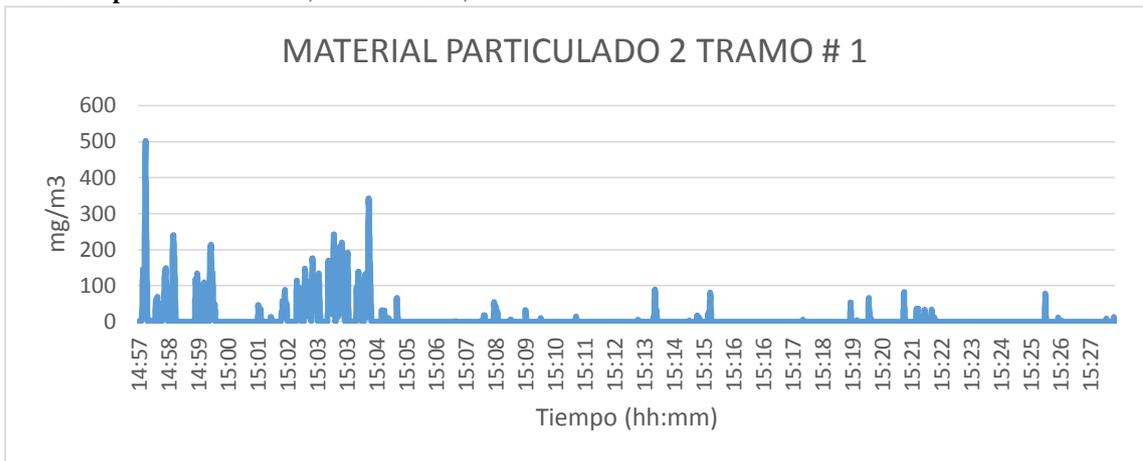
4.2. Análisis e interpretación de graficas del Hino FG

4.2.1. Intervalos del Hino FG- Primer tramo

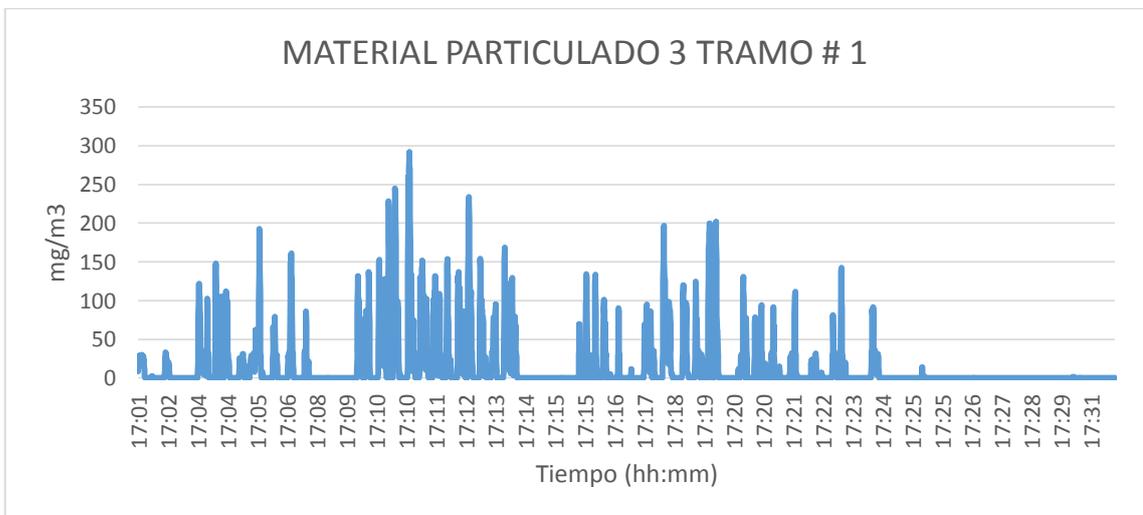
De la misma manera en esta unidad se tomó los datos de las siguientes graficas 17-4, 18-4 y 19-4 teniendo ya los resultados de los valores de las tres pruebas realizadas en la unidad en el tramo #1 que se maneja en el mismo tiempo que en el apartado anterior, donde cada una de ellas muestran valores diferentes. La primera prueba fue entre las 12 y la 1 PM, se dio un promedio de 2.56 mg/m³ de material particulado (PM2.5), en la segunda prueba que fue entre la 2 y 3 PM nos dio un valor de 9.68 mg/m³ de material particulado (PM2.5) y en la última prueba el promedio fue de 14.41mg/m³ de material particulado (PM2.5) dado el resultado entre las 5 PM.



Gráfica 24-4. Prueba #1 en el tramo #1 del Hino FG
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

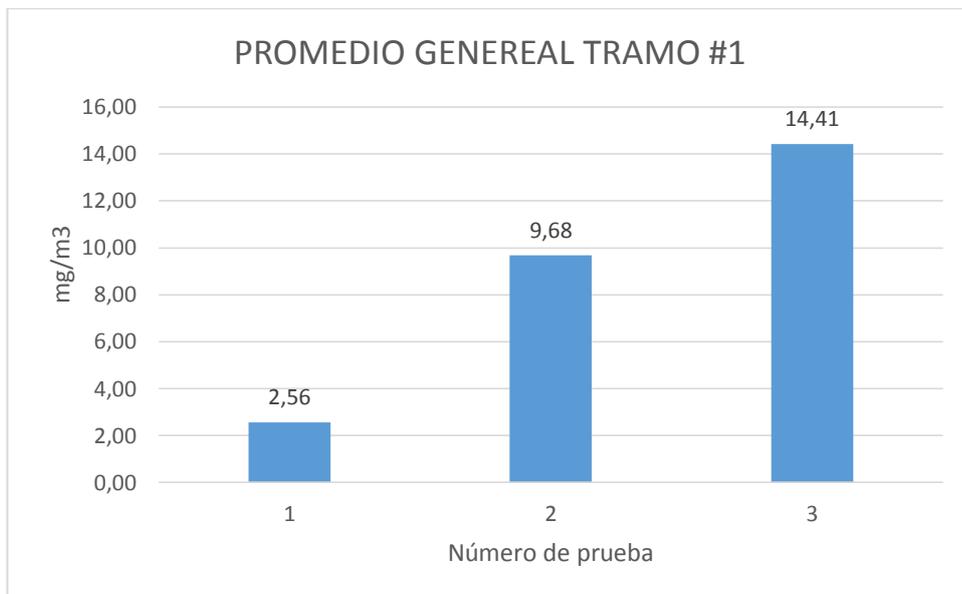


Gráfica 25-4. Prueba #2 en el tramo #1 del Hino FG
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020



Gráfica 26-4. Prueba #3 en el tramo #1 del Hino FG
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

Con los resultados de cada una de las pruebas se obtuvo un valor promedio general que da un total de 8.88 mg/m³ de material particulado (PM_{2.5}) dando como resultado la gráfica general siguiente.

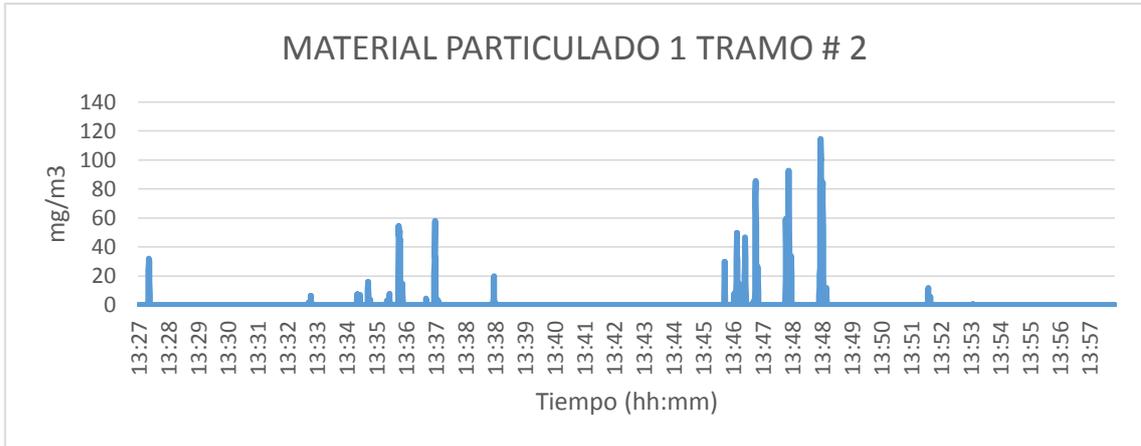


Gráfica 27-4. Promedio general del tramo #1 del HINO FG
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

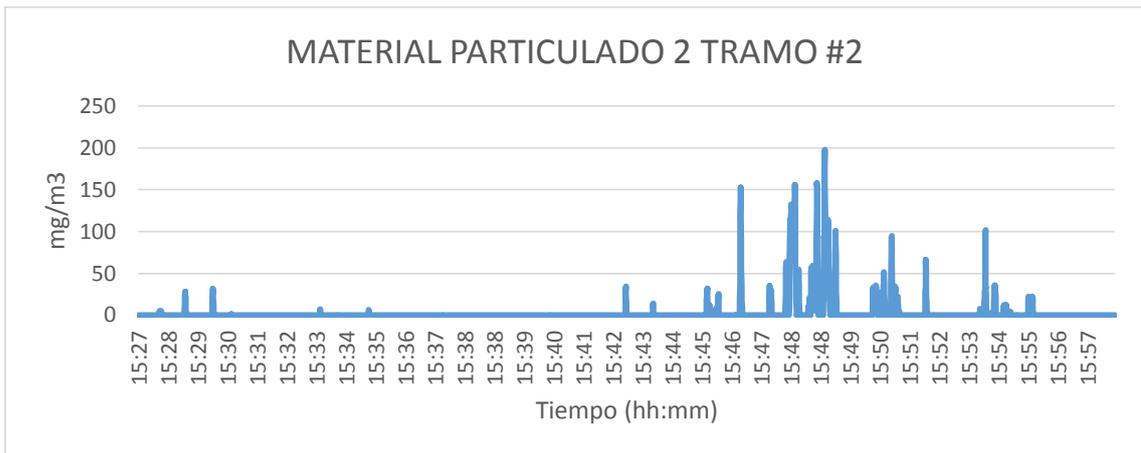
Al poder observar el resultado de esta unidad con la anterior nos podemos dar cuenta de la diferencia existente entre estos dos siendo el principal la tecnología de cada unidad, en este caso la unidad ya cuenta con un método de catalización que crea una restricción de gases directos al ambiente y el cual se pudo evidenciar en cada uno de los resultados. En esta unidad en la prueba uno tenemos valores bajos de material particulado, esto debido a que fue en hora pico donde al transitar por la zona periférica de la ciudad la unidad pasaba recogiendo usuarios en su mayor parte del trayecto. En la toma dos el chofer tuvo la libertad de poder aumentar la carga del motor en la zona periférica dando una mayor cantidad de material particulado hasta llegar a la zona urbana. Mientras que en la toma tres existió un cambio radical de las mediciones contaminantes debido al cambio de chofer de la unidad el cual mantuvo una conducción más agresiva desencadenando en una gran cantidad de material particulado.

4.2.2. Intervalos del Hino FG- Segundo tramo

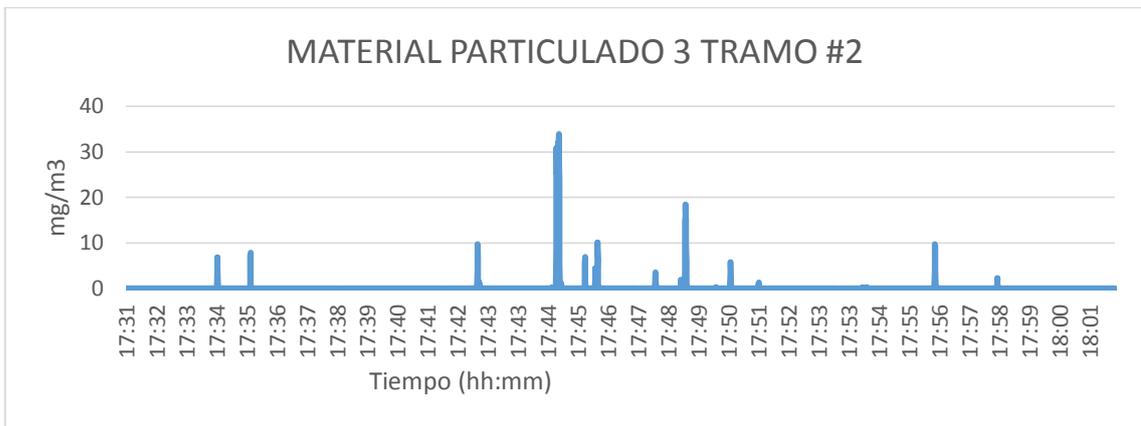
Las gráficas 21-4, 22-4 y 23-4 nos muestran los valores de las pruebas realizadas en la unidad en el tramo #2 dentro de los 30 minutos establecidos. En la primera prueba que fue entre la 1 PM se obtuvo un promedio de 1.01 mg/m³ de material particulado (PM_{2.5}), en la segunda prueba que fue entre las 3 PM se obtuvo un valor de 3.01 mg/m³ de material particulado (PM_{2.5}) y mientras que en la tercera prueba el promedio fue de 0.15 mg/m³ de material particulado (PM_{2.5}) dado el resultado entre las 5 y 6 PM.



Gráfica 28-4. Prueba #1 en el tramo #2 del Hino FG
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

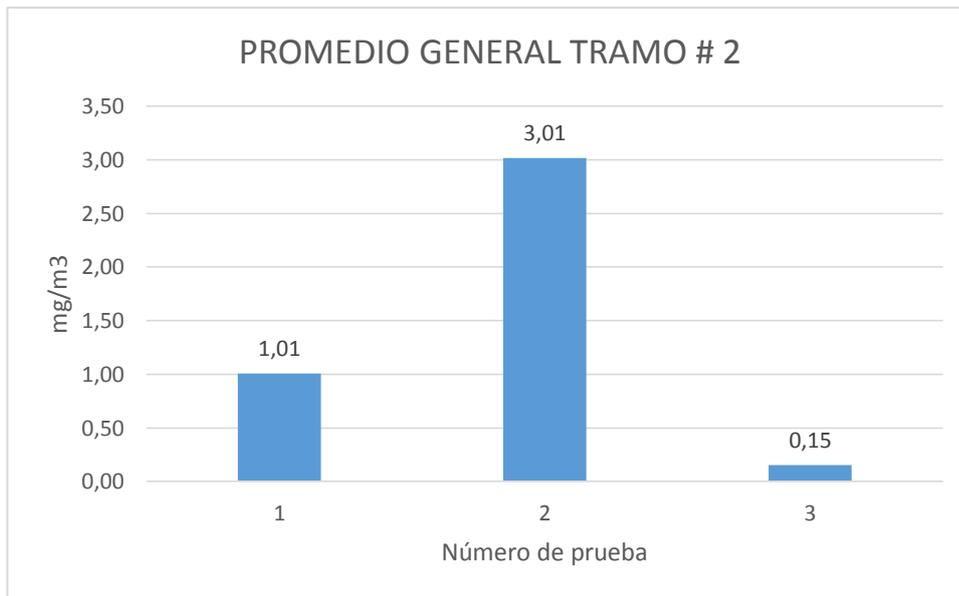


Gráfica 29-4. Prueba #2 en el tramo #2 del Hino FG
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020



Gráfica 30-4. Prueba #3 en el tramo #2 del Hino FG.
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

Con estos resultados se obtuvo un valor promedio general total de 1.39 mg/m³ de material particulado (PM2.5) dando como resultado la gráfica general siguiente.

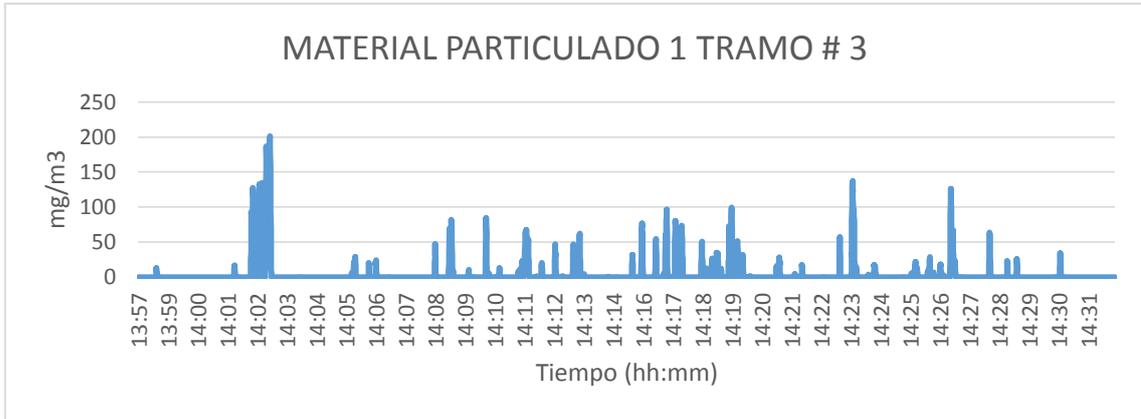


Gráfica 31-4. Promedio general del tramo #2 del HINO FG
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

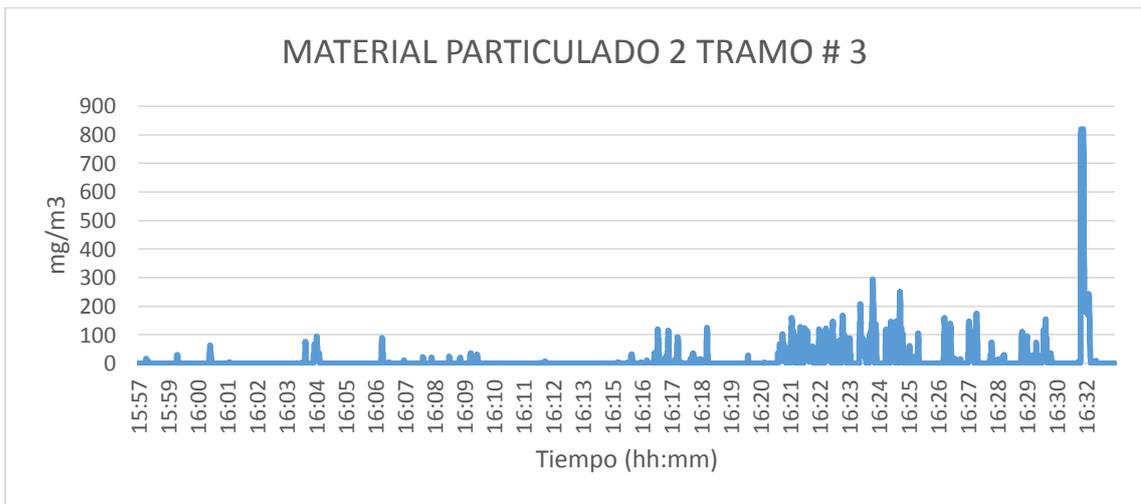
En este caso podemos visualizar que en la primera prueba tenemos un valor bajo de material particulado por que fue realizada en hora pico donde la carga del motor es mínima ya que está dentro de la urbe, donde la unidad tiene paradas constantes. En la segunda prueba se dio nuevamente el cambio de chofer donde se puede diferenciar la cantidad exagerada de material particulado debido a la forma de conducción y también considerando que en esos momentos el tráfico fue mínimo. En el tercer tramo el chofer sigue siendo el mismo, pero en el trayecto el propietario de la unidad se embarcó en la ruta por consecuencia el chofer reduce la velocidad y las aceleraciones bruscas innecesarias.

4.2.3. Intervalos del Hino FG- Tercer tramo

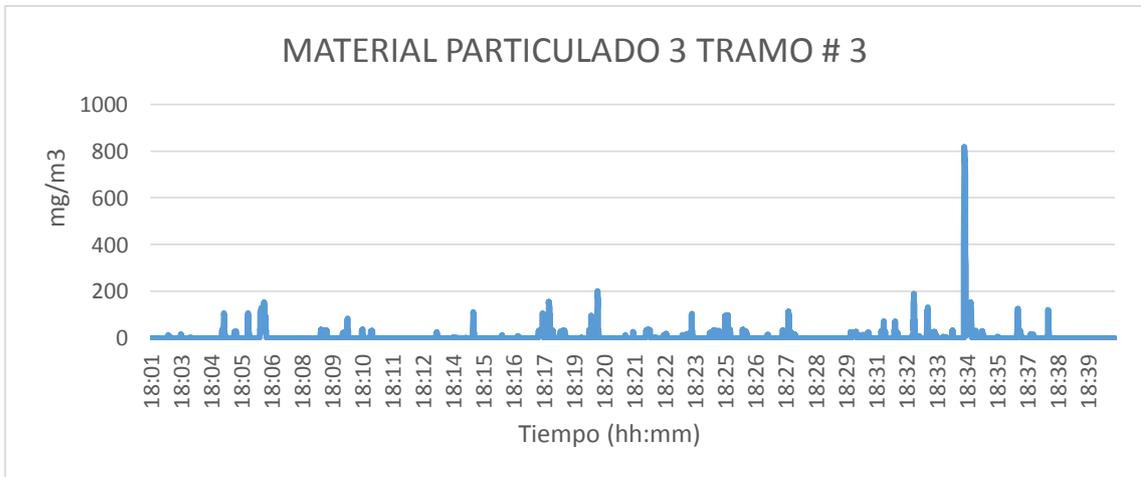
Culminado las pruebas tenemos las gráficas 25-4, 26-4 y 27-4 observando los valores de las tres pruebas realizadas en la unidad en el tramo #3 cumplido los 30 minutos. En la primera prueba dada entre la 1 y 2 PM se dio un promedio de 4.07 mg/m³ de material particulado (PM2.5), en la segunda prueba que fue dada entre las 3 y 4 PM se obtuvo un valor de 12.52 mg/m³ de material particulado (PM2.5) y mientras que en la tercera prueba el promedio fue de 6.07 mg/m³ de material particulado (PM2.5) dado el resultado a las 6 PM.



Gráfica 32-4. Prueba #1 en el tramo #3 del Hino FG.
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

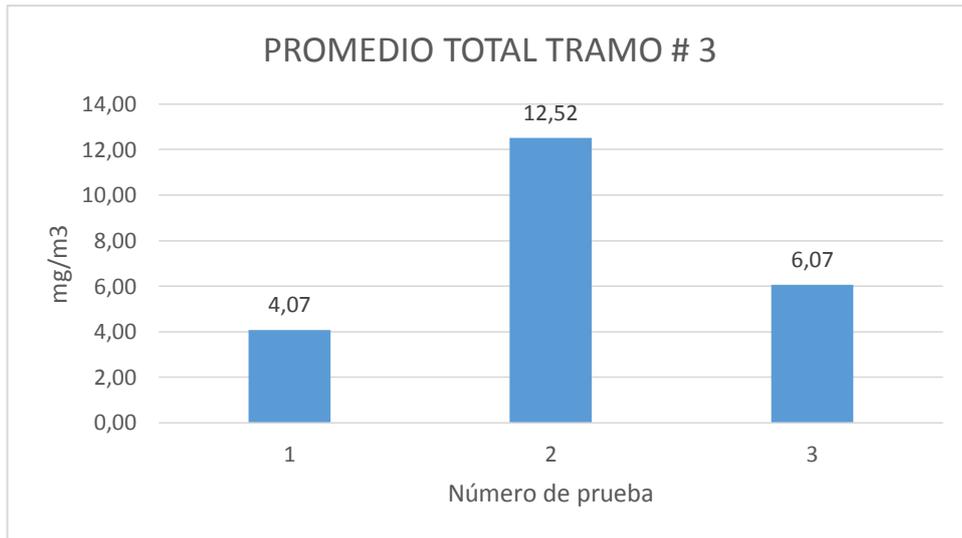


Gráfica 33-4. Prueba #2 en el tramo #3 del Hino FG.
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020



Gráfica 34-4. Prueba #3 en el tramo #3 del Hino FG.
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

Con los valores de cada una de las pruebas salió valor promedio general total de 7.55 mg/m3 de material particulado (PM2.5) dando como resultado una gráfica general siguiente.



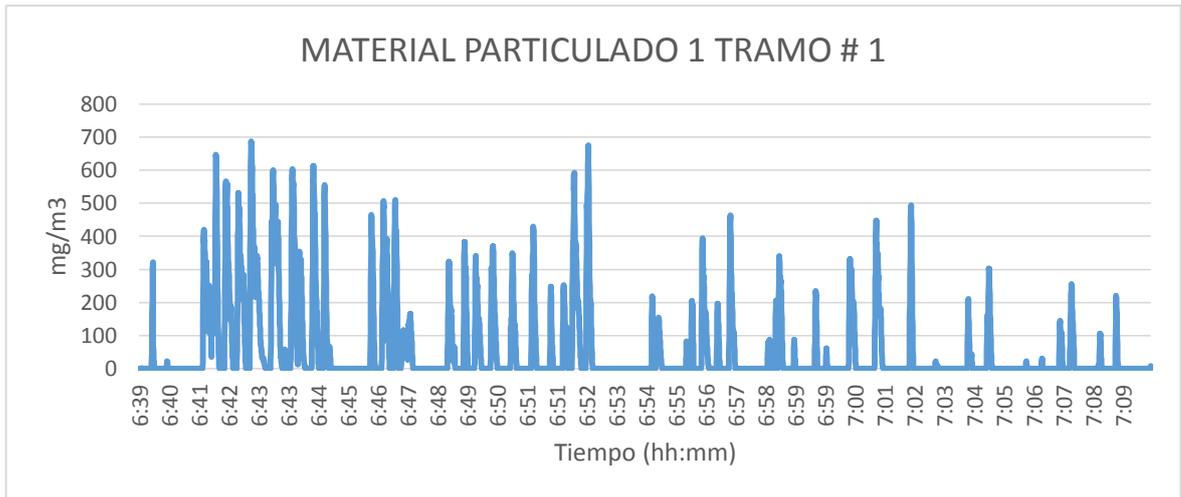
Gráfica 35-4. Promedio general del tramo #3 del HINO FG
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

En este último tramo los valores de material particulado no son muy distantes del tramo # 2 ya que se cumplió casi de la misma manera. En la primera prueba fue conducida por el dueño de la unidad en el final de la hora pico existiendo paradas constantes y aceleraciones normales a relación a la cantidad de pasajeros en la unidad. En la segunda prueba el horario dio la libertad de incrementar la velocidad de la unidad en la zona periférica, pero de igual manera el cambio de chofer de la unidad nos da una diferencia total de material particulado cumpliéndose el mismo régimen de trabajo de las pruebas anteriores. En la última prueba se la realizo en hora pico por consiguiente la unidad mantuvo en todo su trayecto paradas constantes dentro y fuera de la zona urbana manteniendo un régimen bajo de emisiones, pero por la cantidad de pasajeros obligaba al conductor darle mayor carga al motor.

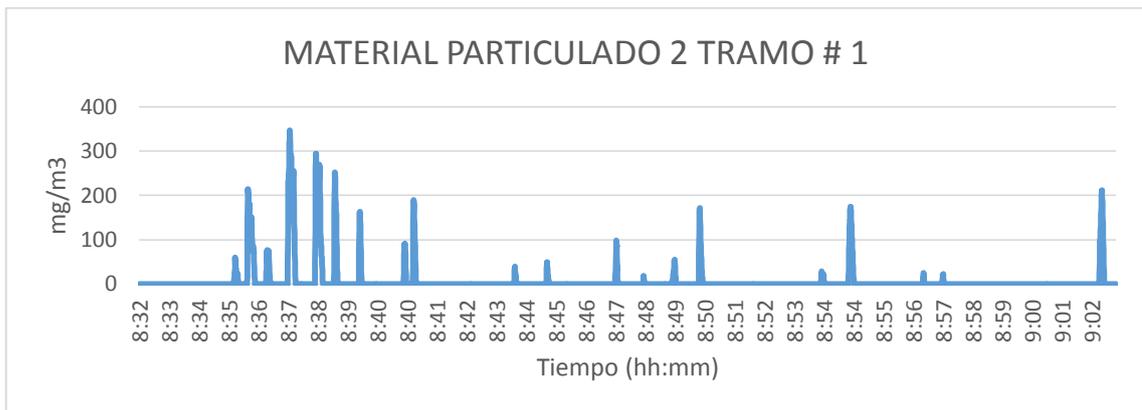
4.3. Análisis e interpretación de graficas del Hino AK

4.3.1. Intervalos del Hino AK- Primer tramo

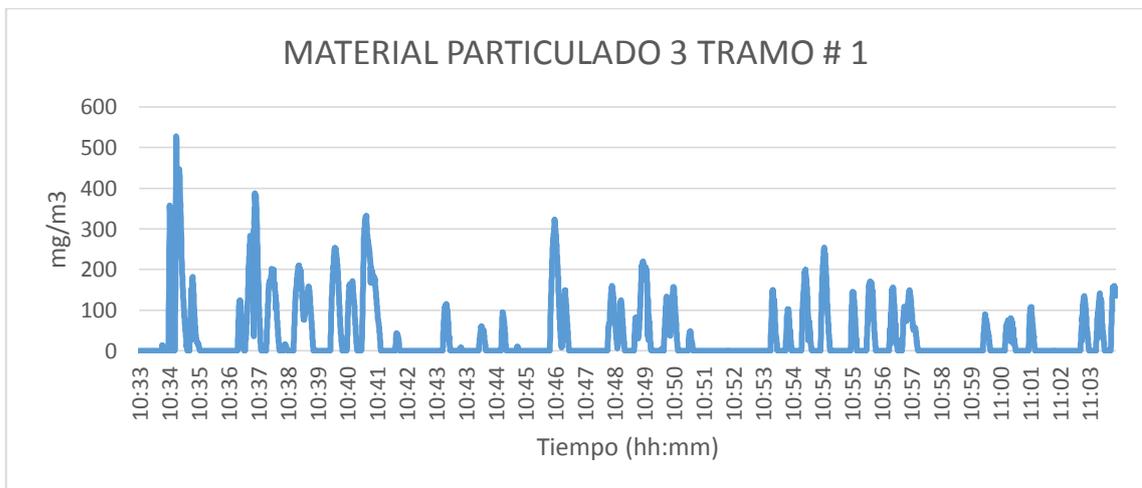
Al igual que en los apartados anteriores se estudia el primer tramo obteniendo las gráficas 29-4, 30-4 y 31-4 de las tres pruebas realizadas en la unidad en el tramo #1 que está dentro de los 30 minutos. En la primera prueba tomado entre las 6 y 7 AM se obtuvo un promedio de 53.22 mg/m³ de material particulado (PM_{2.5}), en la segunda prueba dada entre las 8 y 9 AM se obtuvo un valor de 7.44 mg/m³ de material particulado (PM_{2.5}) y mientras que en la tercera prueba el promedio fue de 67.54 mg/m³ de material particulado (PM_{2.5}) dado el resultado entre las 10 y 11 AM.



Gráfica 36-4. Prueba #1 en el tramo #1 del Hino AK
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

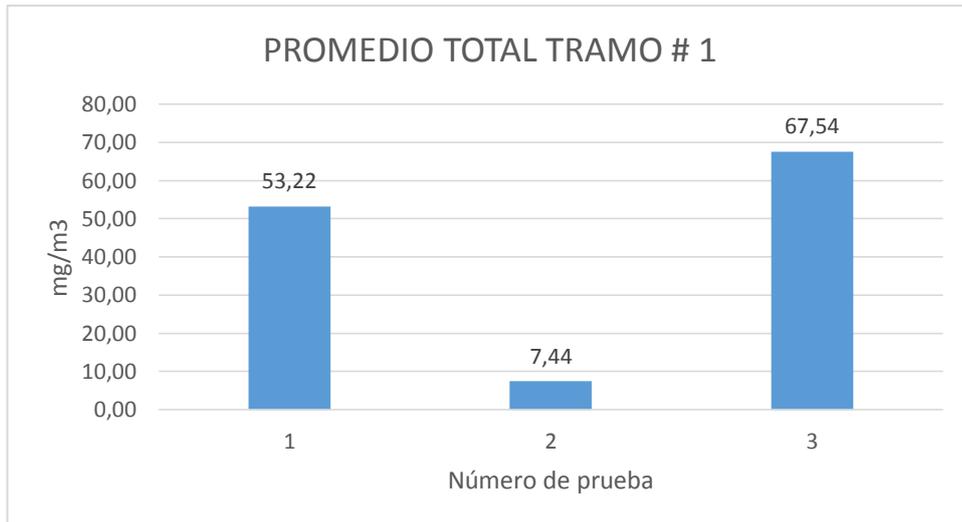


Gráfica 37-4. Prueba #2 en el tramo #1 del Hino AK
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020



Gráfica 38-4. Prueba #3 en el tramo #1 del Hino AK
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

Se obtuvo un valor promedio general total de 42.73 mg/m³ de material particulado (PM_{2.5}) dando como resultado una gráfica general siguiente.

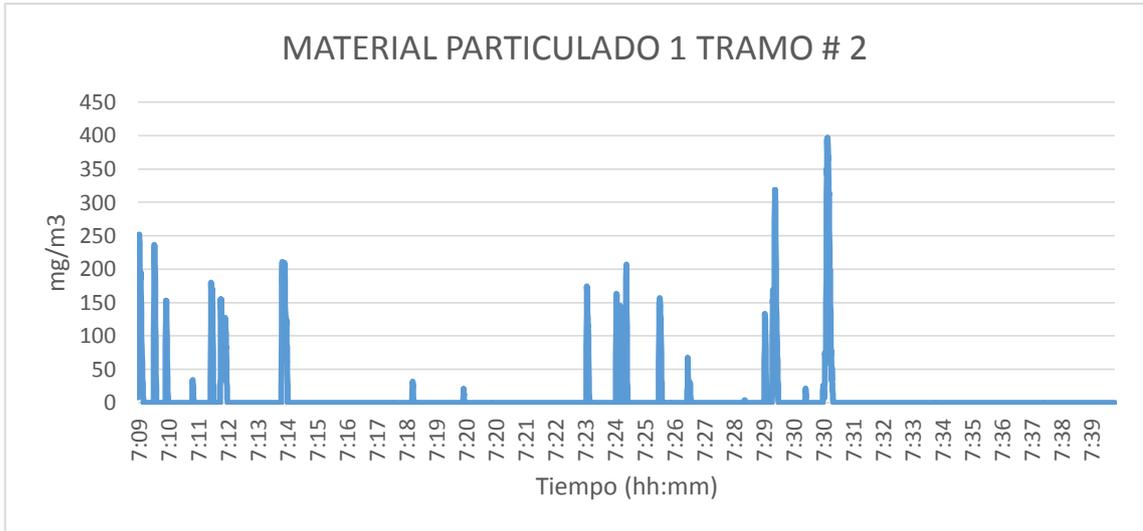


Gráfica 39-4. Promedio general del tramo #1 del HINO AK
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

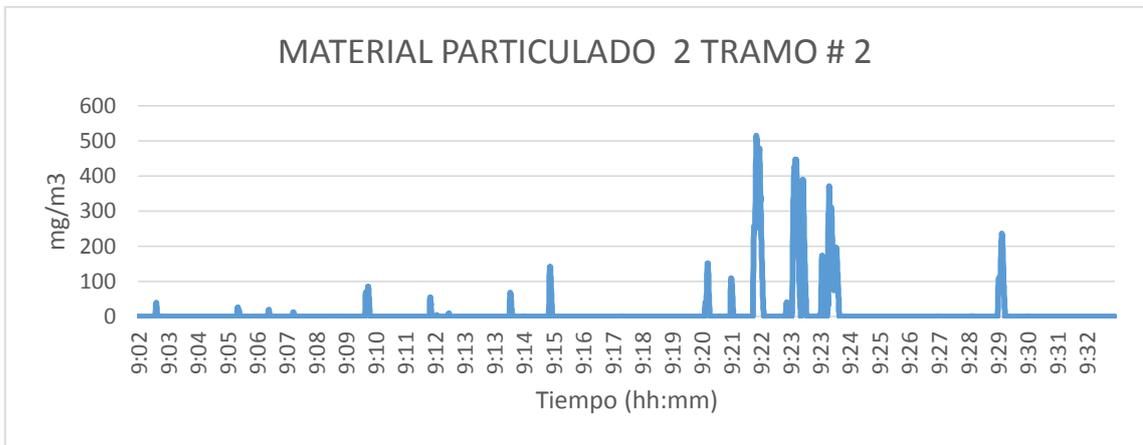
En este tramo se observa una medida más repetitiva entre la prueba una y dos a pesar de estar el uno en hora pico y el otro a media mañana. En la primera prueba la unidad mantenía paradas constantes, pero con la diferencia que a pesar de ser hora pico el chofer mantenía aceleraciones bruscas tanto en la zona periférica como en la zona urbana tomando en cuenta que la unidad mantenía completa su capacidad de pasajeros. Vale recalcar que en esta prueba el motor todavía no se encontraba en su temperatura normal de funcionamiento ya que fue la primera vuelta para cubrir la ruta. En la segunda prueba el chofer de la unidad bajo considerablemente su modo de conducción siendo mínima la cantidad de material particulada emitida en esta prueba. En la tercera prueba se releva el chofer de la unidad repitiendo el modo de conducción que de la unidad anterior aumentado los valores de material particulado, incluso manteniendo paradas constantes elevo la cantidad de emisiones de la unidad.

4.3.2. Intervalos del Hino AK- Segundo tramo

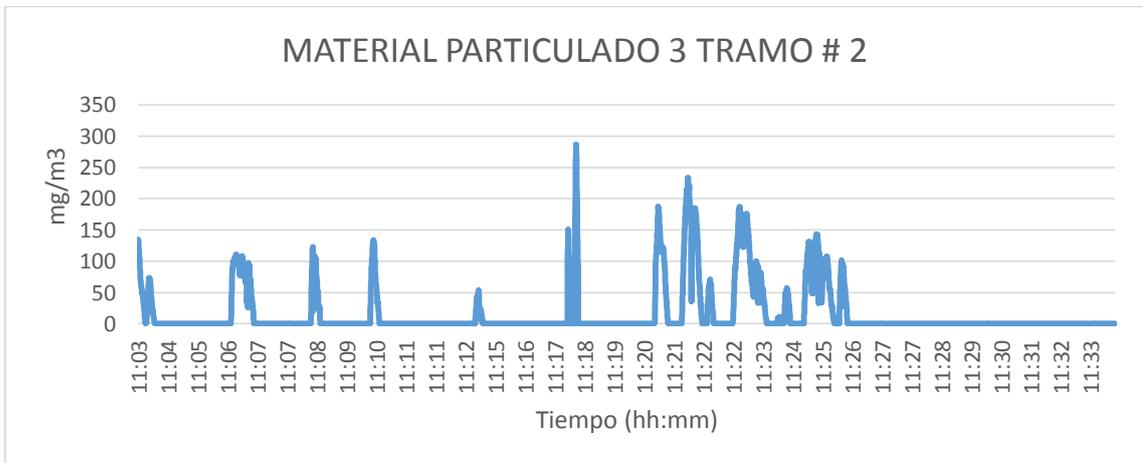
En las siguientes gráficas 33-4,34-4 y 35-4 nos entrega como resultado en el tramo # 2, en la primera prueba dada entre las 7 AM un promedio de 53.22 mg/m³ de material particulado (PM2.5), en la segunda prueba dada entre las 8 y 9 AM un valor de 7.44 mg/m³ de material particulado (PM2.5) y en la tercera prueba el promedio fue de 67.54 mg/m³ de material particulado (PM2.5) dado el resultado entre las 6 PM.



Gráfica 40-4. Prueba #1 en el tramo #2 del Hino AK
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

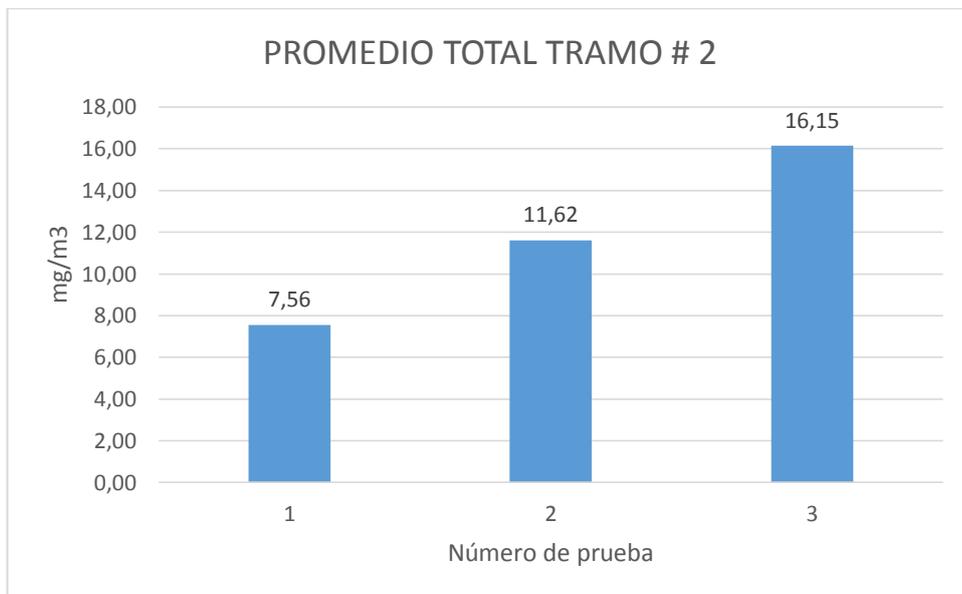


Gráfica 41-4. Prueba #2 en el tramo #2 del Hino AK
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020



Gráfica 42-4. Prueba #3 en el tramo #2 del Hino AK
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

Con estos valores generales de cada una de las pruebas nos entrega un valor promedio general total de 11.78 mg/m³ de material particulado (PM_{2.5}) dando como resultado una gráfica general siguiente.

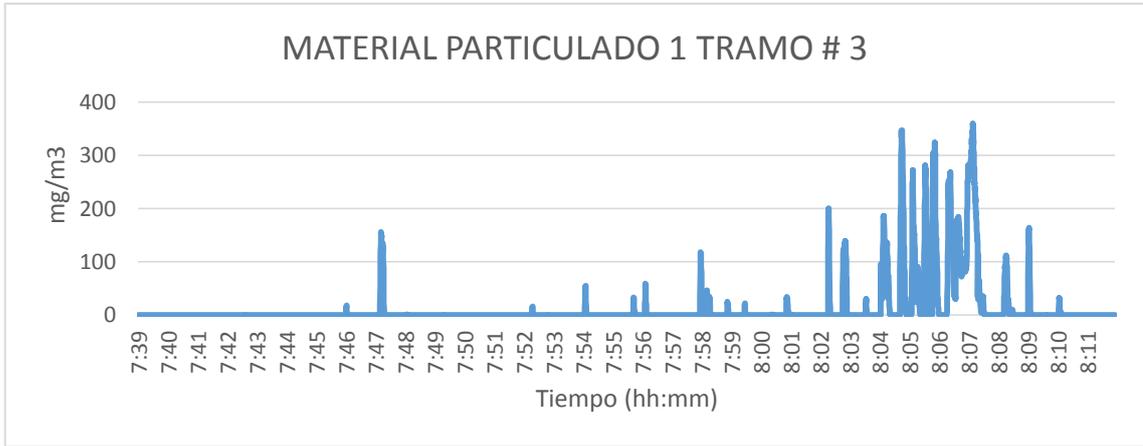


Gráfica 43-4. Promedio general del tramo #2 del HINO AK
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

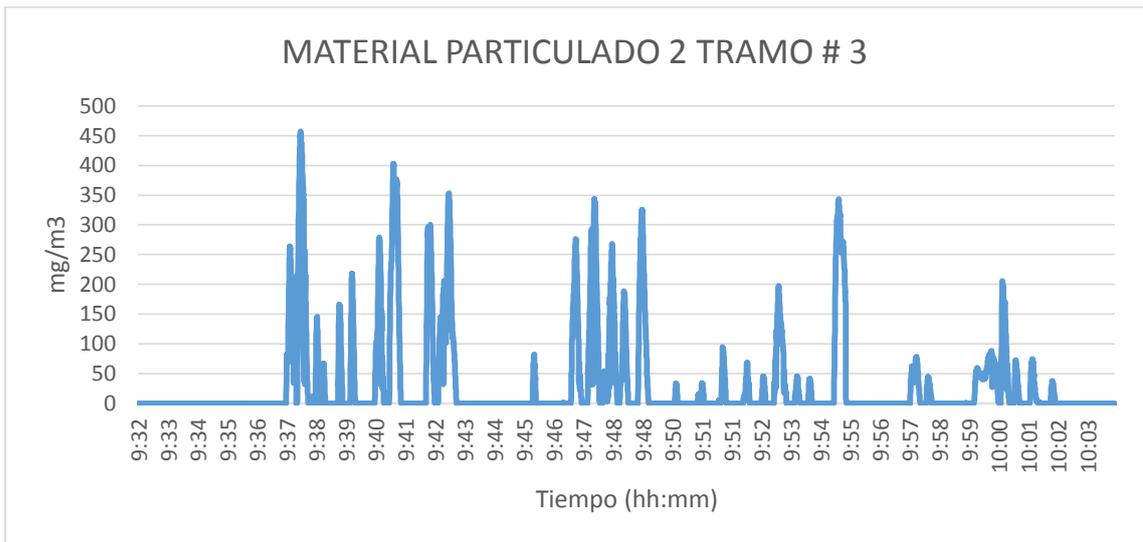
Como se pudo evidenciar en los apartados anteriores el tramo # 2 se encuentra solamente en la zona urbana de la ciudad siendo la primera prueba el valor más bajo ya que es el único en encontrarse en hora pico. En la segunda prueba hubo picos de mayor material particulado en ciertos sectores donde el chofer aplico mayor carga al motor entregándonos un promedio general alto. En la tercera prueba el material particulado vuelve a elevarse por el modo de conducción siendo un ciclo repetitivo con el tramo antes visto.

4.3.3. Intervalos del Hino AK- Tercer tramo

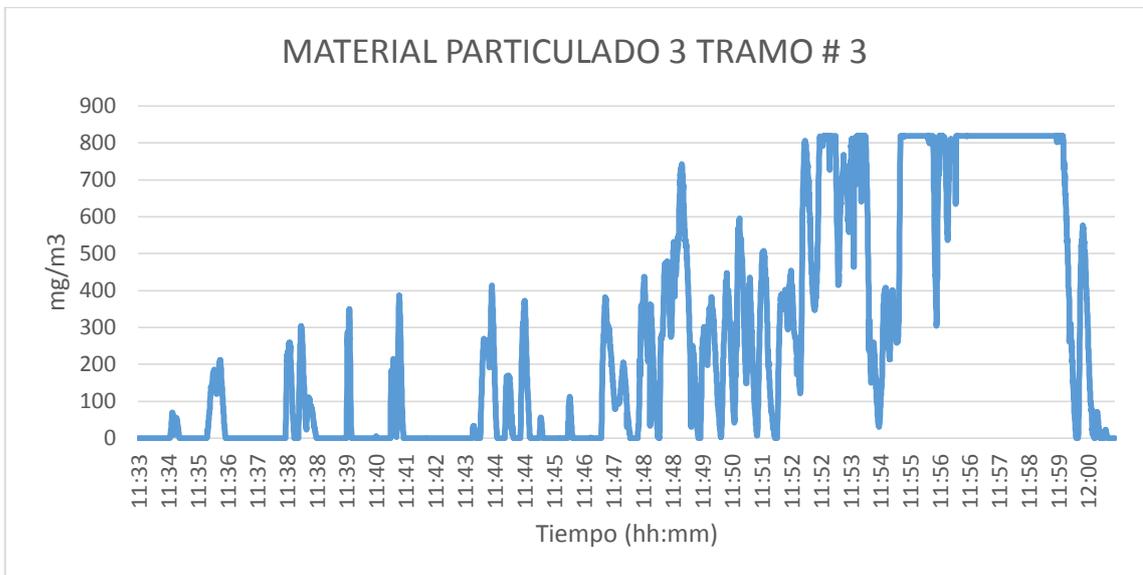
Las gráficas 37-4, 38-4 y 39-4 nos muestran los valores de las tres últimas pruebas realizadas en la unidad en el tramo #3 cumpliéndose los 30 minutos. En la primera prueba dada entre las 7 y 8 AM obtuvimos un promedio de 12.41 mg/m³ de material particulado (PM_{2.5}), en la segunda prueba dada entre las 9 y 10 AM se obtuvo un valor de 31.65 mg/m³ de material particulado (PM_{2.5}) y mientras que en la tercera prueba el promedio fue de 269.02 mg/m³ de material particulado (PM_{2.5}) dado el resultado entre las 11 y 12 AM.



Gráfica 44-4. Prueba #1 en el tramo #3 del Hino AK
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

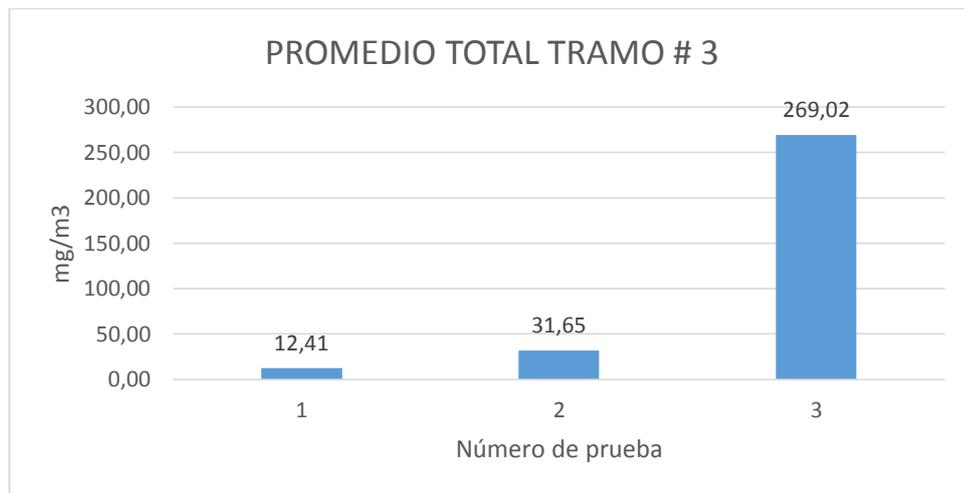


Gráfica 45-4. Prueba #2 en el tramo #3 del Hino AK
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020



Gráfica 46-4. Prueba #3 en el tramo #3 del Hino AK
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

Teniendo los valores generales de cada una de las pruebas se da un valor promedio general total de 104.36 mg/m³ de material particulado (PM_{2.5}) dando como resultado una gráfica general siguiente.

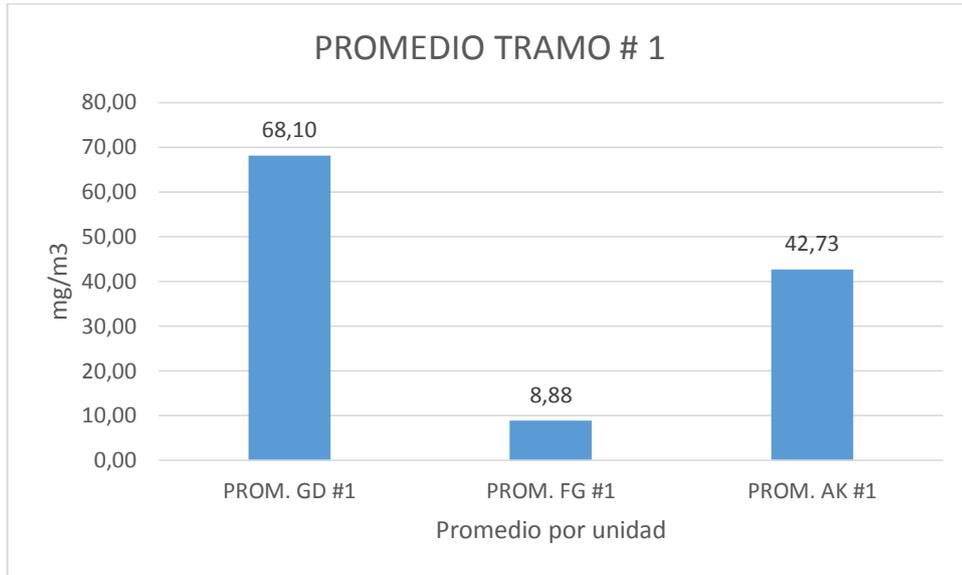


Gráfica 47-4. Promedio general del tramo #3 del HINO AK
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

En este tramo podemos observar en la prueba uno la diferencia de la zona urbana de la periférica ya que mientras la unidad se mantenía en la zona urbana las emisiones se mantiene bajas hasta el momento en que llega a la periferia de la ciudad donde los valores aumenten debido a que al terminarse la hora pico la unidad prácticamente transito sin paradas constantes, pero vale recalcar que a pesar de que los valores en la parte final de la prueba aumentaron considerablemente sigue siendo en el promedio general el valor más bajo de las tres pruebas. En la segunda prueba dada entre la media mañana la unidad transito sin tráfico excesivo y sin mucha afluencia de pasajeros, pero el chofer de la unidad no sobrecargo el motor innecesariamente dando un promedio general bajo. En la tercera prueba las emisiones se disparan a relación de las dos pruebas anteriores por la misma razón de los tramos anteriores que fue el cambio de chofer de la unidad en el que en la zona periférica llevo los valores de material particulado al límite evidenciando así que el modo de conducción está relacionado directamente con las emisiones contaminantes de la unidad.

4.4. Promedios generales

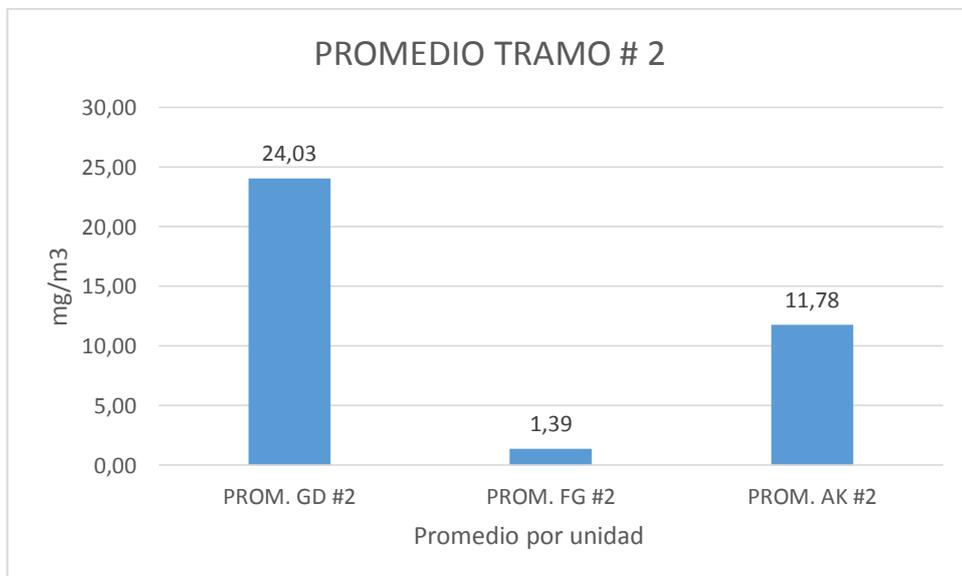
4.4.1. Promedio total de las tres unidades en el tramo # 1



Gráfica 48-4. Promedio general tramo # 1 de las tres unidades
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

Teniendo los resultados de cada unidad se puede interpretar que no están tan alejados de la parte teórica donde la unidad más antigua que no cuenta con sistemas de catalización tendría la mayor cantidad de material particulado, mientras que en la segunda y tercera unidad existe una gran diferencia por la razón explicada anteriormente que es el modo de conducción que se tuvo y la hora en las que fueron tomadas las pruebas.

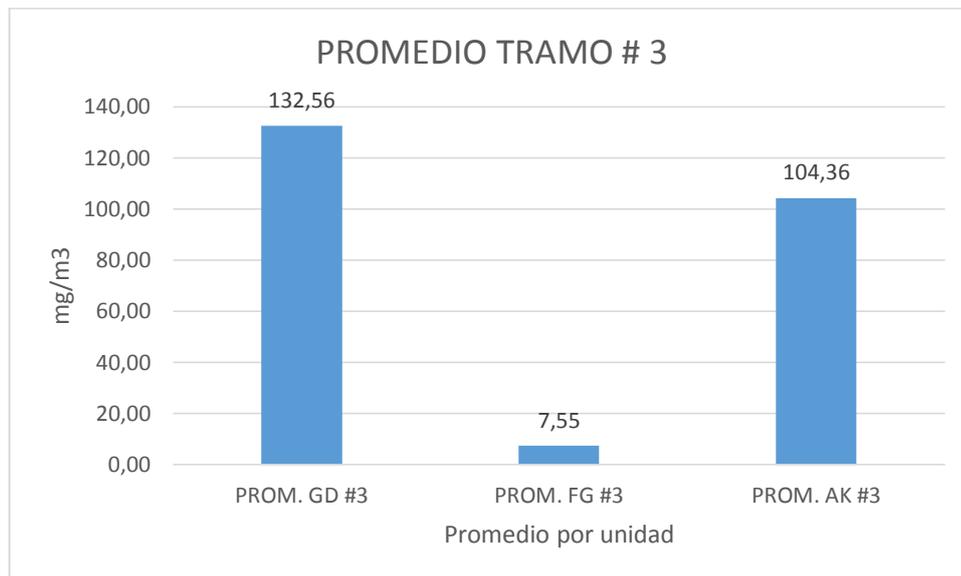
4.4.2. Promedio total de las tres unidades en el tramo # 2



Gráfica 49-4. Promedio general tramo # 2 de las tres unidades
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

En el tramo dos mantenemos los mismos resultados siendo el GD la unidad con mayor cantidad de material particulado en relación a las dos unidades, vale mencionar que en este tramo el estudio fue urbano siendo el valor de material particulado más bajo que en el tramo anterior. El FG mantiene una cantidad incluso más baja que en el tramo anterior por la razón descrita anteriormente y a pesar de ser una tecnología menor a la de la unidad AK sus emisiones son totalmente bajas siendo la razón principal el modo de conducción.

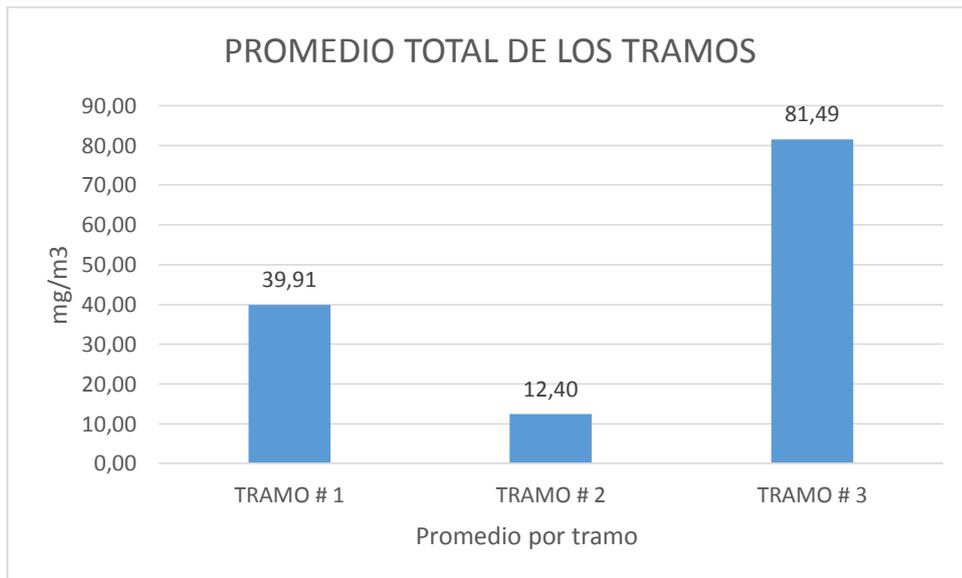
4.4.3. Promedio total de las tres unidades en el tramo # 3



Gráfica 50-4. Promedio general tramo # 3 de las tres unidades
Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

En el tramo tres como se pudo observar en cada unidad son los valores más altos de material particulado de toda la ruta esto debido a que la geografía demandaba una pendiente en la parte periférica de la ciudad haciendo que cada uno de los choferes de mayor carga a los motores. En el GD seguimos manteniendo valores incluso más altos de los dos tramos anteriores marcando una diferencia considerable con las otras dos unidades cumpliendo así que el sistema de catalización de gases es de suma importancia para la disminución de emisiones contaminantes. En el FG a pesar de haber tenido el cambio de chofer y que en los valores de cada prueba se disparaban las emisiones sigue siendo bajo el nivel de material particulado incluso si se lo comparara con el tramo uno, mientras que en el AK a pesar de tener mejor tecnología tanto en la parte del motor de combustión interna y del sistema de catalización de gases el modo de conducción y la cantidad excesiva de pasajeros no puede ser controlada para poder emitir una baja cantidad de emisiones.

4.5. Promedio total de los tres tramos de la ruta

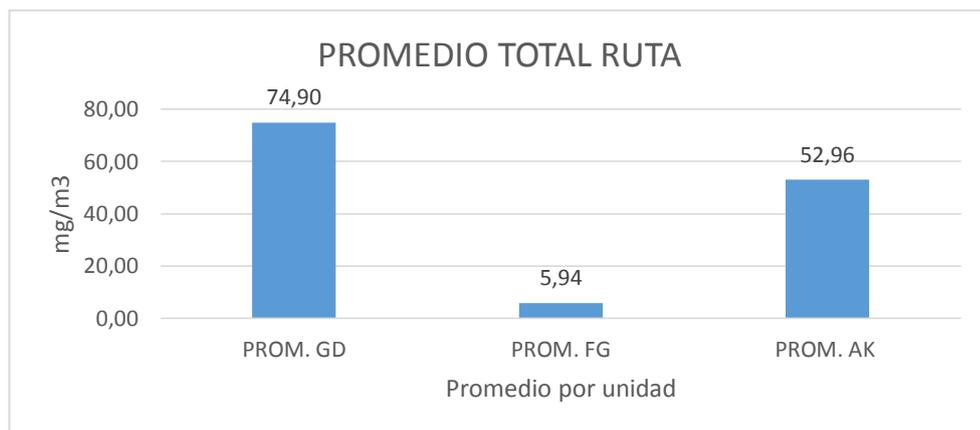


Gráfica 51-4. Promedio general de los tramos en las tres unidades

Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

Como se puede observar en la gráfica 46-4 el tramo numero dos que corresponde a la zona urbana de la ciudad se evidencia la menor cantidad de material particulado sin importar este que sea hora pico o no las velocidades promedios se mantienen considerablemente bajas siendo un dato importante el saber que dentro del casco urbano la contaminación emitida por las unidades son mínimas, en el tramo #3 se eleva ampliamente a relación de los otros dos tramos, teniendo como razón principal la geografía de la ciudad obligando a la unidad de transporte ampliar su carga de motor para así poder cumplir con los tiempos de llegada establecidos en los puntos de control a lo largo del trayecto de la vía, otro factor influyente es que por razones adversas a la operación del vehículo los choferes aumentaban la velocidad pudiendo llegar antes a su punto de control y cumplir con actividades fuera de la unidad como ingerir alimentos, limpiar el habitáculo, reposar para continuar con la ruta.

4.6. Promedio total de la ruta de cada unidad



Gráfica 52-4. Promedio general de la ruta por cada unidad

Realizado por: Zavala Herrera, Nelson Dennis, 2020

Como era la estimación de datos la unidad con la tecnología más antigua emitió la mayor cantidad de material particulado con un total de 74.90 mg/m³, mientras que el AK si bien es cierto sus niveles de emisión fueron por debajo del GD no deja de ser admirable que la unidad con la tecnología más avanzada no sea el que tenga los menores niveles de contaminación, pero sin embargo la razón por la cual este fenómeno sucede no está muy lejos de su realidad ya que este vehículo al contar con sistemas más avanzados para su operación favorece a que el chofer mantenga una fiabilidad alta al momento de realizar una maniobra agresiva dando motivos para que las emisiones contaminantes sean elevados. En el bus FG se pudo comprobar que el modo de conducción y la cantidad de pasajeros son los pilares fundamentales para que las emisiones contaminantes se mantengan en un rango bajo moderado.

CONCLUSIONES

El propósito de esta investigación se ha cumplido, ya que se obtuvo los valores del material particulado emitido por las unidades de transporte urbano de la ciudad de Riobamba, mismos que han sido estudiados de forma particular para una mejor comprensión del porque la diferencia en sus valores, llegando a la conclusión de que la unidad que mayor emisión de material particulado obtenido fue la Euro I pudiendo establecer que el contar con un sistema de filtro de partículas contaminantes o catalización reduce considerablemente las emisiones toxicas al ambiente, la unidad obtuvo un valor promedio general de emisiones de 74.90 mg/m³ marcando el inicio para un estudio de la calidad del aire en la ciudad ya que según la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente el promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder de 50 µg/m³, sabiendo esto podríamos observar cuanto porcentaje de responsabilidad llevan las unidades de transporte urbano para la contaminación del aire.

La selección de la ruta fue aplicada observando los flujos vehiculares de cada sector de la ciudad tanto urbano como periférico, siendo los sectores en donde la afluencia de personas que transitan por el sitio en el transcurso del día el punto principal para el estudio, pudiendo así establecer que el sector más afectado por el material particulado PM_{2.5} es la zona periférica de la ciudad que se estableció entre la Av. Monseñor Leónidas Proaño y panamericana norte E35 hasta la parada de buses Santa Anita debido a las altas velocidades y cargas aplicadas a las unidades de transporte. No obstante, por la variación del tránsito vehicular en horas pico los choferes aumentaban la aceleración en tramos muy cortos debido a la afluencia de pasajeros en zonas donde no podían transitar a más de 30 km/h elevando así el material particulado PM_{2.5} específicamente en las calles guayaquil y en la calle olmedo donde la cantidad de personas a esa hora del día es considerable.

La selección de las unidades de transporte fue establecida por los tipos de tecnología existentes en el país, logrando obtener en la ciudad de Riobamba cada una de las tecnologías existentes en la Cooperativa de Transporte Urbano "PURUHA", dando como resultado de la toma de medidas que la unidad con tecnología Euro II emitió la menor cantidad de material particulado a pesar de ser un motor que no cuenta con todos los sistemas anticontaminantes, una de las razones fundamentales para que esta unidad obtuviera la menor cantidad de emisiones es que el chofer mantuvo un rango de conducción moderadamente bajo sin sobrepasar los límites de velocidad existentes en cada tramo de la ruta incluso si este se encontraba en hora pico mantenía una aceleración constante y no sobrecargaba el motor innecesariamente.

Otro de los factores que se pudo observar es la cantidad de pasajeros que las unidades soportaban, en el bus GD y AK los operarios de las unidades permitían que sobrepasaran los

límites de usuarios en el interior del habitáculo existiendo personas paradas en el pasillo de la unidad a pesar de que esto se encuentra prohibido por las leyes de tránsito. Con estas variables presentes en la toma de datos las emisiones también sufrían cambios debido a que la carga máxima aplicada a la unidad estaba sobrepasando los límites. En el bus FG existió tramos donde los valores de emisiones cambiaron radicalmente debido a la variación de chofer de la unidad el cual también daba el acceso libre para sobrepasar los límites de pasajeros, llegando a una cesación final de que no se debe sobrepasar los límites de usuarios permitidos en el interior del bus para mantener las emisiones de material particulado bajo.

En la gráfica 45-4 tenemos los valores promedios finales de toda la ruta donde es algo ilógico pensar que el bus con la tecnología más avanzada (AK) no mantenga bajos lo niveles de emisiones contaminantes, pero esto es debido a la forma de conducción que se le aplico durante el trayecto. Una de las razones para que el modo de conducción de esta unidad sea enérgico es la confiabilidad que entrega la unidad al momento de ser operada esto gracias a las mejores existentes en todos los sistemas que conforman el bus. En todo el trayecto de la vía los usuarios subían con mayor afluencia a esta unidad a diferencia de las otras dos llegando a la cesación que los usuarios prefieren subir a una unidad de transporte moderna que una más antigua por tal razón el dueño del bus no limitaba el acceso a la unidad pese a que este ya esté completamente lleno.

RECOMENDACIONES

Para la toma de medidas de material particulado PM_{2.5} con el analizador de gases MAHA MPM-4 es necesario calibrar correctamente la maquina debido a que por su forma de obtener los valores tiende a saturarse y permitiendo no tener una fiabilidad aceptable para la toma de datos.

Al momento de colocar la sonda encargada de medir el material particulado es necesario observar que el sistema de escape de la unidad no cuente con perforaciones, fisuras en uniones que permita que los gases de escape no ingresen directa y totalmente al analizador, también se debe tomar en consideración que la sonda sea asegurada en la terminación del tubo de escape de una manera correcta para que así en todo el trayecto esta no se desprenda o se dañe para una correcta recolección de datos.

Se recomienda para futuras investigaciones dar seguimiento a los intervalos de mantenimiento empleado a las unidades de transporte antes de una recolección de datos ya que es una variable fundamental para una combustión tolerable y por ende una emisión de gases mínima.

Para posteriores investigaciones se debería obtener una muestra del combustible diésel utilizado por transportes urbanos para poder tener con exactitud el valor de la calidad de combustible que llega a la ciudad de Riobamba.

En investigaciones venideras se debería tomar en cuenta los modos de conducción existentes y así mediante una comparación saber qué modo de conducción es el más óptimo para una ruta de bus urbano.

Es recomendable realizar un estudio de la calidad del aire en los puntos más críticos de la ruta en esta investigación para tener los datos reales de la contaminación generada por un bus de transporte urbano al ambiente de esta localidad.

En un estudio próximo se debería realizar un análisis de las rutas de la ciudad y de los puntos con mayor tráfico vehicular pudiendo así establecer una nueva ruta donde se pueda descongestionar el tráfico de las calles principales de la ciudad y que la contaminación vehicular no se concentre en ciertos puntos de la urbe.

Finalmente se debería realizar una investigación bajo los mismos parámetros de investigación realizados en este trabajo luego de que se haya establecido un control de revisión técnica vehicular para así poder comparar los valores tomados y saber cuán importante es para el ambiente que se realice un control de emisión contaminante perteneciente a los medios de transporte urbano.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, J; & CALLEJÓN, I.** *Motores alternativos de combustión interna* [en línea]. 1ra. Ed. Cataluña - España: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2005, p. 512. [Consulta: 08 de diciembre de 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=RLDuW6HWXA0C&pg=PA337&dq=emisiones+contaminantes&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwibvOWX_tXlAhXEwFkKHafHBqEQ6AEIPzAE#v=onepage&q&f=false
- AUTASTECC.** *De la norma EURO 1 a la EURO 6* [en línea]. 2018. [Consulta: 14 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://autastec.com/blog/nuevas-tecnologias/de-la-norma-euro-1-a-la-euro-6/>
- AUTOAVANCE.** *Emisiones en Motores Diésel* [en línea]. 2019. [Consulta: 10 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/emisiones-en-motores-diesel/>
- CCICEV.** *Evaluación de la factibilidad de colocación de dispositivos reductores de emisiones en el parque automotor de transporte urbano a diésel en el DMQ* [en línea]. Quito – Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2016. [Consulta: 10 de enero de 2020]. Disponible en: http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Sesiones%20del%20Concejo/2017/Sesi%C3%B3n%20Ordinaria%202017-08-24/IV.%20%20Segundo%20Debate/Informaci%C3%B3n%20complementaria/Informe%20Producto%20I%20-%20Secretar%C3%ADa%20de%20Ambiente.pdf
- DIESELNET.** *EU: Heavy-Duty Truck and Bus Engines* [en línea]. ECOpoint Inc., 2019. [Consulta: 13 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://dieselnet.com/standards/eu/hd.php>
- GARCIA, H.** *Evaluación del riesgo por emisiones de partículas en fuentes estacionarias – Estudio de caso: Bogotá.* Bogotá – Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2006. pp. 4-6. [Consulta: 10 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=T87uEuVP84kC&pg=PA3&dq=material+particulado&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjvjuDU793lAhVsp1kKHZ38B6wQ6AEIPTAD#v=onepage&q&f=false>

INTERESCAPE. *Cómo funciona un FAP/DPF* [en línea]. 2020. [Consulta: 05 de enero de 2020]. Disponible en: http://www.filtroparticulas.com/?page_id=25&lang=es

JAÉN, A; et al. *Tecnología energética y medio ambiente I*. 2da. Ed. Cataluña - España: Edicions de la Universitat Politecnica de Catalunya, 2009, p. 22.

LFERRAZ. *Los motores diésel y la contaminación* [blog]. Escuela de organización industrial, 2015. [Consulta: 08 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://www.eoi.es/blogs/redinnovacionEOI/2015/10/08/los-motores-diesel-y-la-contaminacion/>

MAHA. *Manuales de operación Tecnología para análisis de emisiones* [en línea]. 2020. [Consulta: 10 de enero de 2020]. Disponible en: <https://www.maha.de/manuales-de-operacion-tecnologia-para-analisis-de-emisiones.htm>

MERKISZ, J; et al. *New Trends in Emission Control in the European Union*. Suiza: Springer Science & Business Media, 2013, p.3. [Consulta: 11 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=V07FBAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=New+Trends+in+Emission+Control+in+the+European+Union&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj0pejI-PzmAhXS1kKHYNnA-QQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false>

NOVELLA, Ricardo. *Influencia de los ciclos Atkinson y Miller sobre el proceso de combustión y las emisiones contaminantes en un motor diésel*. 1ra. Ed. España: Editorial Reverté, 2012, p. 3.

OKUBO, M; & KUWAHARA. T. *New Technologies for Emission Control in Marine Diesel Engines* United Kingdom: ELSEVIER, 2019, p.3. [Consulta: 11 de diciembre de 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=OQ6sDwAAQBAJ&pg=PA31&dq=Emissions+Regulations+EURO&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwj0o_SNxODIAhVnzlkKHSZpC2IQ6AEINjAB#v=onepage&q&f=false

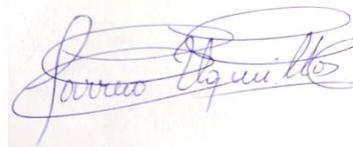
QIANFAN XIN. *Diesel Engine System Design* [en línea]. New Delhi – India: Woodhead Publishing Limited, 2011, p. 512. [Consulta: 16 de diciembre de 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=_HZwAgAAQBAJ&pg=PA497&dq=Moser+F.+X.,+Sams+T.+y+Cartellieri+W.+Impact+of+future+exhaust+gas+emission+legislation+on+the+heavy.duty+truck+engine.&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjy0YjjsOXIAhWy2FkKHfLjAVgQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false

QUINDIMIL RENGEL, A. *Estudios sobre la distribución de recubrimientos NSR y SCR en catalizadores monolíticos de doble capa para la eliminación de NOx* [en línea] (Tesis). (Ingeniería) Universidad del País Vasco, Facultad de Ciencia y Tecnología, Carrera de

Ingeniería Química. España: 2013. [Consulta: 15 de diciembre de 2019]. Disponible en: https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/14895/TFG_Adri%E1n_Quindimil_2014.pdf;jsessionid=B61F14A47D8219A284582A6135D9A582?sequence=1

ROMAIN, N. *The different driving cycles* [en línea]. Car-Engineer: 2013. [Consulta: 14 de diciembre de 2019]. Disponible en: <http://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/#prettyPhoto>

RYCHLIK, A; & JASIULEWICZ, M. *Environmental Issues in Automotive Industry* [en línea]. Editado por Golinska, P, London – England: Springer Science & Business Media, 2014, pp. 119–120. [Consulta: 15 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=3Uq9BAAAQBAJ&pg=PA120&dq=Exhaust+gas+recirculation+valve+EGR&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwix8tjseXIAhVG1VkkHe47CWcQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false>

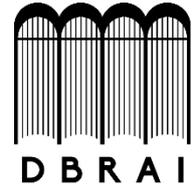


04-08-2020

0172 -DBRAI-UPT-2020



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 04 / 08 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

Nelson Dennis Zavala Herrera

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: Mecánica

Carrera: Ingeniería Automotriz

Título a optar: Ingeniero Automotriz

f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas MBA



04-08-2020

0172 -DBRAI-UPT-2020