



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO Y OPACIDAD EN UNA FLOTA DE VEHÍCULOS CON MOTOR CICLO DIÉSEL, UTILIZANDO UNA MEZCLA DE DIÉSEL CON 20% DE QUEROSENO

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

Ing. CHRISTIAN RENÉ GÓMEZ YÁNEZ
ing_christiangomez_07@hotmail.com

Ing. LENIN MARCELO VARGAS TIPÁN
leninvargast@gmail.com

DIRECTOR: Ing. ANGEL ADALBERTO PORTILLA AGUILAR, M.Sc.
angel.portilla@epn.edu.ec

Quito, julio, 2017

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los ingenieros CHRISTIAN RENÉ GÓMEZ YÁNEZ y LENIN MARCELO VARGAS TIPÁN bajo mi supervisión.

Ing. Ángel Portilla, M.sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, Christian René Gómez Yáñez y Lenin Marcelo Vargas Tipán, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Christian René Gómez Yáñez

Lenin Marcelo Vargas Tipán

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios, a mi esposa, mi hija y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. También dedico este proyecto a mi esposa, mi compañera inseparable de cada jornada. Ella representó gran esfuerzo y tesón en momentos de decline y cansancio. A ellos este proyecto, que sin ellos, no hubiese podido ser. Los amo con mi vida.

Ing. Christian René Gómez Yáñez

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Para mí esposa, mis hijos, que son mi inspiración y mi motor que me impulsa cada día para seguir adelante, a mi madre por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por guiarme en cada paso que doy.

A mi hermana por estar siempre presente, acompañándome. Y a mi abuelita que es mi angelito y me cuida desde el cielo.

Cada uno de ellos a su manera me han hecho todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos. Gracias.

Ing. Lenin Marcelo Vargas Tipán

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar, a cada uno de los que son parte de mi familia a mi PADRE Valerio Gómez, mi MADRE Inés Yáñez, y no menos importantes MI ESPOSA Jenny y MI HIJA Cristina Sarahí; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora. También y principalmente mi agradecimiento está dirigido hacia la excelentísima autoridad de mi director y amigo, Ing. Ángel Portilla, M.sc. quién me ayudó en todo momento, sin el cual no hubiese podido salir adelante y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió y abre sus puertas a jóvenes como yo, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

Ing. Christian René Gómez Yáñez

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de titulación, primeramente, me gustaría agradecer a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A mi familia porque sin ellos no lo hubiera logrado.

A la Escuela Politécnica Nacional por acogerme y darme la oportunidad de estudiar en sus nobles y prestigiosas aulas que son cuna de sabiduría y así poder alcanzar la meta que me propuse.

A mi director de tesis Msc. Ing. Ángel Portilla por tener la paciencia, el conocimiento, y su motivación para guiarnos en nuestro proyecto y llegar con éxito a la culminación de este.

También me gustaría agradecer a todos los ingenieros que aportaron con sus enseñanzas durante toda mi maestría con un granito de arena para mi formación profesional.

A todos mis compañeros y amigos de aula que fueron una fuente de experiencias.

A todos ellos gracias por haber sido parte de este logro.

Ing. Lenin Marcelo Vargas Tipán

INDICE

Certificación.....	i
Declaración.....	ii
Dedicatoria	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento.....	v
Agradecimiento.....	vi
Nomenclatura	x
Resumen	xii
Abstract	xiii
CAPITULO 1. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivo general.....	1
1.2. Objetivos específicos	1
1.3. Antecedentes	2
1.4. Justificación	2
1.5. Importancia y actualidad del tema.....	4
2. MARCO TEORICO.....	5
2.1. Principio de funcionamiento del motor diésel	5
2.1.1. Ecuación de combustión en los motores ciclo diésel.....	7
2.2. El Combustible.....	8
2.2.1. Tipos de combustibles	8
2.2.2. Propiedades físico - químicas de los combustibles	9
2.2.3. Propiedades físicas de los combustibles.....	9
2.2.4. Propiedades químicas de los combustibles.....	12
2.3. Características del combustible Diésel.....	13
2.3.1. Calidad del combustible Diésel	13
2.4. Características del queroseno.....	15
2.5. Principales contaminantes producidos por la combustión motor ciclo diésel ...	15

2.6.	Material particulado (MP)	16
2.6.1.	Formación de partículas	16
2.6.2.	Formación física del MP	18
2.6.3.	Formación química de las partículas	22
2.6.4.	Caracterización física del MP	24
2.6.5.	Métodos para la medición de MP	24
2.6.6.	Principios físicos utilizados para la medición de MP	25
2.6.7.	Principio de la dispersión de luz	26
2.6.8.	Técnicas de medición de MP	27
2.7.	Opacidad	27
2.7.1.	Medición de la visibilidad o de la opacidad	27
2.7.2.	Opacómetro	28
2.7.3.	Medidor por dispersión	29
2.8.	Efectos en la salud del material particulado que emiten los motores diésel	30
2.9.	El medio ambiente en el DMQ	31
2.9.1.	Soluciones adoptadas en el DMQ	32
3.	METODOLOGIA DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS	34
3.1.	Propiedades físico químicas de la mezcla diésel/queroseno	34
3.1.1.	Miscibilidad de la mezcla	34
3.1.2.	Ensayos para determinar las propiedades físico-químicas de la mezcla	35
3.2.	Equipos	36
3.2.1.	Vehículos de pruebas	36
3.2.2.	Sistema de almacenamiento externo para combustible	39
3.2.3.	Medidor de material particulado fino MP2.5	41
3.2.4.	Opacómetro	42
3.3.	Procedimientos	43
3.3.1.	Medición de emisiones	43
4.	RESULTADOS EXPERIMENTALES	45
4.1.	Propiedades Físico – Químicas del combustible	45

4.1.1. Densidad relativa	46
4.1.2. Índice de cetano calculado.....	46
4.1.3. Viscosidad cinemática.....	47
4.1.4. Contenido de azufre.....	48
4.1.5. Poder calorífico superior	49
4.1.6. Punto de inflamación.....	50
4.2. Emisiones	50
4.2.1. Opacidad	50
4.2.2. Material Particulado MP2.5	52
5.1. Conclusiones	56
5.2. Recomendaciones	57
BIBLIOGRAFÍA.....	58
ANEXOS.....	i

NOMENCLATURA

A/C: Aire/Combustible.

CO: Monóxido de carbono.

CST: Centistokes.

D20K: Mezcla de Diésel con 20% de queroseno en proporción volumétrica.

DEE: Mezcla de combustible diésel, éter di etílico oxigenado.

DME: Dimetil Éter.

ETBE: Etil Terbutil Éter.

GLP: Gas licuado de petróleo.

HAPs: Hidrocarburos aromáticos policíclicos

HC: Hidrocarburos.

INEN: Servicio Ecuatoriano de Normalización.

ISF: Fracción insoluble formada por compuestos orgánicos.

MACI: Motor alternativo combustión interna.

MEC: Motor de encendido por compresión.

MEP: Motor de encendido por chispa.

MP: Material particulado.

MP_{2.5}: Material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2.5 micras.

MP₁₀: Material particulado cuyo diámetro aerodinámico entre 2.5 y 10 micras.}

MTEB: Éter Metil Tert - Butílico.

NECA: Norma Ecuatoriana de calidad del aire.

NO_x: Óxidos de nitrógeno.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

ρ : Densidad.

PCI: Poder calorífico inferior.

PCS: Poder calorífico superior.

PMI: Punto muerto inferior.

PMS: Punto muerto superior

RTV: Revisión Técnica Vehicular.

SOx: Óxidos de azufre.

SOF: Fracción orgánica soluble.

v: Viscosidad Cinemática.

RESUMEN

La presente investigación evalúa experimentalmente la medición de las emisiones de material particulado ($MP_{2.5}$) y opacidad en una flota de vehículos con motor ciclo diésel, utilizando una mezcla de diésel con queroseno identificada como D20K. Aprovechando la miscibilidad entre estos dos combustibles, se realiza la mezcla en proporción volumétrica del 20% de queroseno en diésel. También se caracterizan los dos carburantes y su mezcla, midiendo las propiedades físico - químicas mediante pruebas de laboratorio normalizados por NTE INEN. Para evaluar el efecto en las emisiones de gases contaminantes, se utilizan cinco vehículos de prueba, los mismos que son sometidos a una prueba estática de aceleración libre en donde se determina el valor de opacidad establecido por la norma NTE INEN 2202 y de Material Particulado $MP_{2.5}$. Como resultado experimental se encontró que al utilizar una mezcla de diésel - queroseno D20K se logra disminuir las emisiones contaminantes de $MP_{2.5}$ en un promedio de 23% para vehículos EURO II y 10 % en vehículos EURO III, se observa además una disminución de opacidad, reduciéndose un promedio de 7% para vehículos EURO II y 3% en vehículos EURO III. En la muestra de vehículos utilizados se evidenció una disminución de las emisiones de opacidad y $MP_{2.5}$ con la mezcla D20K, sin embargo, el efecto de la reducción de dicha mezcla no se puede generalizar para todos los vehículos, ya que se debe considerar el diseño de cada motor, la cilindrada y la tecnología de control de emisiones, ya que estos factores también pueden tener efectos sobre variación de la reducción en las emisiones contaminantes.

Palabras Clave: Cilindraje, Emisiones, Estáticas, Miscibilidad, $MP_{2.5}$, Volumétrica.

ABSTRACT

The present investigation it is about the experimentally evaluates emissions of particulate matter ($MP_{2.5}$) and opacity in five vehicles with diesel engine, using a blend of diesel and kerosene called D20K. Due to the miscibility between these two fuels, the mixture is made in volumetric proportion of 20% of kerosene in diesel. The two fuels and their blend are characterized with the physic and chemical properties through laboratory tests normalized by NTE INEN. To evaluate the effect on the emissions of pollutant gases with five test vehicles in a static test of free acceleration in which the value of opacity specified by NTE INEN 2202 and of Particulate Matter $MP_{2.5}$. As an experimental result, it was found that the use of a blend D20K, decreases pollutant emissions of $MP_{2.5}$ by an average of 23% for EURO II vehicles and 10% of EURO III vehicles, a decrease in opacity reducing by an average of 7% for EURO II vehicles and 3% for EURO III vehicles. In the sample of vehicles used was evidenced a decrease of the emissions of opacity and $MP_{2.5}$ with the blend D20K, however the effect of the reduction of this blend can not be generalized for all the vehicles, since the design must be considered of each engine, displacement and emission control technology, since these factors can also have effects on variation of the reduction in pollutant emissions.

Keywords: Cylinder, Emissions, Miscibility, $MP_{2.5}$, Volumetric.

MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO Y OPACIDAD EN UNA FLOTA DE VEHÍCULOS CON MOTOR CICLO DIÉSEL, UTILIZANDO UNA MEZCLA DE DIÉSEL CON 20% DE QUEROSENO

1. INTRODUCCION

En la actualidad uno de los temas que ha tocado en el pensamiento y la conciencia de los seres humanos es el problema la contaminación ambiental, a tal punto que a nivel mundial los países han tratado de gestionar proyectos para reducir al mínimo los factores que provocan la contaminación, en el Distrito Metropolitano de Quito DMQ en el año 2015 los niveles de contaminación se mantuvieron entre óptimos y aceptables, con concentraciones similares a las de los últimos cinco años. Para las partículas finas (PM2.5) se vuelve a incumplir los promedios anuales en todas las estaciones monitoreadas, mismas que representan un peligro para la salud. Estos excesos pueden incidir significativamente en la salud, especialmente entre los niños, las personas de edad avanzada y personas sensibles. Las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud para las partículas, en base a los resultados de investigaciones sobre los efectos en la salud, recomiendan niveles más bajos que la normativa actual vigente en el DMQ.

Con el avance de la tecnología, como medidas técnicas para reducción de emisiones, se han planteado soluciones de tres tipos: pre combustión, durante la combustión y postcombustión en los vehículos.

1.1. Objetivo General

Medición y evaluación de las emisiones de material particulado y opacidad en una flota de vehículos con motor ciclo diésel, utilizando una mezcla de diésel con 20% de queroseno.

1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la mezcla de Diésel con 20% de queroseno para obtener los valores de viscosidad, densidad y número de cetano.

- Obtener las mediciones de material particulado y opacidad en una flota de cinco vehículos con motor Diésel utilizando la mezcla de diésel con 20% de queroseno en la prueba estática y aceleración libre.
- Comparar los valores de opacidad y material particulado de la flota de vehículos con y sin queroseno al 20%.

1.3. Antecedentes

En el 2016, Eugenio y Montalvo realizan un estudio como medida pre combustión para la reducción de emisiones contaminantes en donde evalúan el comportamiento y Emisiones de un Motor de Combustión Interna Utilizando una Mezcla Diésel-Queroseno, cuyo objetivo es reducir los contaminantes que se producen por la combustión en los motores diésel, se utilizó una mezcla homogénea de combustible de base diésel con varios porcentajes de queroseno (5%,10%,15%,20%,25%,30%), y lo realizaron en un solo vehículo de prueba. Los resultados fueron alentadores, ya que se redujo en una medida apreciable los valores de emisiones contaminantes como material particulado $MP_{2.5}$, y opacidad; sin embargo, aunque se evidenció la disminución de torque y potencia en el motor, con la mezcla del 20% de queroseno dicha disminución podría ser aceptable.

1.4. Justificación

El consumo del sector del transporte representa 46% del total de energía demandada en los sectores del país, sin embargo, en el 2015 existió una reducción del 4% en el consumo energético sectorial del país comparado con el 2014, a pesar de un incremento en la demanda del transporte 2% entre el 2014 y el 2015. El diésel es el principal combustible que se demanda en el país (1.993 millones de galones en 2015). Cabe indicar que el transporte terrestre en el 2015 demandó el 87% del total de la energía en este sector, al mismo tiempo que el consumo de diésel por tipo de vehículo está dado que para carga pesada el 74%, carga liviana 19% y otros el 7% (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016).

Se han hecho estudios en Estados Unidos los datos reflejaron que a mayores altitudes los vehículos ciclo Otto emiten hasta 40% más monóxido de carbono y hasta 20% más hidrocarburos, que cuando operan a nivel del mar, teniendo en cuenta que en los

Estados Unidos la ciudad de mayor altitud es Denver, en Colorado, a tan solo 1400 metros sobre el nivel del mar, frente a la altitud de las ciudades ecuatorianas de la Sierra. Existen también investigaciones que indica que los vehículos Diésel generan al combustionarse, varios contaminantes que son perjudiciales para el aire y la vida, entre ellos se tiene el monóxido de carbono, dióxido de sulfuro, plomo inorgánico, compuestos de manganeso, compuestos de mercurio, monóxido de carbono, material particulado (Agencia de Protección Ambiental EPA, 2006).

En una evaluación realizada para el Ministerio del Ambiente se establece que de las 17 ciudades que tienen poblaciones urbanas superiores a los 100 mil habitantes y que por su densidad poblacional y la concentración de actividades socioeconómicas son firmes candidatas a tener una calidad ambiental degradada, solamente Quito, y más recientemente Cuenca y Guayaquil, han implementado planes de acción sistemáticos para combatir las causas de la contaminación atmosférica y mejorar la calidad del aire (INEN, 2006).

Es importante señalar que Quito es un caso muy vulnerable, al estar situada a 2800 metros sobre el nivel del mar, en promedio, hace que el aire de Quito tenga 27% menos de oxígeno, lo cual conspira contra la eficiencia de la combustión, que hace que los equipos como los motores que utilizan combustible fósil, consuman mayor cantidad de combustible y paralelamente, generen mayor cantidad de contaminantes, en comparación con procesos similares que se realizan en el llano, o a nivel del mar (Secretaría de Ambiente del DMQ, 2011).

Según la Investigación Análisis y Monitoreo en la ciudad de Quito, presentó datos relevantes con respecto a sitios de mayor contaminación como son Belisario, Tababela, Jipijapa, Los Chillos, Guamaní, Tumbaco, y Carapungo que tiene un mayor promedio anual que supera lo que establece la Norma (NECA 50 ug/m³) con 54.9 de material particulado PM₁₀ (ug/m³). Para PM_{2.5} es de (15ug/m³) se tiene en Carapungo el promedio anual más alto con 20,8 (ug/m³). Así también se puede observar que el material particulado PM_{2.5} se redujo debido a la mejora en el combustible diésel, a partir del año 2004 al 2008, las concentraciones medias anuales de este contaminante disminuyeron en un 33%, a partir de ese año las concentraciones no registran variaciones significativas (Valeria Díaz Suárez, Secretaría del Ambiente, 2015).

El Municipio de Quito ha realizado proyectos como Emisiones de Contaminantes Criterio para tratar de mitigar los efectos de la contaminación en la ciudad por ejemplo la modernización del parque vehicular y la revisión técnica vehicular (RTV), que

permiten que las emisiones por vehículo se reduzcan paulatinamente. Por otro lado, la medida de restricción vehicular “Pico y Placa”, implementada en el año 2010, generó una reducción en el tráfico vehicular durante las horas pico. Sin embargo, el efecto positivo de esta medida podría verse limitado en el tiempo, debido al paulatino crecimiento del parque vehicular (DMQ, Secretaria de Ambiente, 2011).

1.5. Importancia y actualidad del tema

Con el fin de validar los resultados obtenidos en la Evaluación del Comportamiento y Emisiones de un Motor de Combustión Interna Utilizando una Mezcla Diésel-Queroseno (J. Montalvo y C. Eugenio, EPN, 2016).

Se plantea realizar las mediciones de material particulado $MP_{2.5}$ y opacidad siguiendo el procedimiento que referencia la NORMA NTE INEN 2202:2013, se tomará muestras en una flota de cinco (5) vehículos, utilizando una mezcla de combustible Diésel comercial con 20% de Queroseno como soluto y se comparará los valores utilizando solo diésel comercial puro, dichos resultados sirven de base teórica sobre la que se sustenta este proyecto.

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo trata sobre la formación y caracterización del material Particulado MP2.5 emanado por los motores Diésel como también las técnicas de medición del MP y opacidad. Se puede observar que la generación de MP incide en efectos perjudiciales en la salud de los seres vivos y en el ambiente en general, con graves consecuencias. Así también contiene una breve reseña de las propiedades físico - químicas de los combustibles y la directa afectación de estos en el desempeño del motor diésel y en la emanación de gases contaminantes, además de la situación en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) frente a la contaminación y las soluciones que se han adoptado.

2.1. Principio de funcionamiento del motor diésel

El proceso de formación de la mezcla de los motores diésel se realiza en el cilindro del motor y se inicia milisegundos después de la inyección del combustible. En la Figura 2.1 se puede observar las fases del proceso de combustión en MEC, los diagramas de masa quemada y calor liberado del motor diésel (Simón Fygueroa, 2005).

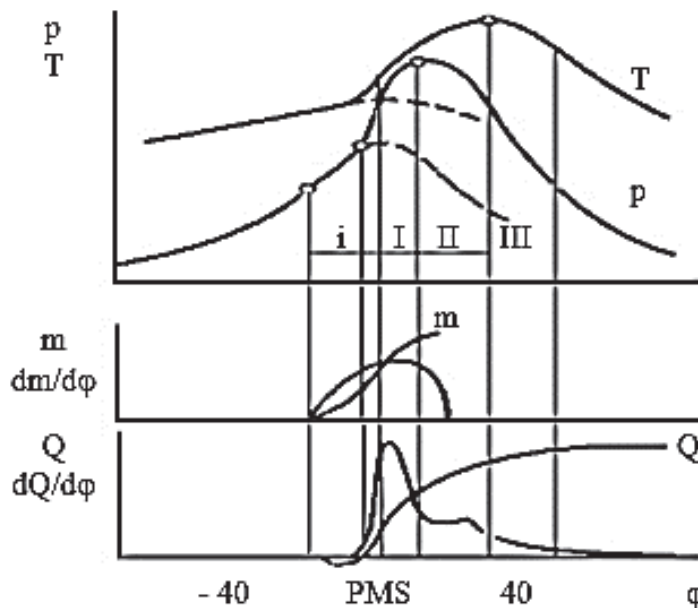


Figura 2.1. Fases del proceso de combustión en MEC, diagramas de masa quemada (m) y calor liberado (Q).

(Fuente: Simón Fygueroa, 2005)

Donde:

- i. **Retardo a la inflamación.**- Es el período de tiempo que está dado desde el inicio de la inyección hasta el punto de separación de los diagramas con y sin combustión. Durante este tiempo una porción del combustible vaporizado y mezclado se atomiza con el aire en movimiento por lo que cuando se alcanzan valores de riqueza de la mezcla propicios se presentan los focos de inflamación en las diversas zonas de la cámara de combustión alrededor del cono de inyección. Se considera que en este tiempo no hay combustión propiamente dicha sino preparación de la mezcla para el inicio de la misma. Un inicio de inyección muy anticipado respecto al PMS puede ocasionar fuertes explosiones para el momento en el cual comience realmente la combustión debido a la gran cantidad de combustible acumulado.

- I. **Combustión rápida.**- Esta se presenta desde el punto de separación hasta el punto de presión máxima y debido a la cantidad de combustible acumulado que se quema (m) y a la participación del combustible que está siendo inyectado, en Figura 2.1. se observa un crecimiento rápido de presión (P). En esta fase la plenitud del proceso de combustión se debe mayormente a las características de difusión entre los vapores de combustible y el aire fresco, el proceso de liberación de energía en esta fase crece rápidamente mostrando un pico bastante elevado. Para cuando se alcanza la presión máxima si el motor funciona a plena carga con un ciclo de trabajo bien organizado se estima un 33% de liberación de energía.

- II. **Combustión lenta.**- Al continuar la combustión se observa una reducción de presión (P) no muy significativa con poco crecimiento del diagrama de liberación de calor (Q) hasta el punto donde se alcanza la temperatura máxima (T). El desarrollo del proceso de combustión en esta fase está dominado por las condiciones de mezclado entre los vapores de combustible y el aire fresco. El continuo movimiento del aire es imprescindible para desalojar los gases quemados y permitir el mezclado de los reactantes. La cantidad de energía liberada para el momento en el que se alcanza la temperatura máxima está entre un 70 a 80% del total que posee el combustible.

- III. **Combustión residual.**- En la Figura 2.1 se aprecia en el diagrama de liberación de energía la combustión continúa aún después de haberse alcanzado la temperatura máxima (T) desarrollándose en una parte considerable de la carrera de expansión. Lo anterior sucede debido al

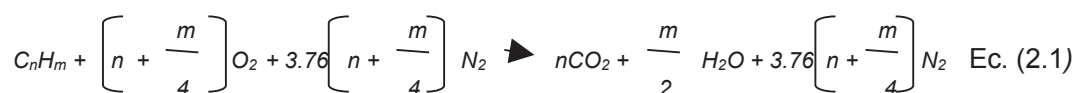
quemado tardío de porciones de combustible localizadas en zonas de sobre enriquecimiento local. El desarrollo de esta fase no es deseable pero por las características del proceso de combustión en MEC es inevitable, su duración puede alcanzar de 70 a 80 ° de giro del cigüeñal y debido a la falta de oxígeno y presencia de gran cantidad de gases residuales el proceso de liberación de energía empeora bruscamente.

Durante la carrera de admisión solo aire es admitido al cilindro el cual sufre un calentamiento. En la carrera de compresión en la cámara del motor, se crean las condiciones de presión y temperatura que aseguran la autoinflamación. Grados antes del PMS, comienza la inyección del combustible en un ambiente de aire a elevada temperatura y presión. Hay un periodo denominado de retardo a la inflamación, parte del combustible vaporizado localmente forma la mezcla aire-combustible apta para que se inicie la combustión. El movimiento turbulento del aire dentro de la cámara de combustión del motor desaloja parte de los gases quemados e introduce nuevas cantidades de aire para continuar con la formación de la mezcla aire- combustible.

2.1.1. Ecuación de combustión en los motores ciclo diésel.

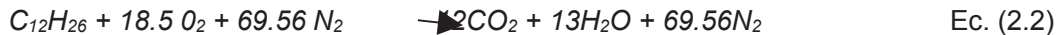
La Combustión se refiere a las reacciones de oxidación que se producen de forma rápida de materiales llamados combustibles, formados fundamentalmente por carbono é hidrogeno en presencia de oxígeno denominado el comburente y con gran desprendimiento de calor. (Brizuela, E, 2003).

Una relación estequiometria es aquella donde la cantidad de oxigeno suministrada es la necesaria para la combustión completa del combustible. Dicha ecuación puede generalizarse para cualquier hidrocarburo de fórmula general C_nH_m teniendo la igualdad del número de átomos de los elementos que aparecen en ambos miembros de la Ecuación 2.1:



La ecuación supone entonces que tanto los reactantes como los productos están en fase gaseosa y que el nitrógeno no reacciona químicamente.

La reacción estequiométrica del diésel ($C_{12}H_{26}$), sin exceso ni defecto de aire es:



La Ecuación 2.2 expresa que en la combustión diésel 1 mol de combustible ($C_{12}H_{26}$) reacciona con 18.5 moles de O_2 .

Como 1 mol de aire tiene 0.21 mol de O_2 y 0.79 de N_2 el peso molecular del aire es:

$$0.21*(32\text{kg/kmol } O_2) + 0.79*(28 \text{ kg/kmol } N_2) = 28.84 \text{ kg/ kmol}_{\text{aire}}$$

De la Ec. 2.2:

$$A/C = \frac{88\text{kmol}_{\text{aire}} \times 28.84 \text{ kg / kmol}_{\text{aire}}}{1\text{kmol}_{\text{combustible}} \times 170 \text{ kg / kmol}_{\text{combustible}}}$$

$$A/C = 14.92 \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{\text{kg}_{\text{combustible}}}$$

Esto corresponde a una relación aire/combustible ideal.

2.2. El Combustible

Los combustibles tradicionalmente utilizados por los motores alternativos son líquidos y proceden del petróleo, siendo por tanto de origen fósil. Por otra parte, las limitaciones impuestas por las normativas de emisiones no solo han obligado a los fabricantes a desarrollar sistemas de combustión y postcombustión cada vez más limpios o eficaces, sino que también han arrastrado a la industria petrolera en la carrera tecnológica para lograr emisiones aún menores.

2.2.1. Tipos de combustibles

Las exigencias propias del modo de encendido y combustión de los MEP y de los MEC junto con el proceso de formación de la mezcla adecuada, han llevado a la existencia, de tipos de combustibles que son específicos para cada tipo de motor. En la Tabla 2.1 se puede observar los tipos de combustibles, en qué tipo de motor aplican, además de su origen y estado (Payri. F y Desantes. M ,2011).

Tabla.2.1. Aplicación, fase en la que se encuentran y fuentes de las que se obtienen diversos combustibles.

COMBUSTIBLE	TIPO DE MOTOR		FASE DEL COMBUSTIBLE		ORIGEN DEL COMBUSTIBLE	
	MEP	MEC	LIQUIDO	GAS	FOSIL	OTROS
Gasolina	X		X		X	
Etanol	X		X			X
Metanol	X		X		X	X
MTBE(Metil Terciario Butil Éter)	X		X		X	X
ETBE(Etil Terciario Butil Éter)	X		X			X
Gas Natural	X		X	X	X	
Gas Licuado de Petróleo	X		X		X	
Hidrogeno	X		X	X	X	X
Diesel		X	X		X	X
Bio Diesel		X	X			X
GTL (gas to liquid)		X	X		X	
CTL (coal to liquid)		X	X		X	
BTL (biomass to liquid)		X	X			X
DME(bio dimetil eter)		X	X		X	X
Biogas (BG)	X					X

(Fuente: F. Payri y Desantes, 2011)

2.2.2. Propiedades físico - químicas de los combustibles

El análisis de un combustible, en lo que a su aplicabilidad en MACI se refiere, requiere del conocimiento de sus propiedades físico - químicas. Las características físicas de un carburante son aquellas que afectan a su capacidad para formar una mezcla gaseosa de combustible y aire apropiada para el tipo de motor en el que se vaya a utilizar; también influyen en su almacenamiento.

2.2.3. Propiedades físicas de los combustibles

Como propiedades físicas se tiene:

- Destilación.
- Densidad relativa.
- Viscosidad cinemática.
- Lubricidad.
- Agua y sedimentos.
- Índice de cetano.

2.2.3.1. Destilación.- Los requerimientos de volatilidad del combustible dependen del diseño y tamaño del motor, los combustibles más volátiles pueden proporcionar una mejor performance, especialmente con respecto al humo y olor. Sin embargo, la mejor economía de combustible generalmente se obtiene con los tipos de combustibles más pesados a causa de su mayor poder calorífico.

2.2.3.2. Densidad.- La densidad de algunos combustibles se muestra en la Tabla 2.2. Las dispersiones de esta repercuten negativamente en la potencia del motor y las emisiones, así como también en la economía del combustible (Payri. F y Desantes. M, 2011). En un estudio realizado se indica que la densidad disminuye al utilizar la mezcla de diésel con biodiesel, con esto, se pudo comprobar que se mejora la atomización del mismo y la combustión presenta una reducción de emisiones de CO (Maghbouli. A et al).

Tabla 2.2. Densidades de algunos combustibles norma ASTM D1655.

Combustible	ρ (Kg/cm ³)	ν (cSt) a 40° C
Metanol	791,3	0,58
Etanol	789,4	1,13
Butanol	809,7	2,22
MTEB	745	0,48
ETBE	767	0,54
DME	667	<0,1
Gasolina	720-775	0,65
Queroseno	775-840	1,8*
Gasoil	820-845	2-4,5
Fuel-oíl	920-950	100-1000
Biodiesel (FAME)	860 -900	3,5-5
Fischer -Tropsch Diésel	770-800	2-4,5
n-Dodecano	750	0,36
* Valor típico (la Norma ASTM D1655 exige < 8 cSt a -20°C)		

(Fuente: ASTM, F.Payri y Desantes, 2011)

2.2.3.3. Viscosidad y Lubricidad.- Es un parámetro importante pues su valor debe ser suficientemente bajo como para poder circular por los circuitos de alimentación sin excesivas pérdidas de carga. Para algunos motores es ventajoso especificar una viscosidad mínima, debido a la pérdida de potencia originada por las fugas en la bomba de inyección e inyector. (Karim Poma, 2004).

La lubricidad es otra especificación en el caso de los gasóleos que indica la capacidad lubricante del mismo.

2.2.3.4. Contenido de agua y sedimentos.- Son causantes de la corrosión, desgaste y obstrucción de los filtros del sistema de inyección, así como de producir una combustión irregular y reducir la lubricidad (J. Montalvo y C. Eugenio, 2016).

2.2.3.5. Índice de cetano.- Es un modelo de predicción de número de cetano (ASTM D-613), basado en propiedades del combustible: Destilación y Densidad o °API.

2.2.3.6. Número de cetano (CN).- Cuanto mayor es el número de cetano menor es el tiempo de retraso, y por tanto menor la cantidad de combustible que se quema premezclado (lo que origina gradientes de presión elevados, y en el extremo, marcha dura).

El comportamiento del combustible diésel, con respecto al número de cetano. Va a estar dado por su matriz química, es así que si se tiene diésel cuyo origen es:

- Parafínico: son cadenas lineales, el número de cetano va a ser muy alto.
- Isoparafínico: el número de cetano va a ser bajo,
- Nafténico: son cadenas cerradas, el número de cetano va a ser medio.
- Aromático, que son anillos bencénicos, el número de cetano va a ser muy bajo. En la Figura 2.2. se puede observar cómo influye el número de carbonos en el número de cetano (Karim Poma, 2004).

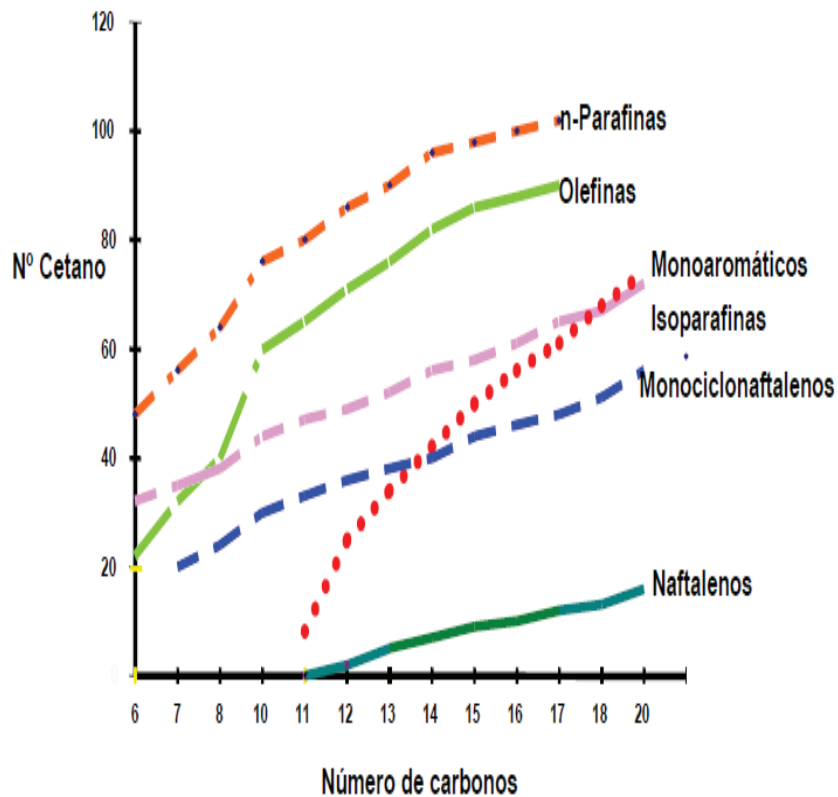


Figura 2.2. Relación composición Número Cetanos.
(Fuente: Karim Poma ,2004)

2.2.4. Propiedades químicas de los combustibles

Entre algunas de las propiedades químicas de los combustibles se tiene:

- Inflamabilidad.
- Temperatura de autoinflamación.
- Poder Calorífico.
- Contenido de azufre.
- Residuo Carbonoso.
- Punto de enturbiamiento.
- Corrosión a la lámina de cobre.

2.2.4.1. Inflamabilidad.- Existen dos para cada combustible el mínimo (L_i) y el máximo (L_s), son dependientes de la temperatura. Fuera de los límites la llama se acaba extinguiendo.

2.2.4.2. Temperatura de inflamabilidad (flash point).- Es la mínima temperatura a la que existe peligro de inflamación de un combustible ante la proximidad de un agente exterior, a presión ambiental. Es importante por razones de seguridad para el transporte y almacenamiento de combustibles.

2.2.4.3. Temperatura de autoinflamación.- Es la mínima temperatura a la que un combustible se auto inflama al entrar en contacto con el aire. Depende de la presión y de la relación de mezcla, por lo que no es una característica fisicoquímica del combustible.

2.2.4.4. Poder calorífico.- Se define como la energía liberada en forma de calor en la combustión estequiométrica de una unidad de masa de combustible, donde los productos quemados quedan en las mismas condiciones de temperatura y presión (o temperatura y volumen) que los reactivos iniciales (Payri. F y Desantes. M, 2011)

2.2.4.5. Contenido de azufre.- El contenido de azufre es perjudicial para los componentes de los sistemas de los motores en los gases de escape además se produce por consecuencia de la combustión unos gases nocivos para el medio ambiente y el ser humano. En la combustión de los motores diésel el azufre es una de las fuentes principales de Material Particulado (MP).

2.2.4.6. Residuo carbonoso.- Es la cantidad de componentes pesados tipo carbón determinado coque presente en el 10 % del residuo de la destilación, indican la tendencia a la formación de depósitos de carbonilla en las piezas del motor (Karim Poma, 2004).

2.2.4.7. Punto de enturbiamiento.- En combustibles diésel o biodiesel se forma un aspecto turbio. La presencia de ceras o parafinas solidificadas hacen espesar el aceite lubricante y obstruye los filtros de combustible e inyectores en motores diésel.

2.2.4.8. Corrosión a la Lámina de Cobre.- Esta prueba sirve como una medida de las posibles dificultades con las piezas de cobre, latón y bronce del sistema de combustible.

2.3. Características del combustible Diésel

El combustible diésel, es un hidrocarburo líquido de densidad sobre (0,832 Kg/cm³) compuesto fundamentalmente por parafinas y utilizado principalmente en máquinas de combustión interna de alto aprovechamiento de energía, con elevado rendimiento y eficiencia mecánica, como combustible en calefacción y en vehículos livianos y pesados. Su poder calorífico inferior es de 43,1(MJ/Kg) que depende de su composición (Karim Poma, 2004).

2.3.1. Calidad del combustible Diésel

La calidad del combustible diésel afecta directamente en el funcionamiento del motor y por consecuencia en su desempeño, esto con lleva a una mayor emisión de contaminantes, baja de potencia y mayor consumo de combustible. Ver la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Propiedades del combustible diésel que afecta el desempeño optimo del motor diésel.

DESEMPEÑO	PROPIEDAD DEL COMBUSTIBLE
Potencia	Densidad, Viscosidad
Economía de Combustible	Densidad, Poder calorífico, Número de cetano
Ruido	Destilación, Viscosidad, Número de cetano,
	Estabilidad, composición
Humos	Densidad, Viscosidad
Emisiones	Viscosidad, Destilación, Azufre, Número de cetano
	Estabilidad, Composición

(Fuente: The Associated Octel Company Limited, Karim Poma, 2004)

La calidad del combustible diésel depende de su origen, la calidad de destilación y esto a su vez de las propiedades físicas y químicas que tiene el diésel. En el Ecuador, la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1489:2012. Tiene valores de requisitos del diésel Premium como se especifica a continuación en la Tabla 2.4.

Tabla. 2.4. Requisitos del diésel Premium.

REQUISITOS	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	METODO DE ENSAYO
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493 PROCEDIMIENTO A
Contenido de agua y sedimentos	%	-	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 926
Temperatura de destilación del 90%	°C		360	NTE INEN 1493
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	2	5	NTE INEN 810
W Contenido de azufre	%	-	0,05	ASTM4294
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No. 3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiesel *Nota	%	----	5	EN14078
<u>*NOTA:</u> De no contener Biodiesel no es necesario la realización de este ensayo				

(Fuente: INEN, 2017)

2.4. Características del queroseno

El queroseno es una fracción refinada del petróleo crudo utilizada normalmente para alumbrar, calentar, cocinar, así como combustible para motores diésel, tractores, cohetes, mecheros y como base para insecticidas. Por mucho tiempo fue empleado para el alumbrado de las casas y largamente conocido como combustible para lámparas. Es de color amarillento y es catalogado como un aceite ligero. Según la norma NTE INEN 1051, especifica los requisitos del Querosene como se muestra en la Tabla 2.5.

Tabla: 2.5. Requisitos del Querosene.

REQUISITOS	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	METODO DE ENSAYO
Punto de inflamación	°C	51		NTE INEN 1493 PROCEDIMIENTO A
Contenido de agua y sedimentos	%		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 926
Temperatura de destilación del 90%	°C		360	NTE INEN 1493
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	2	5	NTE INEN 810
W Contenido de azufre	%		0,05	ASTM4294
Corrosion a la lamina de cobre	Clasificación		No3	NTE INEN 927
Indice de cetano calculado		45		NTE INEN 1495
Contenido de biodiesel *Nota	%		5	EN14078
*NOTA: De no contener Biodiesel no es necesario la realizacion de este ensayo				

(Fuente: INEN, 2017)

2.5. Principales contaminantes producidos por la combustión del motor ciclo diésel

En la Tabla 2.6 se puede observar los principales contaminantes que emite el motor diésel:

Tabla: 2.6. Contaminantes del motor diésel.

CONTAMINANTES DEL MOTOR DIESEL				
	Descripcion	Características	Formación	Efectos
Oxidos de Nitrogeno (NOx)	Es la suma de contaminantes como: Monóxido de Nitrogeno (NO), Dióxido de Nitrogeno (NO ₂), Oxido Nitroso (N ₂ O) NO ₃ y N ₂ O ₃ .	Olor penetrante, Color rojizo.	Oxidación atmosférica molecular del Nitrogeno, Elevadas Temperaturas.	Lluvia Acida, Smog Fotoquímico, Enfermedades Infecciosas, Reducción Ozono.
Monóxido de Carbono (CO)	Es uno de los principales contaminantes en el ambiente.	Incoloro e Inodoro	Por el dosado (mezcla rica y pobres), Temperaturas Altas, Oxidación del C.	Disminuye O ₂ en la sangre, Alta concentración produce la muerte, Dolor de cabeza, cansancio, Gases de invernadero.
Azufre (S)	Se encuentra habitualmente en los combustibles líquidos ,en forma de compuesto organico o inorganico. Forma los Sox(SO ₂), (SO), (SO ₃), tambien forma HS, H ₂ S, COS. Genera Material Particulado.	Olor penetrante, color amarillento.	Dosado (mezcla ricas y pobres), Altas temperaturas Combustión.	Tales como irritación e inflamación del sistema respiratorio, cardiovascular, afecciones e insuficiencias pulmonares, alteración del metabolismo de las proteínas, dolor de cabeza o ansiedad.
Hidrocarburos (HC)	Los compuestos mas abundantes en las emisiones de HC (Motores Diesel) son los alcanos, seguidos por los alcanos y aromaticos (HAPs).	Composición altamente heterogenea. Los HAPs son sólidos a temperatura ambiente y su volatilidad es muy baja, se encuentran en el aire, tierra, agua procedentes de fuentes naturales o antropogenicas.	Se emiten principalmente como consecuencia de la combustion incompleta (aceite y combustible). Por el apagado de la llama efecto pared o por misjiring. Insuficiente evaporación del combustible, fugas de escape, cortocircuito de la carga fresca, combustible atrapado, dosados locales extremos.	Irritación de ojos, cansancio, y tendencia a toser, Formacion de hollín, Los HAPs son cancerigenos o mutagenicos y causar enfermedades pulmonares.

(Fuente: F. Payri y M. Desantes, 2011)

2.6. Material particulado (MP)

El presente estudio se basa en la medición de las emisiones contaminantes de MP_{2,5} y opacidad en una flota de cinco vehículos a diésel utilizando diésel comercial y diésel mezclado con 20% de keroseno, denominado D20K. Es por esta razón que en esta sección se hace un breve repaso del enfoque de las investigaciones, los métodos utilizados y los principales resultados sobre las emisiones contaminantes indicadas.

2.6.1. Formación de partículas

Al analizar las emisiones de partículas es imprescindible estudiar el proceso de dilución del escape con el aire ambiente. En el escape de los motores se producen cambios en las características físicas y químicas del MP, debido a distintos procesos tales como sedimentación, evaporación, condensación, crecimiento por colisión,

depósitos en la superficie de las partículas, proceso fotoquímico, etc. Debido a estos procesos físicos y químicos que ocurren en el escape o en la atmósfera podemos distinguir entre:

2.6.1.1. Partículas primarias.- Aquellas que se forman directamente como producto del proceso de combustión y se miden justo a la salida del cilindro, En los motores a diésel, las partículas son formadas debido a zonas de baja temperatura o de baja disponibilidad de oxígeno en el frente de llama durante la combustión. La calidad de la combustión depende, principalmente, de las características de la inyección del combustible, de las características de mezclado entre el combustible y el aire, y de la presencia de combustible y aceite lubricante en las paredes de la cámara de combustión y en los asientos de las válvulas de aire. Estas partículas, a su vez, se aglomeran entre sí para formar partículas alargadas y ramificadas, ver Figura 2.3 (Néstor y Rojas, 2004).

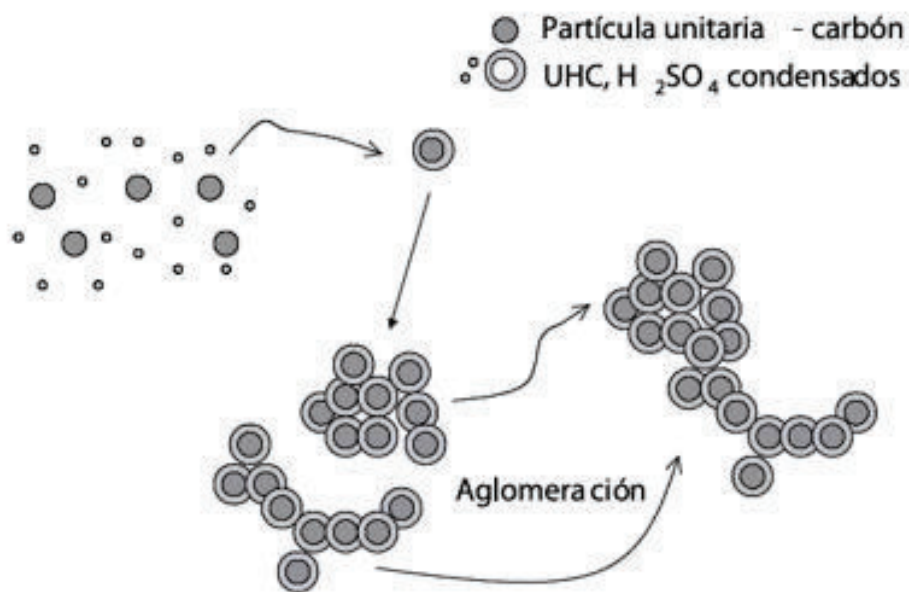


Figura 2.3. Formación de partículas de combustión.
(Fuente: Néstor.Y. Rojas, 2004)

2.6.1.2. Partículas secundarias.- Resultantes de alguno de los procesos atmosféricos, tanto en el escape como ya directamente en la atmósfera, y que se recogen usualmente mediante sistemas de dilución situados al final del sistema de escape o en una derivación del mismo. En la figura 2.4 se puede ver el comportamiento del MP en el medio ambiente.

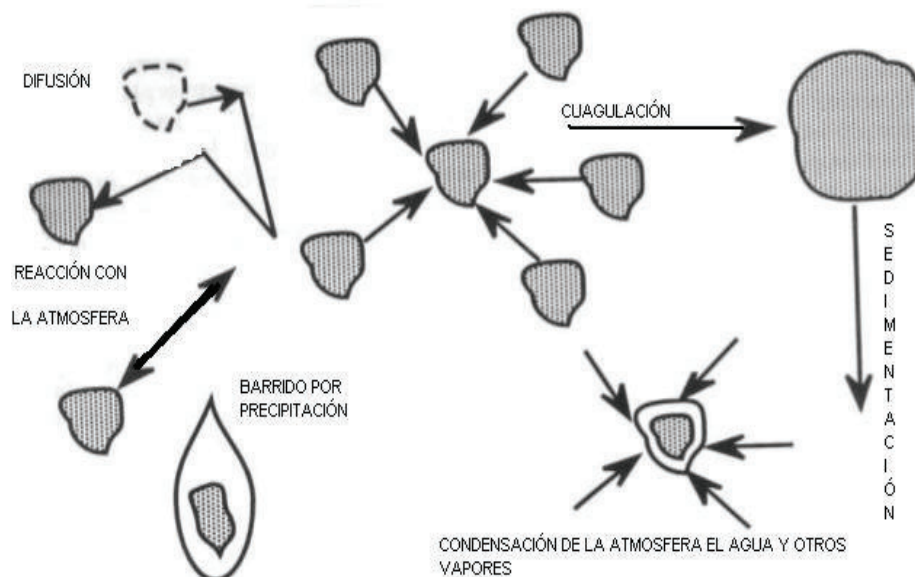


Figura 2.4. Comportamiento del material particulado en el medio ambiente.
(Fuente: F. Payri y M. Desantes, 2011)

2.6.2. Formación física del MP

A continuación, se describe la formación física del MP que parte del sustrato inicial (HOLLIN) sus principales mecanismos de formación así como su composición y sus características morfológicas:

- Hollín.
- Formación de las partículas y composición.
- Distribución de tamaños de partículas.

a) Hollín

El hollín formado se compone de partículas carbonosas (partículas primarias) estructuradas en redes cristalinas que contienen alrededor de un 1% en peso de hidrógeno, es decir, la proporción correspondiente a la fórmula empírica media de C_8H . En la Figura 2.5 podemos observar esquema de formación de partículas primarias de hollín. Cada átomo de hidrógeno que se separa durante la deshidrogenación activa a otra molécula produciendo su nucleación y crecimiento, adoptando estructuras en forma de red. Este proceso del aire en un rango estrecho de altas temperaturas.

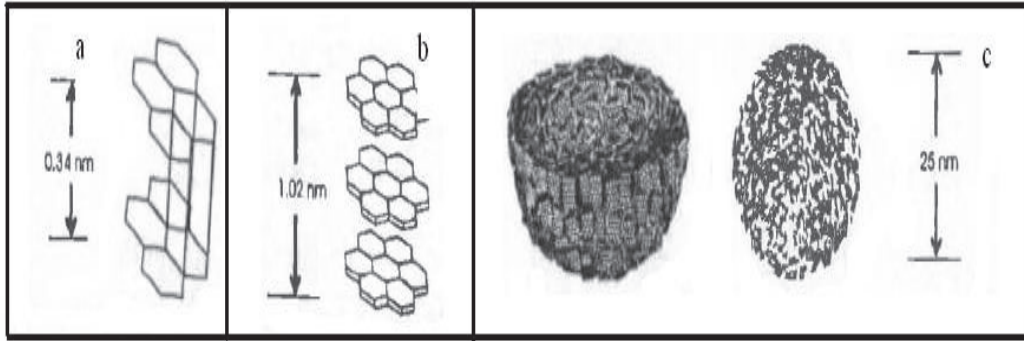


Figura 2.5. Esquema de formación de partículas primarias de hollín: (a) láminas de grafeno (b) cristales y (c) partícula primaria.
 (Fuente: F. Payri y M. Desantes, 2011)

A continuación, se describe brevemente cada una de las etapas que conducen a la formación de partículas de hollín desde la llama al sistema de escape.

2.6.2.1. Nucleación.- es el proceso en el que se produce la formación de una fase sólida (partículas de hollín) desde una fase vapor en regiones localmente ricas en combustible y alta temperatura (entre 1300-1600 K).

2.6.2.2. Superficial.- En esta etapa se produce la adición de masa en la superficie de una partícula ya nucleada. En este proceso se añaden hidrocarburos en fase gas, generalmente acetilenos y *HAPs*, en los sitios reactivos de la superficie de las partículas y a alta temperatura.

2.6.2.3. Coagulación.- Es un fenómeno físico, no químico. La coagulación o coalescencia se produce por colisión de dos partículas primarias aproximadamente esféricas, obteniéndose una única partícula resultante manteniendo la identidad esférica y cuya masa es la suma de las masas de las dos partículas primarias que intervienen en la colisión.

2.6.2.4. Oxidación.- Es el proceso mediante el cual se produce la conversión de carbono o hidrocarburos a productos de la combustión, que generalmente son CO (oxidación parcial), CO₂ (oxidación completa) y agua. El proceso de oxidación comienza a temperaturas superiores a 1300 K debido a la microestructura tipo grafitica que dota a las partículas de una gran resistencia a la oxidación. En la Figura 2.6 podemos observar el proceso de oxidación del hollín.

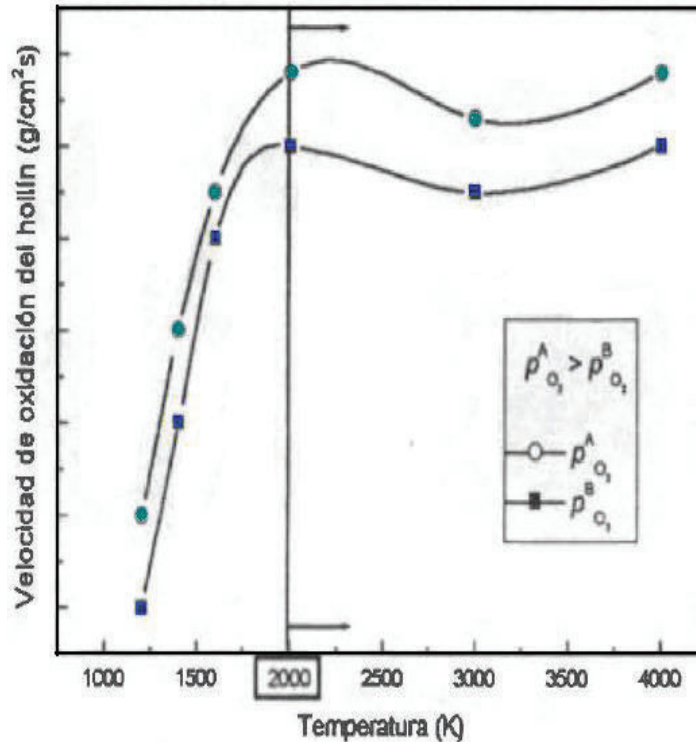


Figura 2.6. Velocidad de oxidación del hollín en llamas.
(F. Payri y M. Desantes, 2011)

2.6.2.5. Adsorción.- Es el proceso donde las moléculas de un gas o vapor se adhieren a la superficie de una partícula sólida. En el caso de los gases de escape de los vehículos, la adsorción se da por los compuestos orgánicos volátiles sobre las partículas existentes en las emisiones, lo que afecta al tamaño y masa de las emisiones de MP, mientras que disminuye el contenido de hidrocarburos gaseosos en las emisiones.

2.6.2.6. Aglomeración y Agregación.- Estos dos conceptos son ligeramente diferentes. La agregación es la unión de partículas mediante fuerzas cohesivas atómicas o moleculares produciendo agregados lineales de gran estabilidad. La aglomeración es la unión mediante fuerzas de cohesión débiles como por ejemplo la tensión superficial. En la Figura 2.7 se muestra la formación y distribución del tamaño de la partícula.

2.6.2.7. Condensación y Evaporación.- Condensación es el proceso que se da por la nucleación y adsorción cuando hay presentes partículas estables y altos niveles de saturación. La condensación y evaporación puede afectar el tamaño y la masa del MP.

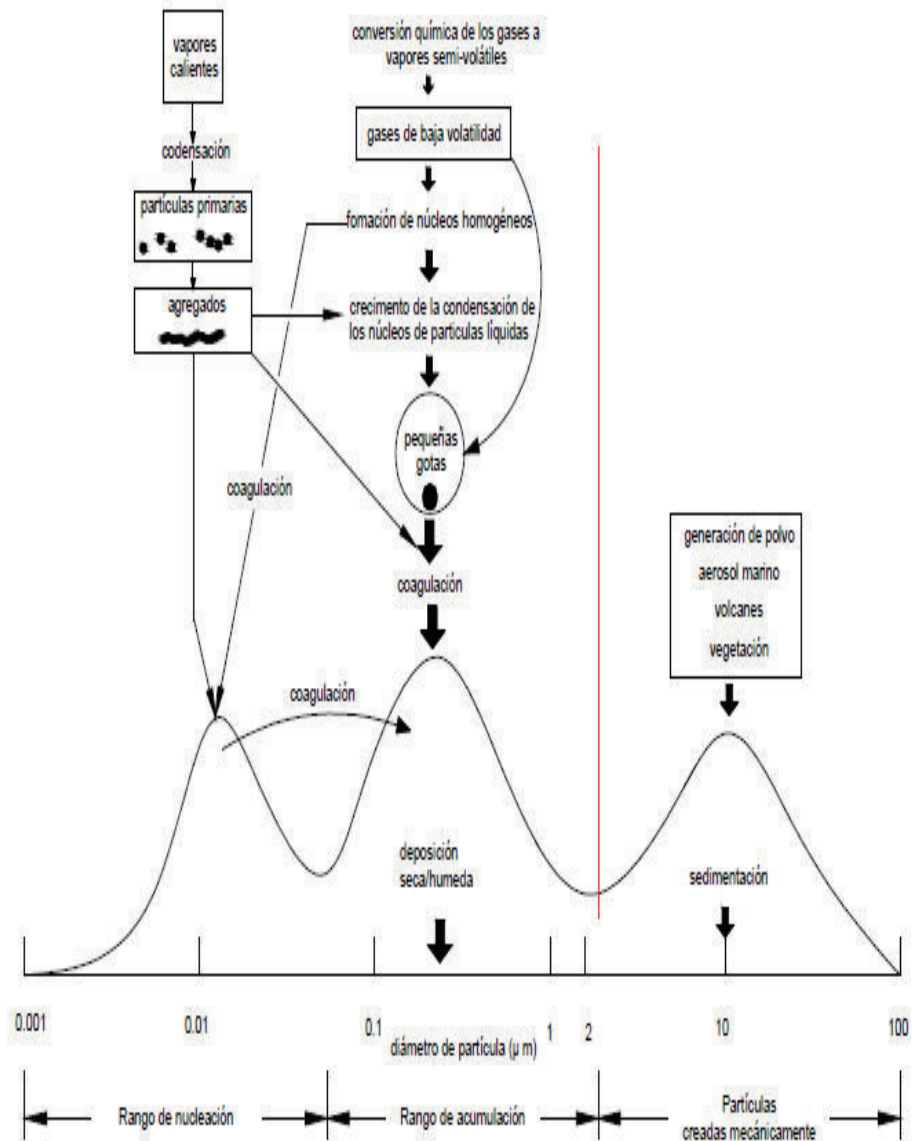


Figura.2.7. Proceso de formación y distribución de tamaño de partícula.
(Fuente: Mayer. A, 2005)

b) Formación de partículas y composición

A lo largo del conducto de escape se produce una reducción de temperatura del gas y los agregados o aglomerados de hollín pueden verse sometidos, bajo estas circunstancias, a fenómenos de adsorción y de condensación de hidrocarburos ya sea por condensación superficial o como nucleación de gotas líquidas. Sin embargo, estos procesos ocurren mayoritariamente en el proceso de dilución (proceso que define a las partículas) en función de cómo se realice este proceso y las características del gas de escape estos fenómenos pueden acentuarse o verse reducidos.

c) Distribución y tamaño de partículas

Sólo la masa total de partículas se encuentra limitada, el tamaño de las mismas es incluso más importante debido a la distinta naturaleza y comportamiento que las partículas pueden tener según su tamaño, en general se acepta que las partículas más pequeñas son más peligrosas (Payri. F y Desantes. M, 2011). Se puede definir tres modos de distribución de partículas: Modo de Nucleación, Modo de Acumulación y Partículas Gruesas. En La Figura 2.8 se observa la distribución del tamaño de partículas.

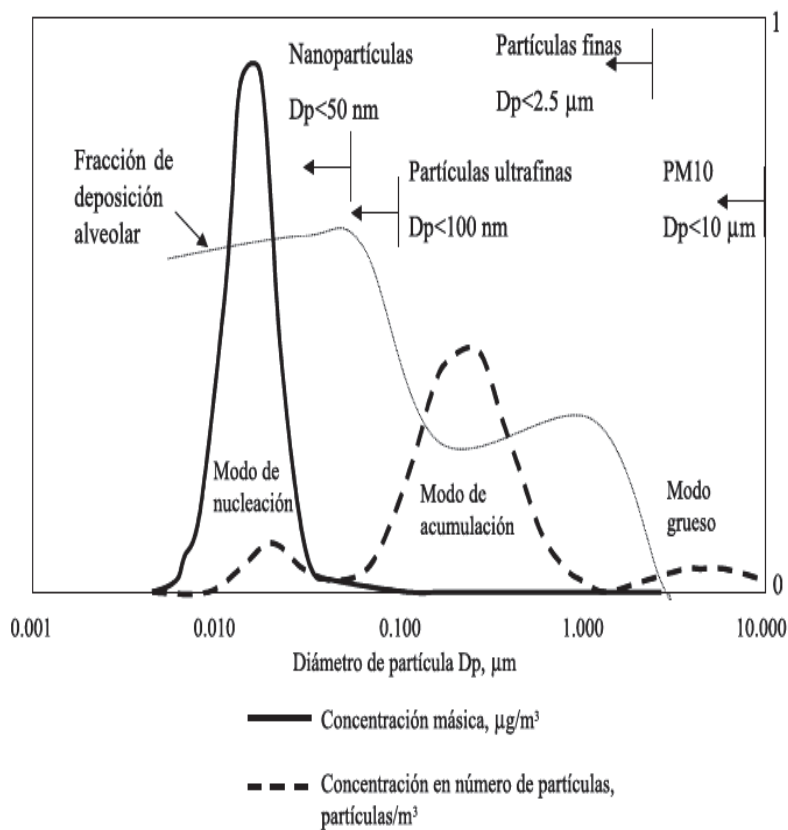


Figura 2.8. Distribución de tamaño de Partículas.
(Fuente: Kittelson ,1997)

2.6.3. Formación química de las partículas

La formación primeramente es desde el combustible diésel. Ya que el proceso de formación empieza con las moléculas que contiene el combustible esto es de 12 a 22 átomos de carbono y una relación H/C de cerca de 2 y que alcanzan finalmente un pequeño diámetro de aproximadamente 100 nanómetros. Cada Compuesto de esferas de 20 a 30 nm contiene 10^5 átomos de carbono y una relación H/C de cerca de 0,1 (John. Heywood, 1988).

Las partículas están compuestas por dos fracciones fácilmente separables mediante un proceso de extracción química, el tiempo que se requiere para la formación de las partículas sólidas de una fracción del combustible está en el orden de los milisegundos, las partículas se componen por dos fracciones separables mediante un proceso de extracción química:

- Una porción insoluble que puede tener compuestos orgánicos e inorgánicos denominada comúnmente *ISF*, en la que existe principalmente el carbono (hollín), así también tiene otros compuestos, como los sulfatos, sales, agua y materiales inorgánicos procedentes de aditivos.
 - Los sulfatos son derivados de compuestos de sulfuros del combustible y en cantidad menor del aceite lubricante. El sulfato es emitido por el motor como anhídrido sulfuroso (SO_2) y en menor cantidad anhídrido sulfúrico (SO_3). Los sulfatos son formados de la reacción entre SO_3 y H_2O .
- Una porción orgánica soluble (*SOF*), denominada así por su solubilidad en el disolvente orgánico se utiliza en la extracción, se compone por hidrocarburos y otros compuestos orgánicos procedentes directamente del combustible y del aceite lubricante, o bien de reacciones en el interior de la cámara de combustión en el caso del combustible inyectado. Se puede observar la distribución de *ISF* y *SOF*, en la siguiente Figura 2.9.

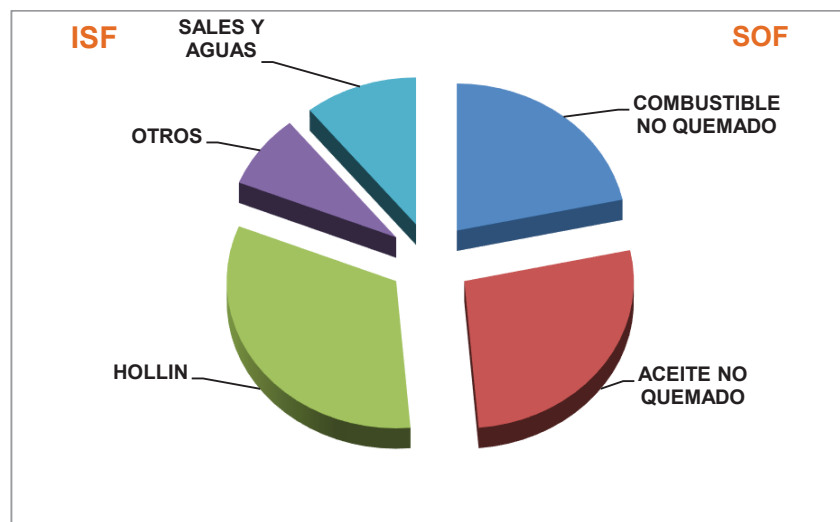


Figura 2.9. Composición típica de las partículas.
(Fuente: Payri y Desantes ,2011)

2.6.4. Caracterización física del MP

Para caracterizar físicamente el MP se tiene:

- Tamaño de Partícula y
- Conteo de partículas.

2.6.4.1. Caracterización física del MP por tamaño de partícula:

Las partículas por su tamaño se dividen en MP₁₀ y MP₂₅ (con diámetros equivalentes o menores que 10 μm o 2.5 μm respectivamente).

Mientras menor sea el tamaño de partícula mayor es la penetración en el ser humano y por tal razón, los efectos dañinos son mayores.

2.6.4.2. Caracterización física por conteo de partículas:

La caracterización física por conteo de partículas se puede presentar en dos casos:

- Monodispersión: Cuando se tiene una concentración de partículas con un diámetro fijo y cierta densidad.
- Polidispersión: Cuando se tiene una concentración de partículas de diferentes diámetros y cierta densidad. (Alvarado M, 2001).
-

2.6.5. Métodos para la medición de MP

La medición del MP a la salida de los gases de escape se realiza por medio de dos métodos:

- recolección
- in-situ.

2.6.5.1. Método de recolección.- Este método se basa en que las partículas que atraviesan un filtro o extractor para luego ser analizadas.

Este método tiene varias técnicas de análisis entre las que están:

- Químico
- Microscopio de electrones
- Microscopio de luz
- Gravimetría
- Espectroscopia

2.6.5.2. Método In-situ.- En esta categoría las partículas son analizadas en sitio, esto quiere decir en el medio que son emitidos. Las mediciones en tiempo real si son posibles y se pueden alcanzar tiempos de resolución menores a un segundo, con ciertas técnicas. Estas técnicas son frecuentemente basadas en la interacción de las partículas con el gas circundante (difusión, convección forzada, condensación) o con luz (dispersión de luz, absorción y extinción).

2.6.6. Principios físicos utilizados para la medición de MP

El movimiento de una partícula en el ambiente gaseoso.

Las aplicaciones de medición se enfocan en el movimiento acelerado de las partículas. La Ecuación 2.3 general para el movimiento de una partícula del gas en el ambiente es:

$$\vec{F} = \frac{\vec{v}}{b} + m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde:

m : Masa de partícula en movimiento (Kg).

\vec{F} : Fuerza que actúa sobre la partícula (N).

\vec{v} : Velocidad de movimiento de la partícula (m/s).

b : Constante de movimiento de la partícula.

$\frac{d\vec{v}}{dt}$: Aceleración de la partícula en movimiento (m/s²).

Para un movimiento uniforme se tiene una velocidad constante, por lo tanto, Ecuación 2.4:

\vec{v} : Constante.

$$\vec{v} = \vec{F} b \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Diferentes tipos de fuerzas externas dirigidas son aplicadas para diferentes propósitos de medidas, por ejemplo, fuerza eléctrica actuando en un campo, fuerza de inercia.

Se tiene una clase de movimiento para cada tipo de fuerza que actúe. Por ejemplo:

- Fuerza de gravedad \Rightarrow Movimiento de sedimentación.

- Impacto debido al movimiento térmico de las partículas \Rightarrow Movimiento de difusión.
- Fuerza eléctrica actuando en el campo \Rightarrow Movimiento de partículas cargadas en un campo eléctrico.
- Fuerza de inercia \Rightarrow Impacto.

2.6.7. Principio de la dispersión de luz

El método de la dispersión angular de la luz se basa en la medición de la luz dispersada en diferentes ángulos, para lo cual se utilizan un láser y un goniómetro. Ya que al incrementarse la concentración de la muestra es menor el recorrido de la luz en la cubeta, con lo que se minimizan los efectos de la dispersión por múltiples partículas, y además, debido a que las partículas contaminantes que pudieran aparecer en la muestra (como polvos) son por lo general relativamente grandes, éstas tienden a dispersar hacia ángulos próximos a 0° , por lo que la intensidad detectada en ángulos como 170° procede prácticamente solo de las partículas más pequeñas presentes en la muestra cómo se observa en la Figura.2.10.

El equipo para medir el MP 2.5 que se emplea para el presente estudio se denomina MAHA MPM-4 mismo que utiliza un principio de medición por dispersión de luz el cual se detalló anteriormente.

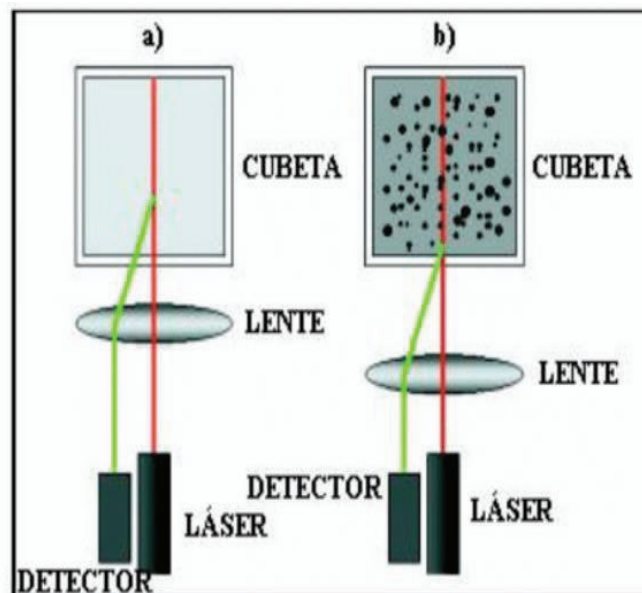


Figura.2.10. Efecto de la concentración en la retrodispersión no invasiva.
a) Muestra diluida. b) Muestra concentrada
(Fuente: Javier Martínez, 2006)

2.6.8. Técnicas de medición de MP

Se han creado diferentes formas y técnicas de medición de MP, las más comunes son las siguientes:

- Medidor integral de dispersión y extinción de luz
- Opacímetro
- Sensor fotoacústico
- Incandescencia por láser inducido
- Medida de masa con método de filtrado
- Determinación de la masa de la partícula por análisis de gases, etc.

2.7. Opacidad

Es el grado de reducción de la intensidad de la luz visible que ocasiona una sustancia al pasar aquella a través de esta (NTE INEN 2207:2002). La opacidad es un parámetro de fácil medición que influye en la determinación de la calidad del aire.

2.7.1. Medición de la visibilidad o de la opacidad

La visibilidad está definida como la distancia máxima que permite al ojo humano apreciar un objeto con el fondo existente. Esta apreciación potencial entre objetos y fondo está definida como la diferencia de luminosidad entre ambos (objeto y fondo) según la Ecuación 2.5 (Halbach. Gunter, 2012).

$$C = (B_h - B_o)/B_o \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Dónde: B_h y B_o caracteriza la luminosidad del objeto y del fondo respectivamente.

Simplificando, puede decirse que la distancia normal de visibilidad es (L_v) siendo dicho valor la distancia a la cual, en un ambiente homogéneo y con un factor de contraste de (0.02), resulta posible la apreciación de un objeto negro. La relación entre (L_v) con el coeficiente de extinción (k) se puede ver en la Ecuación 2.6.

$$k = 3,9/L_v \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Según la ley de Beer-Lambert, el coeficiente de extinción (k) a lo largo de un haz de luz en un ambiente homogéneo Ecuación 2.7.

$$I = I_o(-kS) \quad \text{Ec. (2.7)}$$

Donde I e I_0 corresponden a la intensidad de la luz al comienzo y al final de un recorrido cuya longitud es S . Resulta pues un factor de extinción Ecuación 2.8

$$K = \frac{S}{I \ln S} / I_0 \quad \text{Ec. (2.8)}$$

2.7.2. Opacímetro

El hollín es la principal emisión contaminante de los motores diésel. El nivel de emisión de este se mide a través del Opacímetro. En la Figura 2.11 se puede observar esquemáticamente un equipo opacímetro, el cual es un equipo diseñado para estimar la cantidad del hollín que emiten los motores Diésel. El Opacímetro está compuesto básicamente por tres componentes: cámara de medición, analizador y un terminal portátil. Los gases ingresan dentro de un tubo y a través de un sensor se mide la intensidad de la luz (turbiedad), para luego calcular la densidad de las partículas. El tubo tiene una fuente de luz halógena en un extremo y un receptor en el otro de tal forma que cuando no hay un gas dentro del tubo, la intensidad de luz no se ve afectada. Este valor puede ser entregado como porcentaje de Opacidad (siendo 100% totalmente nublado y 0% totalmente claro) o como un número equivalente denominado valor k .

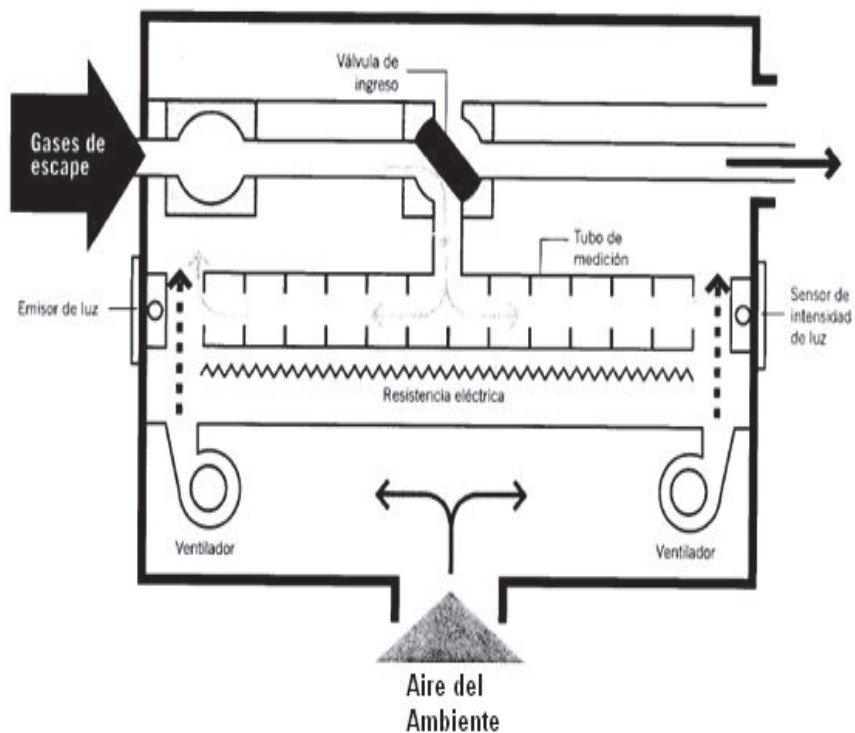


Figura.2.11. Esquema de un opacímetro.
(Fuente: SENATY)

2.7.3. Medidor por dispersión

La extinción de la luz se debe en su mayor parte a la dispersión de la luz que se produce al impactar la luz en las partículas de polvo. En la Figura 2.12 se observa la dispersión de la luz al impactar sobre un obstáculo. Los equipos por dispersión suelen trabajar por muestreo. Aspiran aire ambiente que envuelto exteriormente en una capa de aire “limpio total” pasa por la célula de medida en la cual se mide la dispersión de la luz. Los equipos basados en la medición de la dispersión si bien son medidores puntuales, tienen la ventaja frente a los de extinción que suministra directamente el valor correspondiente a la opacidad del aire muestreado y no un valor medio integrado a lo largo de algún centenar de metros. El equipo medidor por dispersión para medir la opacidad de los gases de escape en los diferentes vehículos diésel en este proyecto se utilizó un equipo opacímetro marca MAHA MDO2.

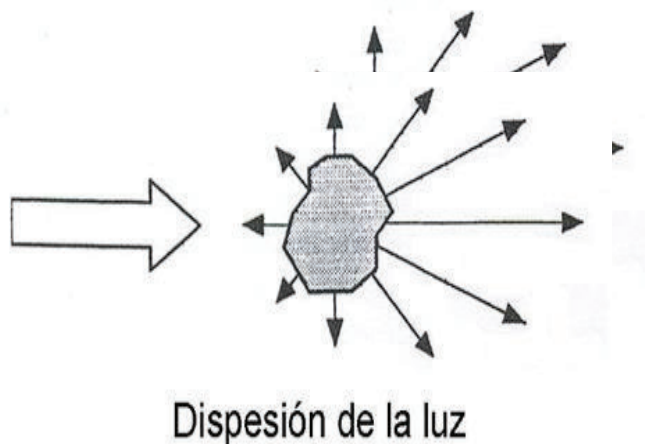


Figura 2.12. Dispersión de la luz al impactar sobre un obstáculo.
(Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Medici3n_de_la_opacidad)

En el Ecuador según los requisitos máximos de opacidad de humos para fuentes móviles de diésel con la prueba de aceleración libre (NTE INEN 2 207:2002) se tiene que, ver Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba de aceleración libre).

	%
Año modelo	Opacidad
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

(Fuente: NTE INEN 2 207:2002)

En la Figura 2.13 se puede ver los años y como ha ido disminuyendo la opacidad que se emite al ambiente.

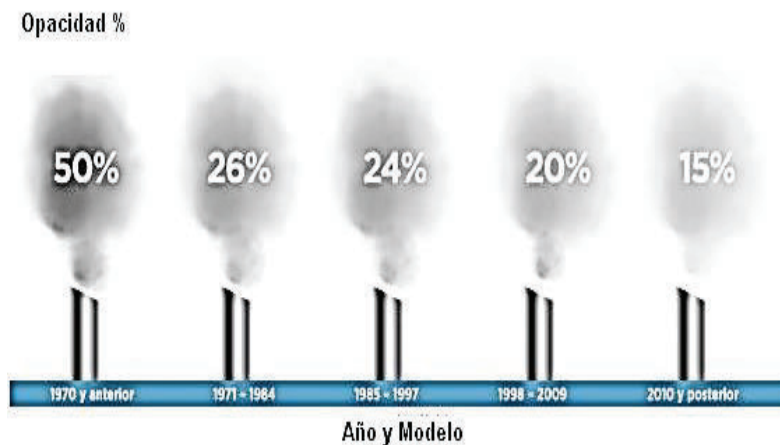


Figura 2.13. Límites máximos de opacidad permisibles para vehículos accionados con diésel. (Fuente: Secretaria del Ambiente 2012)

2.8. Efectos en la salud del material particulado que emiten los motores diésel.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el material particulado que emiten los vehículos en especial los motores a diésel tienen graves consecuencias. El abanico de los efectos en la salud es amplio, pero se produce en particular en los sistemas respiratorio y cardiovascular. Se ve afectada toda la población, pero la susceptibilidad a la contaminación puede variar con la salud o la edad. Se ha demostrado que el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición. Las pruebas epidemiológicas ponen de manifiesto efectos adversos del MP tras exposiciones tanto breves como prolongadas.

El material particulado de los motores diésel tiene mayor superficie específica, que facilita la absorción de compuestos orgánicos potencialmente cancerígenos, debido a su menor diámetro, pueden penetrar más profundo en el sistema respiratorio, alcanzando incluso a los pulmones y a la corriente sanguínea. De hecho, estas partículas han sido relacionadas con varias enfermedades e infecciones del sistema respiratorio. Al mismo tiempo que los estudios epidemiológicos han encontrado asociaciones entre PM_{10} o $PM_{2.5}$ con la mortalidad y morbilidad de la población, estudios toxicológicos han intentado explicar cuáles son los mecanismos de acción de las partículas sobre las células alveolares, su exacerbación del asma, su carcinogenicidad y mutagenicidad, entre otros efectos. Se han postulado los siguientes factores como los más relevantes:

- **Composición química.-** El MP, particularmente en la atmósfera urbana, presenta compuestos químicos de comprobada toxicidad, carcinogenicidad o mutagenicidad, dentro de los que se cuentan sulfatos, nitratos, amonio, cloro, plomo, mercurio, ácidos nítrico y sulfúrico, benceno, tolueno y compuestos aromáticos policíclicos.
- **Tamaño de partículas.-** Se ha encontrado que las partículas ultrafinas, es decir, aquellas de tamaño menor que 0.1µm (100nm) presentan una toxicidad notablemente mayor por unidad de masa que las partículas más gruesas (Donaldson et al, 1998).

Se designa como PM_{2.5} al material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2,5 micrones, así también se designa como PM₁₀ al material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones (NECA). En la Tabla 2.8 se puede observar los niveles anuales y diarios que da la OMS para material particulado.

Tabla 2.8. Guías OMS para material particulado.

MP _{2,5}	10 µg/m ³ , media anual
	25 µg/m ³ , media de 24 horas
MP ₁₀	20 µg/m ³ , media anual
	50 µg/m ³ , media de 24 horas

(Fuente: OMS 2017)

2.9. El medio ambiente en el DMQ

La contaminación proveniente de los tubos de escape principalmente de los vehículos que utilizan diésel es el primer factor de la contaminación en el aire de Quito. Los niveles de varios gases según mediciones realizadas por la Secretaria de Ambiente se mantuvieron en condiciones deseables en el 2015 teniendo que 468776 vehículos circularon en quito y en el año 2016, estaba previsto que 50.000 carros se incorporen al parque automotor. No obstante, se prevé que aumente con ello la emisión de gases contaminantes que se emiten a la atmosfera (Secretaria del Ambiente, 2015).

Las partículas PM_{2.5}, en el DMQ representan en promedio el 50% de las concentraciones totales de material particulado y la mayoría provienen, principalmente del escape de fuentes móviles, las concentraciones están relacionadas directamente con el tráfico vehicular de la ciudad y las emisiones más altas son causadas por la

quema de años viejos y pólvora durante la madrugada del primero de enero. En la Tabla 2.9 realizada por la Secretaria del Ambiente en el año 2015 se puede observar la mayor cantidad de material particulado PM_{2.5} emitida en un día y en lugares de Quito de mayor riesgo de contaminación generada por los vehículos.

Tabla 2.9. Concentraciones medias mensuales de PM_{2.5} (ug/m³) y máximos durante el año 2014.

PM _{2.5} año 2014 ug/m ³	Norma de Calidad Ambiental Nacional (ug PM ₁₀ /m ³)	Cotacollao	Carapungo	Belisario	Camal	Centro	Chillos
Promedio anual	15	17,9	15,6	16,5	21,7	17,8	16,1
Percentil 98	50	29	30	27	37	29	25
Máximo horario		242	191,94	104	497	260	64,98
		01/01/2014	10/05/2014	01/01/2014	01/01/2014	01/01/2014	18/07/2014
		3:00	12:00	9:00	2:00	2:00	4:00

(Fuente: Secretaria del Ambiente, Diagnostico Ambiental, 2015)

2.9.1. Soluciones adoptadas en el DMQ

La medida más importante tomada por el DMQ en los últimos años dentro de la reducción de emisiones es la revisión técnica vehicular (RTV). Este es un proceso obligatorio para todos los vehículos que circulan en el DMQ, sean particulares o de servicio público. La revisión técnica se ejecuta con dos finalidades; por un lado, la reducción de emisiones vehiculares que se emiten a través del tubo de escape y por otro, el incremento de la seguridad en la circulación de todos los vehículos.

En efecto, según una estimación realizada por CORPAIRE luego del primer año de aplicación de la revisión vehicular obligatoria, para el caso del monóxido de carbono se consiguió una reducción de entre el 15 y el 35% de las emisiones totales, en comparación con el escenario en el que no hubiese sido aplicada la medida. Para el caso de los hidrocarburos no combustionados, esa disminución fue estimada entre el 21 y el 36% (CORPAIRE, 2004). Adicional a la revisión técnica vehicular se implementó el pico y placa con esta medida se redujo también los porcentajes de los contaminantes.

El Municipio de Quito, a través de la Secretaría de Ambiente y la Agencia Metropolitana de Tránsito, ha inspeccionado cerca de 1363 vehículos desde que iniciaron los controles aleatorios de emisiones el pasado 20 de enero hasta el 29 de febrero del 2017. Durante estas revisiones se evidenció que: el 61,26% (835 unidades) son buses de transporte público, el 20.10% (274 unidades) son vehículos particulares, y el resto, es decir, el 18.64% (254 unidades) son vehículos escolares. De este universo, aproximadamente el 44% han sido citados por diversas razones. Según el promedio, los buses de transporte público han tenido una mayor incidencia en ser citados. En su mayoría, es decir el 73% de las unidades fueron citadas por exceder los límites permitidos de opacidad.

Los controles aleatorios a vehículos de transporte público a diésel son realizados de forma sistemática con el objetivo de realizar controles a todas las operadoras de transporte que circulan dentro del DMQ. Es por esto que es necesario reforzar el control en este tipo de unidades, en conjunto con la ciudadanía y que los usuarios de transporte deben exigir a los conductores que realicen la revisión vehicular en el caso de evidenciar alto contenido de emisiones de gases. (Secretaria del Ambiente. DMQ, 2017). En la Figura 2.14. Se muestra los controles que hace la AMT en lo que se refiere a mediciones de opacidad.



Figura 2.14. Medición de opacidad de bus de transporte público.
(Fuente: Secretaria del Ambiente 2017)

3. METODOLOGIA DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

El presente capítulo detalla las diferentes pruebas ejecutadas para el avance de este proyecto con combustible diésel y la mezcla diésel – keroseno (D20K). En primer lugar, se explican los procedimientos desarrollados para determinar las propiedades físicas y químicas que permiten definir los combustibles puros y las mezclas. Estas propiedades físico – químicas se evalúan mediante pruebas de laboratorio normalizados por NTE INEN. Además, muestra también los equipos manipulados en la medición de emisiones y subsiguientemente se da a conocer el protocolo de pruebas utilizado para las pruebas estáticas de emisiones de opacidad y material particulado $MP_{2.5}$ en los vehículos con motor diésel utilizados para el presente estudio.

3.1. Propiedades físico - químicas de la mezcla diésel con queroseno

3.1.1. Miscibilidad de la mezcla

Se denomina miscibilidad a la propiedad que poseen ciertos líquidos para mezclarse en proporciones volumétricas, formando una solución homogénea. La mayoría de los combustibles e inflamables líquidos son apolares, es decir no hay zonas con carga en sus moléculas. Por ejemplo: la gasolina (bencina), el queroseno (parafina), el bencol, el petróleo, etc. No se mezclan con el agua (son inmiscibles) los combustibles e inflamables líquidos apolares, como la gasolina, el queroseno, el petróleo, etc.; por regla general lo semejante disuelve lo semejante, es decir un soluto apolar (Kérex) se disuelve perfectamente en un solvente apolar (Diésel). (Franco Guarnizo Anderson, 2008).

Al añadir en un recipiente que contiene diésel puro una concentración volumétrica de queroseno al 20%, se observa que independientemente de la cantidad de Kérex que se agregue la solución líquida obtenida permanece como una sola fase de manera homogénea. Por lo tanto, estos dos combustibles son miscibles formando la mezcla Diésel - Queroseno D20K, debido a que la fuerza de atracción entre las moléculas del mismo líquido es menor a la fuerza intermolecular con la que se atraen las moléculas soluto – solvente (Castellan, 1987).

En el presente proyecto se investiga un tipo de mezcla Diésel - Queroseno en proporción volumétrica identificada mediante la siguiente codificación: D20K, esta designación revela la cantidad volumétrica en porcentaje 20% de queroseno presente en la mezcla.

Se elabora la mezcla Diésel – Queroseno D20K al saber que las propiedades resultantes de la mezcla dependen únicamente del porcentaje volumétrico con que participan los diferentes componentes y no de la cantidad absoluta obtenida entre ellos (Vara, 2008).

3.1.2. Ensayos para determinar las propiedades físico - químicas de la mezcla

Los análisis experimentales son desarrollados y fundamentados en base a las normas ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales) y sus adecuadas adaptaciones a las normas INEN (Servicio Ecuatoriano de Normalización). Debido al extenso uso tanto en la investigación como en la industria del motor se seleccionó las normas ASTM. Se realizan los análisis experimentales en base a tres muestras de combustible identificadas como: diésel, queroseno y una mezcla Diésel – Queroseno denominada D20K, misma que contiene 20% de queroseno en el diésel.

La diferencia entre las propiedades físicas y las químicas se deben conocer, mismas que se detalla a continuación:

- **Las propiedades físicas.-** son aquellas cuyas características son medibles sin afectar la composición química de la sustancia.
- **Las propiedades químicas.-** son aquellas que requieren de una reacción química para poder establecer el valor de su propiedad.

Para la personalización del diésel, queroseno y la mezcla D20K entre estos, se efectúan distintas pruebas de laboratorio, dichas pruebas han sido elegidas en base a los ensayos que se van a ejecutar en los vehículos de pruebas.

En el Laboratorio de Petróleos y Termodinámica de la Facultad de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional, se efectúan los análisis de las propiedades físicas y químicas del diésel, queroseno y la mezcla D20K. En la Tabla 3.1 se muestra las propiedades físicas y químicas examinadas con la norma de ensayo concerniente.

Tabla 3.1. Propiedades físico - químicas a realizarse.

	Propiedades	Norma Método
Propiedades físicas	Densidad relativa a 15.6 °C / 15.6 °C	ASTM D-1298
	Índice de cetano calculado	INEN1495:2013(R)
	Destilación: Temperatura del 90%	INEN –ISO 3405: 2014 (1R)
	Viscosidad cinemática 40 °C	INEN 810:2013(1R)
Propiedades químicas	Contenido de azufre	ASTM D-4294
	Poder calórico superior	ASTMD-240
	Punto de inflamación	INEN 1493:2013 (2R)

(Fuente: Propia, 2017)

3.2. Equipos

Para la toma de datos de emisiones contaminantes producto de la combustión en motores diésel que se desea experimentar para combustible diésel y la mezcla diésel – keroseno (DK20), se utilizan los equipos y materiales con los que cuenta el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares “CCICEV”, los mismos que se detallan a continuación:

- 5 Vehículos de pruebas,
- 1 Sistema de almacenamiento de combustible externo,
- 1 Medidor de material particulado fino MP_{2.5},
- 1 Opacímetro.

3.2.1. Vehículos de pruebas

Los vehículos a utilizar para la ejecución de las pruebas se detallan en las Tablas 3.2 y 3.3:

Tabla 3.2. Especificaciones vehículos de prueba.

Vehículo	PMA-1091	PMA-1102	PMA-7605	EEl-1274	PPC-2147
Marca:	HINO	HINO	HINO	HINO	MAZDA
Serie:	500	500	500	300	2.5
Modelo:	GD	GH	GH	DUTRO	BT-50
Denominación:	1224	1726	1726	816	DIESEL

(Fuente: Propia, 2017)

Las características técnicas de los vehículos se indican en la Tabla 3.3

Tabla 3.3. Características técnicas de los vehículos de prueba seleccionados.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS VEHÍCULOS DE PRUEBA					
DETALLE	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5
Placa:	PMA-1091	PMA-1102	PMA-7605	EEL-1274	PPC-2147
Marca:	HINO - Serie 500	HINO - Serie 500	HINO - Serie 500	HINO - Serie 300	MAZDA
Modelo:	GD	GH	GH	DUTRO	BT-50
Tipo:	Camión	Wincha	Volqueta	Camión	Camioneta
Año:	2009	2009	2016	2015	2010
Emisión:	EURO II	EURO II	EURO III	EURO III	N/A
Kilometraje:	100700	169200	26125	45700	139250
Cilindrada	7684 cc.	7684 cc.	7684 cc.	4009 cc.	2500cc
Tipo alimentación Carburación / Iny. Electrónica	Inyección, bomba en línea con 6 inyectores, Diésel turbo Intercooler, 24 válvulas OHC	Inyección, bomba en línea con 6 inyectores, Diésel turbo Intercooler, 24 válvulas OHC	Inyección, Sistema Common riel con 6 inyectores, Diésel turbo Intercooler, 24 válvulas OHC	Inyección, Sistema Common riel con 4 inyectores, Diésel turbo Intercooler, 16 válvulas OHC	Inyección, bomba distribuidora con 4 inyectores, 8 válvulas OHC
Potencia Máxima:	260 HP @ 2500 RPM	261 HP @ 2500 RPM	260 HP @ 2500 RPM	150 HP @ 2800 RPM	141 HP @ 3500 RPM
Par motor máximo:	76 KgM @ 1500 RPM	77 KgM @ 1500 RPM	76 KgM @ 1500 RPM	420 KgM @ 1400 RPM	330Nm @ 1.800RPM
Relación de compresión:	18:1	18:1	18:1	18:1	18:1

(Fuente: Mavesa, 2017)

A continuación, se exponen las unidades utilizadas para las diferentes pruebas.



Figura 3.1. Vehículo de prueba PMA-1091
(Fuente: EMMOP-Q, 2009)



Figura 3.2. Vehículo de prueba PMA-1102
(Fuente: EMMOP-Q, 2009)



Figura 3.3. Vehículo de prueba PMA-7605
(Fuente: EMMOP-Q, 2016)



Figura 3.4. Vehículo de prueba EEI-1274
(Fuente: EP Petroecuador, 2015)



Figura 3.5. Vehículo de prueba PPC-2147
(Fuente: Grupo Mavesa, 2010)

3.2.2. Sistema de almacenamiento externo para combustible

Debido a que las pruebas se van a realizar en cinco vehículos diferentes, es importante mencionar que es recomendable instalar un sistema de almacenamiento de combustible externo, con la finalidad de que se consiga cambiar de manera cómoda el combustible diésel o la mezcla diésel – keroseno (DK20), sin necesidad de tener que desocupar el tanque de combustible en los vehículos. Dicho sistema externo está constituido por un tanque de almacenamiento, una salida para abastecer de combustible al motor, y una entrada para el retorno. En la Figura 3.6 se indica la adaptación efectuada para cada uno de los modelos utilizados en el presente proyecto.

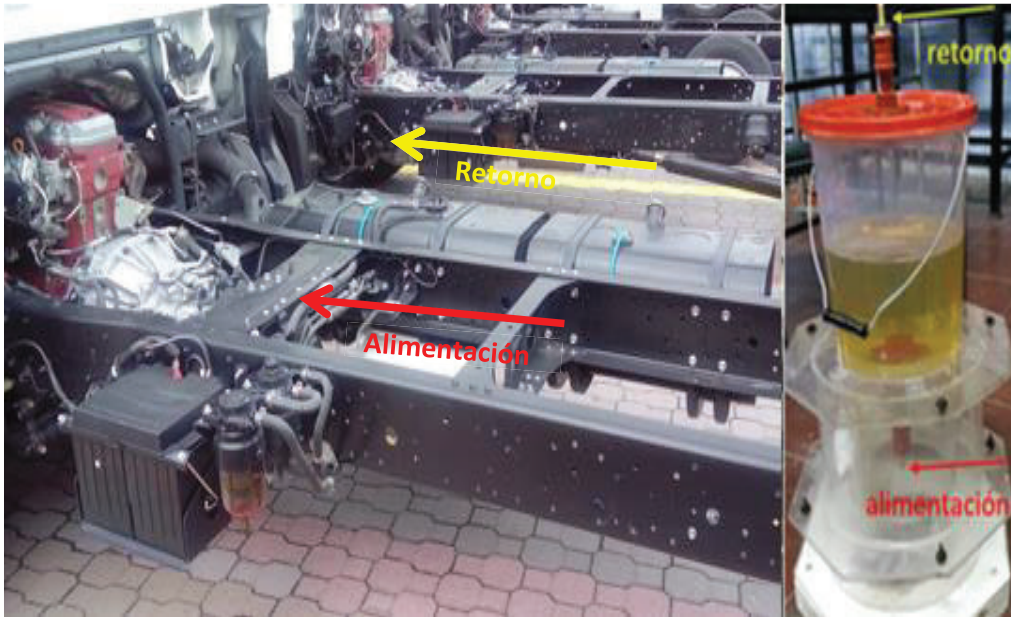


Figura 3.6. Adaptación de tanque externo de combustible en modelos serie 300.
(Fuente: Propia, 2017)

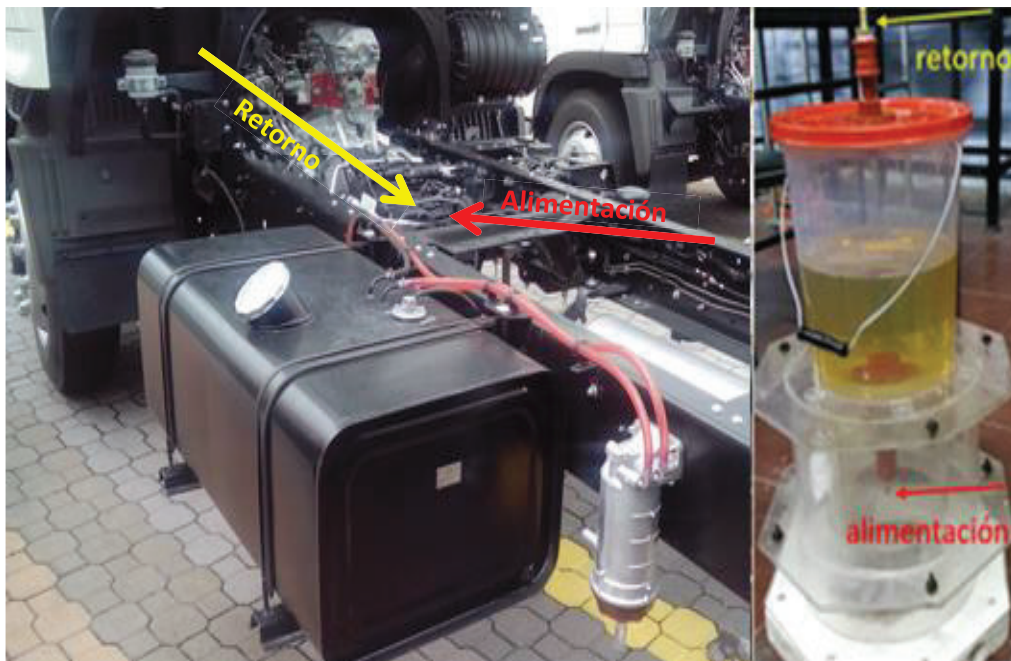


Figura 3.7. Adaptación de tanque externo de combustible en modelos serie 500.
(Fuente: Propia, 2017)



Figura 3.8. Adaptación de tanque externo de combustible en camionetas.
(Fuente: Propia, 2017)

3.2.3. Medidor de material particulado fino MP_{2.5}

El material particulado será calculado con el equipo marca MAHA MPM 4M con el cual se desarrollarán las respectivas pruebas en los diferentes vehículos, dicho equipo realiza mediciones en tiempo real de la concentración de material particulado (Total Carbono [TC] o Carbono Elemental [EC]), los resultados de las pruebas se muestran inmediatamente después de completarlas, las mismas se ven reflejadas en forma gráfica en mg/m³ en función del tiempo mediante una interface hacia un computador. En la en la Tabla 3.4 y en la Figura 3.9 se detalla las especificaciones técnicas del equipo.

Tabla 3.4. Especificaciones técnicas del medidor de partículas MPM 4M.

ESPECIFICACIONES DEL MEDIDOR DE PARTÍCULAS		
DETALLE	UNIDAD	VALOR
Modelo	-	MPM-4M
Principio de medición	-	Dispersión de luz laser
Dimensiones	mm	550x245x240
Alimentación	V	12 DC
Potencia media absorbida	W	25
Tiempo de calentamiento	min.	10
Rango de medición	mg/m ³	0.1-400
Software	-	MPM View

(Fuente: Maha, 2010)

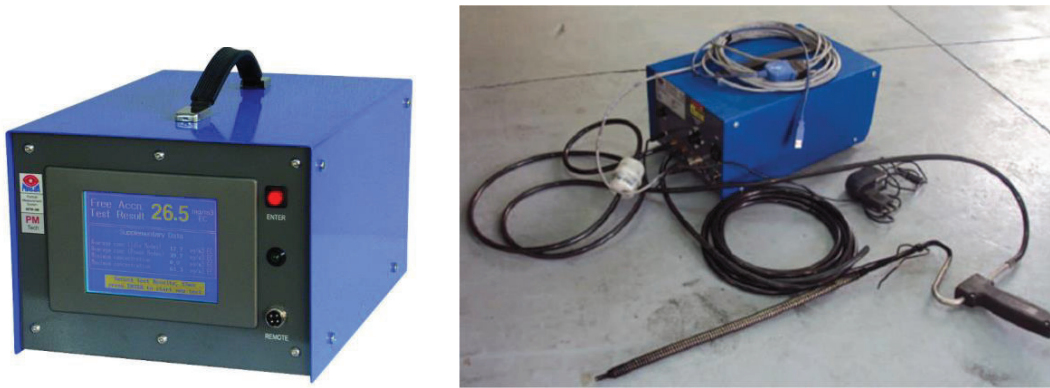


Figura 3.9. Medidor de partículas MPM-4M
(Fuente: Maha, 2010)

3.2.4. Opacímetro

Para evaluar la opacidad de los gases de escape en los diferentes vehículos se utiliza un equipo opacímetro MAHA MDO2, el cual realiza la diagnosis de la opacidad de los gases mediante corriente de flujo parcial con libre aceleración o bajo carga del motor, además ejecuta la captación instantánea o continua de los valores medidos, dicho equipo está constituido de dos elementos principales: el opacímetro (instrumento de medición) y un terminal de mano con una impresora de datos para la protocolización gráfica y numérica de los resultados de medición. La medición la efectúa mediante el procedimiento de muestreo de descargas parciales en una cámara cerrada, evaluando el grado de obscuridad de los gases de escape generados por el motor diésel.

En la Tabla 3.5 y Figura 3.10 se muestran las especificaciones técnicas del opacímetro.

Tabla 3.5. Especificaciones técnicas del opacímetro MDO2 LON.

ESPECIFICACIONES DEL OPACÍMETRO		
DETALLE	UNIDAD	VALOR
Modelo	-	MDO2 LON
Principio de medición	-	Absorción fotométrica
Dimensiones	mm	550x245x240
Alimentación	V	230(50Hz)
Conexión a la red	V	dic-24
Potencia media absorbida	W	110
Tiempo de calentamiento	min.	3
Rango de medición de opacidad	%	0-100
Rango de medición de coef. absorción	1/m	0-9.99
Rango de medición de rpm	rpm	400-8000
Software	-	Eurosystem V6.07

(Fuente: Maha, 2010)



Figura 3.10. Opacómetro, MAHA MDO2
(Fuente: Maha, 2010)

3.3. Procedimientos

3.3.1. Medición de emisiones

Mediante una prueba estática de aceleración libre se efectúa de manera simultánea la medición de partículas $MP_{2.5}$ y opacidad. El procedimiento desarrollado se describe a continuación:

1. Encender los equipos MPM-4M y el opacómetro MAHA MDO2 para la medición de material particulado $MP_{2.5}$ y opacidad respectivamente.
2. *Fugas*: Se revisa todo el sistema de escape de cada una de las unidades utilizadas en este proyecto, con la finalidad de verificar que no presenten fugas durante la evacuación de los gases de escape producto de la combustión.
3. *Temperatura*: Los motores de combustión interna MCI diésel de todas las unidades deben encontrarse con la temperatura óptima de trabajo, misma que obtiene durante su normal funcionamiento de operación.
4. *Líneas de combustible*: Desconectar las cañerías de entrada de combustible desde el tanque al filtro y mantener encendido el motor para que se consuma el diésel existente en el sistema de combustible por un tiempo prudencial (no permitir que se apague el motor), durante este tiempo el retorno permanece conectado al tanque de forma original.
5. Apagar el motor de la unidad.

6. *Líneas de combustible*: Conectar los acoples y/o aditamentos necesarios con el recipiente externo que contiene el combustible del presente estudio a la línea de entrada de combustible al filtro y desconectar el retorno al tanque para proceder a colocar acoples y manguera a un recipiente especial que contendrá los productos utilizados en este proyecto.
7. Encender nuevamente el motor de la unidad.
8. Pisar el acelerador de manera que se llegue hasta las revoluciones de corte por al menos tres veces seguidas, para de esta manera depurar el sistema de escape del vehículo.
9. Instalar las sondas del medidor de partículas y del opacímetro a la salida del tubo de escape del vehículo, asegurarse que se encuentren sujetas correctamente.
10. Pisar el acelerador del vehículo de manera constante hasta que se produzca el corte de combustible por parte de la computadora es decir aproximadamente 2900 rpm, y soltar el acelerador para que el motor regrese a ralentí.
11. Realizar el procedimiento anterior las veces que se desee evaluar el material particulado MP_{2.5}.
12. Mediante el software del equipo MPM-4M se obtienen los resultados producto de la medición y están representados de forma gráfica y los resultados del opacímetro se imprimen desde el control de mando del MAHA MDO2, se debe considerar que la desviación de al menos tres valores no sea mayor al 10%, además que su secuencia no debe ser decreciente.
13. Apagar el motor de la unidad.
14. Repetir el procedimiento desde el punto 5 una vez que se haya cambiado el combustible diésel o la mezcla diésel – keroseno (DK20) del recipiente externo.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este capítulo se describen todos los resultados acerca de las propiedades físico-químicas obtenidos en laboratorio de los combustibles: diésel, queroseno y la mezcla de estos dos, en un porcentaje de 80% de diésel con 20% de queroseno denominada "D20K", se presentan también los resultado de las pruebas estáticas de opacidad y material particulado MP_{2.5} realizadas en cada uno de los vehículos (cinco) utilizados en el presente estudio realizado en el CCICEV , ayudados con los equipos y procedimientos descritos en el Capítulo 3, utilizando diésel puro y la mezcla D20K.

4.1. Propiedades Físico – Químicas del combustible

La caracterización del combustible a utilizar se realizó en el laboratorio de Petróleos de Ingeniería Química de la EPN, las muestras corresponden a diésel, queroseno y una mezcla de diésel con un 20% de queroseno en proporción volumétrica denominada D20K, las propiedades medidas en el combustible a utilizar en los vehículos de prueba son: Densidad, Índice de Cetano, Destilación, Viscosidad, Agua y Sedimentos, Contenido de Azufre y Poder Calorífico.

En las Tabla 4.1 y 4.2 se detalla los valores de las propiedades analizadas, en donde se observa que los valores de las propiedades físicas y químicas varían al hacer la mezcla entre los dos combustibles diésel -queroseno. La variación de las propiedades mencionadas se puede apreciar de mejor manera mediante diagramas de barras, los mismos que son analizados a continuación considerando además los criterios presentados por The Associated Octel Company Limited.

Tabla 4.6. Propiedades Físicas de los combustibles.

Propiedades	Unidad	Diésel	D20K	Kerosene
Densidad relativa a 15.6 °C /15.6 °C	g/cm ³	0.847	0.838	0.808
Índice de cetano calculado	--	51.9	52	40.6
Destilación: temperatura del 90%	°C	347	344	242
Viscosidad cinemática 40 °C	mm ² /s	4.154	3.917	1.481
Agua y sedimentos	%	<0.05	<0.05	

(Fuente: Laboratorio de Petróleos y Termodinámica de la Facultad de Ingeniería Química E.P.N., 2017)

4.1.1. Densidad relativa

En la Figura 4.1 se puede observar que la densidad relativa de la mezcla D20K disminuye con respecto a la densidad del diésel. Maghbouli A et al. En su estudio indican que debido a la disminución de la densidad en el combustible al mezclar diésel con biodiesel se mejora la atomización del mismo y la combustión presenta una reducción de emisiones de CO, además las dispersiones de densidad de los combustibles repercuten en el rendimiento (potencia del motor) y las emisiones (gases de la combustión) generadas, así como también en la economía del combustible y potencia del motor.

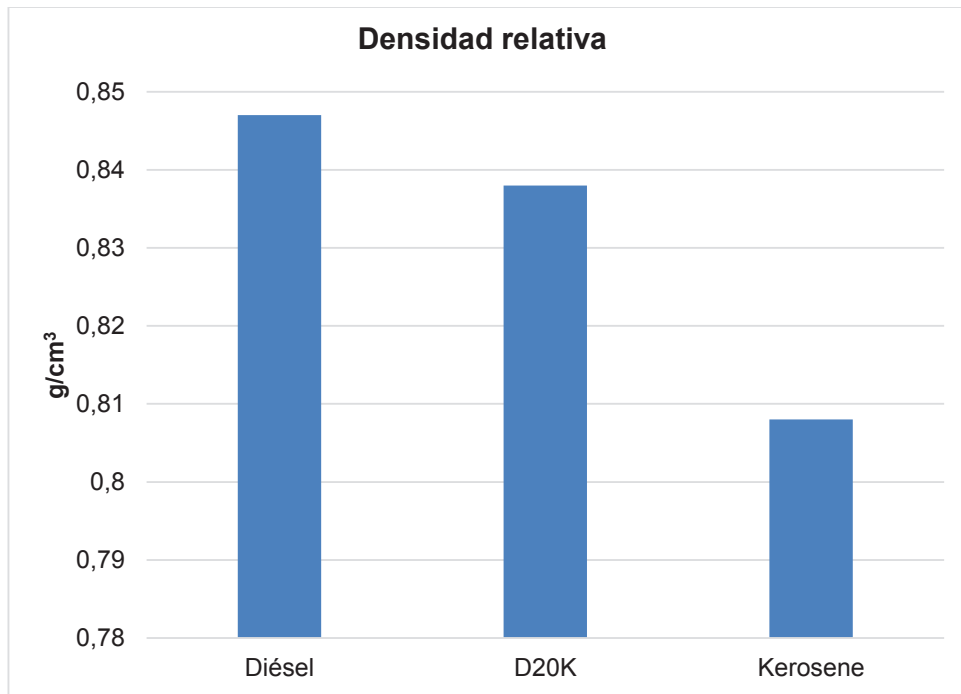


Figura 4.1. Densidad relativa
(Fuente: Propia, 2017)

4.1.2. Índice de cetano calculado

En la Figura 4.2 se observa que el índice de cetano del diésel es aproximadamente igual al índice de cetano de la mezcla D20K, superando al valor del índice de cetano del queroseno. En el Capítulo 2 se describe que el índice de cetano es un modelo de predicción del número de cetano y esto a su vez determina que la variación del número de cetano influencia directamente en el funcionamiento. Es decir, cuanto mayor es el número de cetano menor es el tiempo de retraso, y por tanto menor la cantidad de combustible premezclado que se quema (lo que origina gradientes de presión elevados, y en el extremo, marcha dura), así también Fayyazbakhsh A, 2013,

afirma que al elevar el número de cetano el motor disminuirán las emisiones de hollín lo que podría verse reflejado en una disminución de material particulado; además se puede afectar el encendido en las mañanas, la durabilidad del motor, la emisión de contaminantes, el ruido del motor, la economía del combustible (alto consumo) y la potencia.

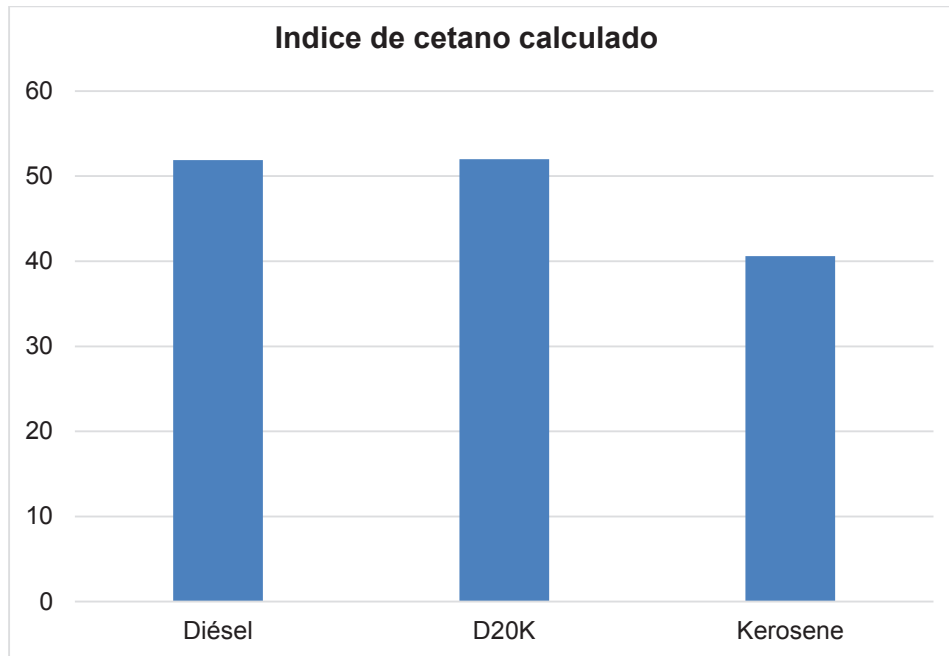


Figura 4.2. Índice de cetano calculado
(Fuente: Propia, 2017)

4.1.3. Viscosidad cinemática

En la Figura 4.3 se muestra una disminución de la viscosidad cinemática del diésel en comparación con la mezcla D20K ($0.237 \text{ mm}^2/\text{s}$). Kun Lin Tay et al, 2016, concluyen que el uso de un combustible como el queroseno cuyo valor de viscosidad es menor afecta al proceso de combustión mejorando la atomización del combustible, reflejándose este fenómeno en la reducción de CO, sin embargo, se esperaría además un incremento de emisiones de NO.

Las consecuencias que se evidencian en el funcionamiento del motor en un vehículo por la variación de la viscosidad cinemática hacen referencia a problemas en el primer encendido, una operación sostenida inestable (cambio de su potencia) y la presencia de ruidos, emisiones (gases de la combustión).

Tabla 4.2. Propiedades Químicas de los combustibles.

Propiedades	Unidad	Diésel	D20K	Kerosene
Contenido de azufre	Ppm	180	340	943
Poder calórico superior	MJ/kg	44.53	44.03	43.57
Punto de inflamación	°C	65	56	39.0
Corrosión lámina de cobre	--	1A	1A	

(Fuente: Laboratorio de Petróleos y Termodinámica de la Facultad de Ingeniería Química E.P.N., 2017)

4.1.4. Contenido de azufre

La Figura 4.4 muestra el contenido de azufre presente en el combustible. Se aprecia que el diésel presenta un menor contenido de azufre en comparación con la mezcla D20K. En un estudio realizado por CEPAL denominado: “Análisis de la reducción del azufre en el combustible diésel en El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua” indican que las emisiones disminuyen en forma lineal con la reducción del contenido de azufre casi en todos los motores (hasta un punto en que el azufre deja de ser la única fuente de generación de PM).

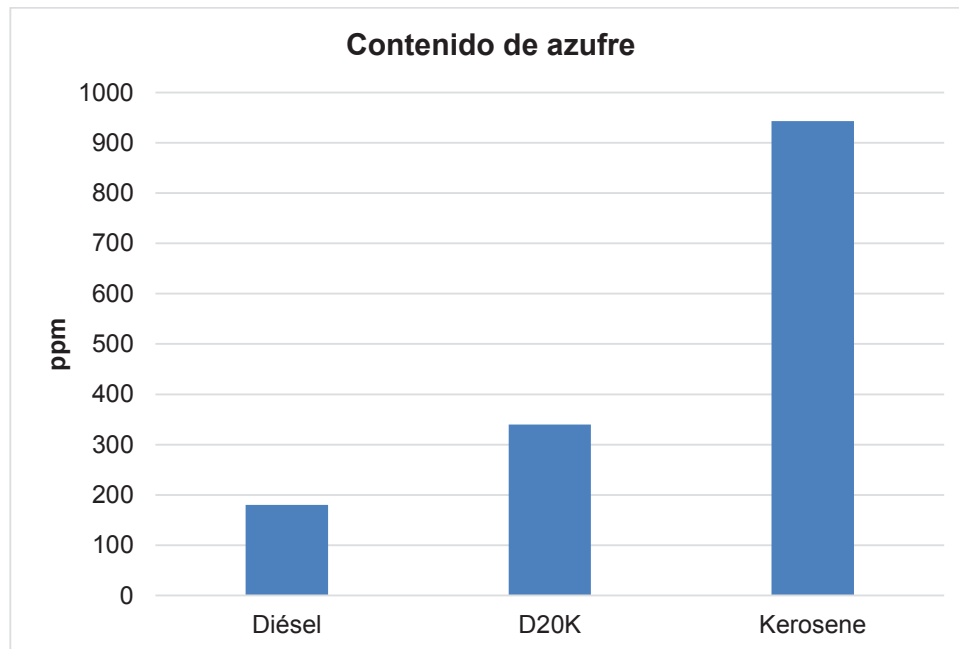


Figura 4.4. Concentración de azufre
(Fuente Propia, 2017)

Además, en base a la Norma INEN 1489:2002 en donde se indican los requisitos que debe tener el diésel Premium para su comercialización, el contenido de azufre de la mezcla D20K se encuentra por debajo del límite indicado (500 ppm).

4.1.5. Poder calorífico superior

Para el poder calorífico superior del combustible, su variación se indica en la Figura 4.5 en donde el valor de la mezcla D20K disminuye con respecto al diésel. Una de las principales consecuencias de dicha disminución sería la pérdida de potencia en el motor que la utilice. El poder calorífico está relacionado con la economía del combustible ya que el motor se verá afectado en el consumo del mismo, entre mayor sea este más rendimiento energético tendrá el motor ya que la potencia calorífica se refiere a la energía que una cierta cantidad de combustible es capaz de liberar al producirse una combustión completa del mismo.

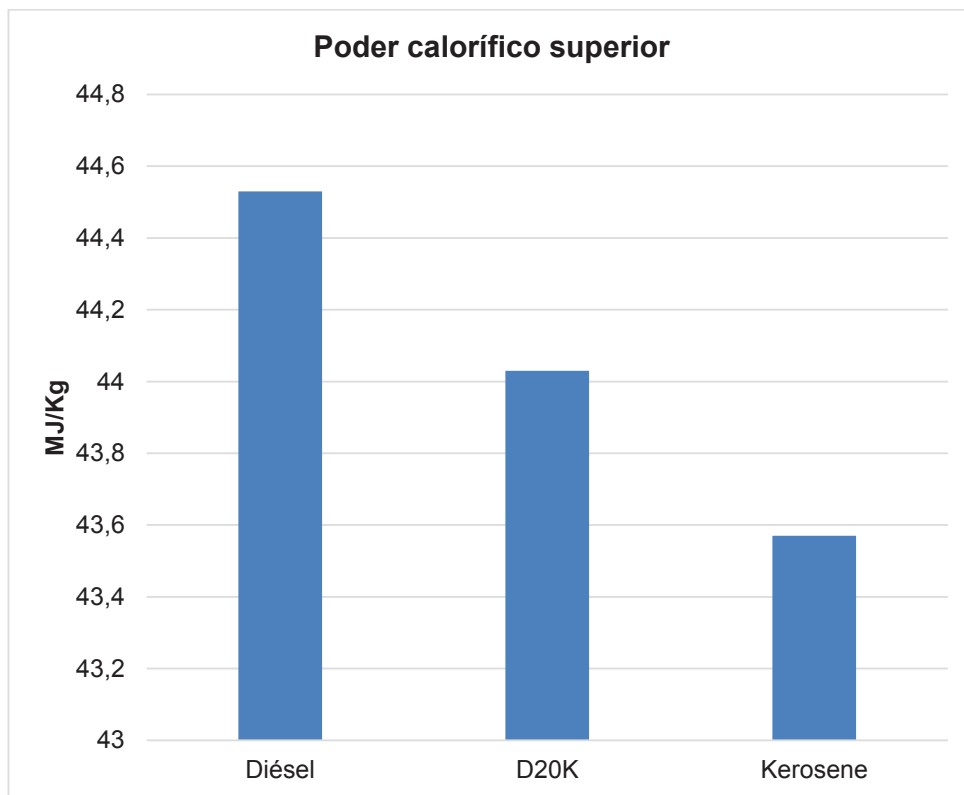


Figura 4.5. Poder calórico superior
(Fuente: Propia, 2017)

4.1.6. Punto de inflamación

En la figura 4.6, que representa el punto de inflamación del combustible como en las propiedades anteriormente analizadas se nota una disminución del punto de inflamación de la mezcla D20K con respecto al punto de inflamación del diésel.

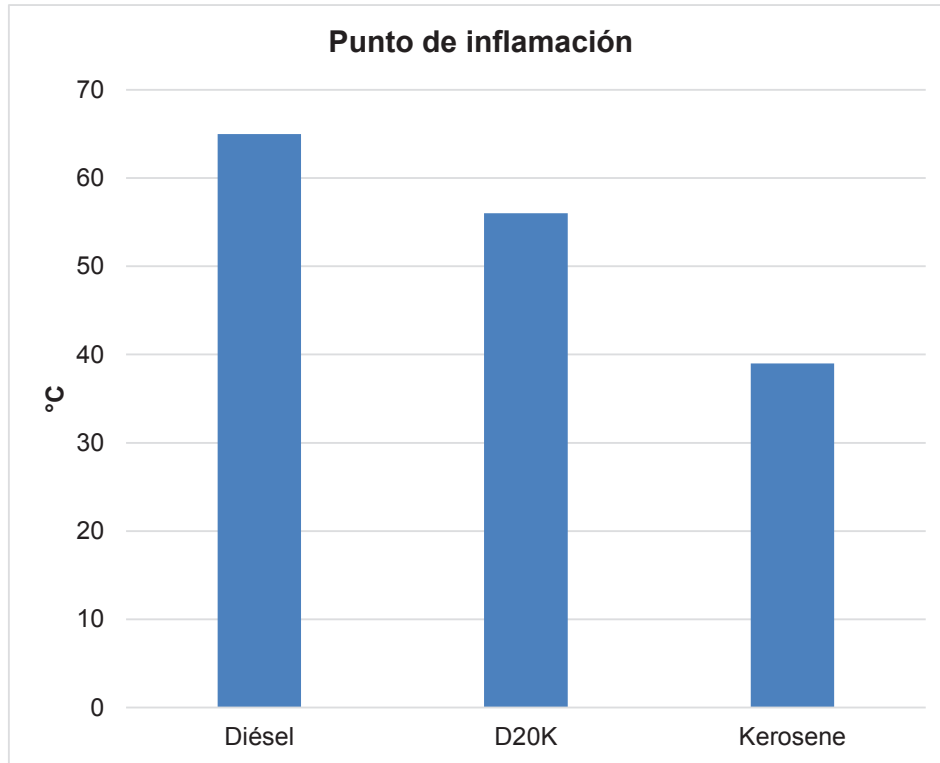


Figura 4.6. Punto de inflamación
(Fuente: Propia, 2017)

4.2. Emisiones

4.2.1. Opacidad

La opacidad medida en los vehículos de prueba utilizando diésel premium y la mezcla D20K como combustible se la realizó mediante una prueba estática, utilizando el método de aceleración libre según la Norma INEN 2202. Para lo cual se utilizó un opacímetro marca MAHA MDO2, en donde se registra los valores máximos de absorción luminosa en tres mediciones para cada prueba. En la Tabla 4.3 se muestra un ejemplo de los datos obtenidos para un vehículo. Los registros correspondientes a los demás vehículos de pruebas se encuentran en el Anexo B.

Tabla 4.3. Valores de opacidad del vehículo de prueba PMA-1091.

Prueba	Medición	Diésel		D20K	
		Valor %	Promedio %	Valor %	Promedio %
1	M1	68	68.0	69	67.7
	M2	67		66	
	M3	69		68	
2	M1	65	68.7	60	63.7
	M2	71		67	
	M3	70		64	
3	M1	69	71.3	63	66.3
	M2	73		68	
	M3	72		68	
PROMEDIO %		69.3		65.9	

(Fuente: Propia, 2017)

Los valores promedio registrados de los vehículos utilizados en las pruebas se indican en la Tabla 4.4 adicionalmente se muestra la diferencia (delta) resultante de los dos combustibles.

Tabla 4.4. Valores de opacidad de los vehículos de prueba.

Vehículo	OPACIDAD (%)		
	D	D20K	Delta (Δ Opacidad)
PMA1102	69,7	64,0	5,7
PMA1091	69,3	65,9	3,4
PMA7605	66,4	64,4	2,0
EEI1274	45,0	43,4	1,6
PPC2147	4,4	3,2	1,2

(Fuente: Propia, 2017)

Los tres vehículos de prueba presentan un valor de opacidad mayor a 50% que es el límite establecido por la norma NTE INEN 2207: 2002. Al utilizar la mezcla D20K en los vehículos se evidencia que dicho valor disminuye, para ello se ha calculado la diferencia de opacidad medida con los dos combustibles (delta).

En la Figura 4.7 se muestra la variación de la opacidad de cada vehículo al utilizar la mezcla D20K como combustible con respecto al diésel premium.

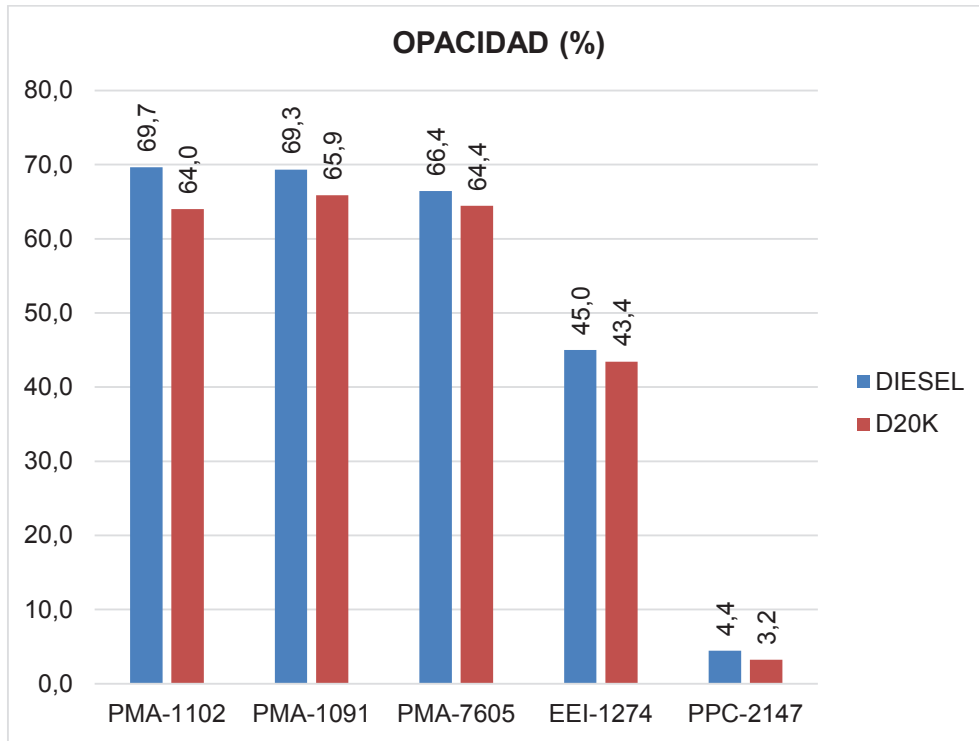


Figura 4.7. Variación de opacidad utilizando diésel y D20K
(Fuente: Propia, 2017)

Se observa que en todos los vehículos de prueba el valor de opacidad disminuye cuando se utiliza la mezcla D20K incluso en el vehículo PPC-2147 cuyo valor es de 4.4% inicialmente. Sin embargo, los motores que sobrepasan el límite establecido para el permiso de circulación correspondiente al 50% de opacidad, al utilizar la mezcla D20K no disminuye lo suficiente para estar por debajo del límite mencionado, la poca disminución podría ser atribuida a la cilindrada de los motores de los vehículos de prueba.

4.2.2. Material Particulado MP_{2.5}

La medición de material particulado MP_{2.5} para el diésel y la mezcla D20K se realizó mediante un medidor de partículas MPM 4 marca MAHA como se indicó en el Capítulo 3. El equipo realiza mediciones en forma continua de la concentración de partículas presentes en los gases emitidos por el motor, y mediante su software al final de la medición presenta un gráfico con el registro de los valores medidos, en las Figuras 4.9 y 4.10 se indica un registro de datos para una prueba realizada utilizando D20K y diésel respectivamente en un vehículo de prueba.

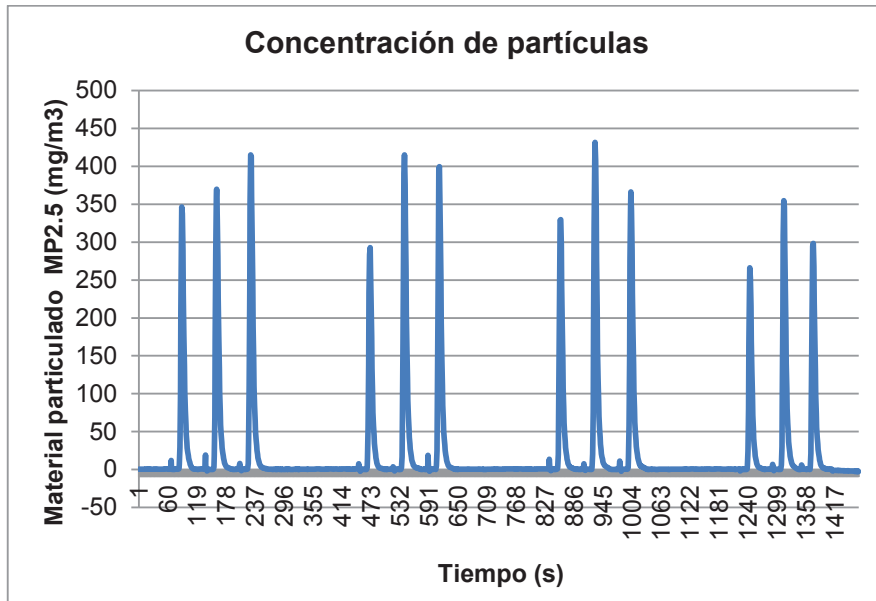


Figura 4.9. Material particulado 2.5 emitido en los gases de escape utilizando D20K
(Fuente: Propia, 2017)

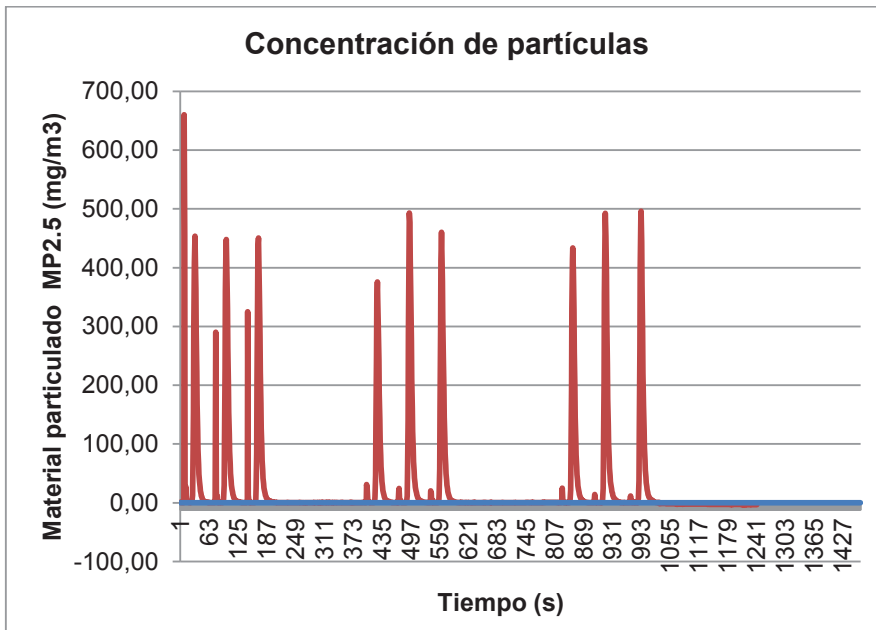


Figura 4.10. Material particulado 2.5 emitido en los gases de escape utilizando DIESEL
(Fuente: Propia, 2017)

En la Tabla 4.5 se muestra los datos de material particulado $MP_{2.5}$ registrados a partir del gráfico anterior para un vehículo de prueba utilizando como combustible diésel; se debe considerar que cada pico representa el valor máximo de concentración de partículas.

Tabla 4.5. Registro de material particulado 2.5 utilizando combustible diésel y D20K del vehículo de prueba PMA-1091.

Prueba	Medición	Diésel		D20K	
		Valor ppm	Promedio ppm	Valor ppm	Promedio ppm
1	M1	453.5	450.7	346.41	376.4
	M2	448.13		369.64	
	M3	450.59		413.2	
2	M1	375.91	443.0	292.56	367.8
	M2	492.87		415.25	
	M3	460.15		395.5	
3	M1	433.6	474.2	328.9	375.5
	M2	492.59		431.57	
	M3	496.26		366.1	
PROMEDIO %		456.0		373.2	

(Fuente: Propia, 2017)

Para los cinco vehículos ensayados los valores promedio de material particulado MP_{2.5} y su cambio delta se resumen en la Tabla 4.6. Todos los valores obtenidos en la medición se pueden encontrar en el ANEXO B.

Tabla 4.6. Valores de material particulado 2.5 utilizando combustible diésel y D20K de los cinco vehículos de prueba.

Vehículo	MP _{2.5} (mg/m ³)		
	D	D20K	Delta (Δ MP _{2.5})
PMA1091	456,0	373,2	82,7
EEl1274	417,3	371,6	45,7
PMA7605	349,4	315,8	33,6
PMA1102	341,6	247,3	94,2
PPC2147	27,5	15	12,5

(Fuente: Propia, 2017)

El material particulado $MP_{2.5}$ disminuye al utilizar la mezcla D20K, actualmente en el Ecuador no existe una norma que indique los límites máximos de material particulado que un motor puede emitir, sin embargo, una disminución en la emisión del material particulado podría ayudar a disminuir las enfermedades causadas por el mismo. Las mediciones de material particulado $MP_{2.5}$ se indican de forma gráfica en la Figura 4.11.

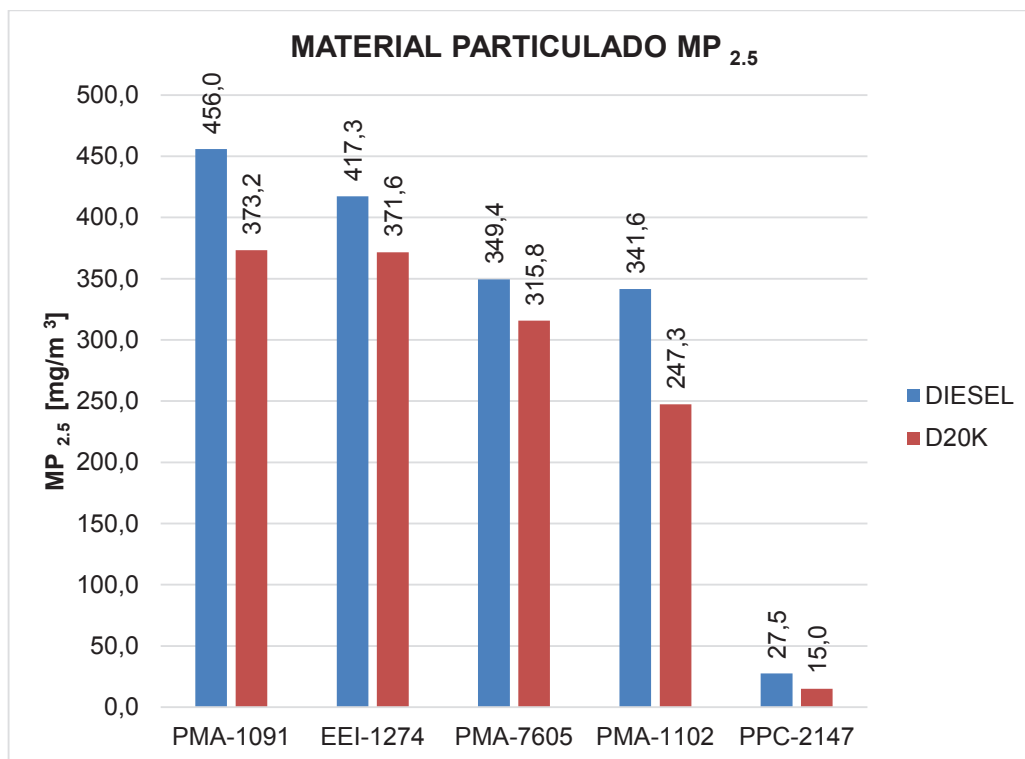


Figura 4.11. Variación de material particulado $MP_{2.5}$ utilizando diésel y D20K (Propia, 2017)

El material particulado $MP_{2.5}$ se reduce en todos los vehículos de prueba analizados en este proyecto al utilizar la mezcla D20K; sin embargo, en base a la Tabla 3.3 en donde se indica la tecnología de reducción de emisiones contaminantes con el que cada motor está equipado, se puede apreciar que en los motores de tecnología EURO II disminuye en mayor cantidad el material particulado que en los motores de tecnología EURO III.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Con el presente estudio se cumple el objetivo planteado en el proyecto, ya que se pudo comprobar que al utilizar una mezcla de diésel-queroseno denominada D20K se logra disminuir las emisiones contaminantes de material particulado ($MP_{2.5}$) y % de opacidad en diferentes motores diésel; sin embargo, no se puede generalizar el efecto de disminución de emisiones con la mezcla utilizada. Se considera que el diseño de cada motor, la cilindrada, la tecnología de control de emisiones pueden ser factores que afectan en la variación y en la reducción de las emisiones ($MP_{2.5}$; % de Opacidad) al utilizar la alternativa de combustible mencionada.

Al igual que en los estudios revisados y citados en este proyecto la disminución de la viscosidad y de la densidad que se obtiene al mezclar el diésel con el queroseno son los factores principales que ayudan a mejorar la atomización del combustible y de esta manera a la disminución de las emisiones contaminantes. Considerando además que la viscosidad es un parámetro importante para el correcto funcionamiento de los elementos mecánicos, debido a que su valor debe ser suficientemente bajo como para poder circular por los circuitos de alimentación sin excesivas pérdidas de carga y lo suficientemente alto como para cumplir con ciertas exigencias lubricantes.

Al mezclar el diésel con el 20% de queroseno se aumenta notablemente el contenido de azufre, por lo que en base a algunos estudios se esperaría un incremento de opacidad en los gases de escape al utilizar esta mezcla. Sin embargo, en las pruebas realizadas se evidencia una disminución de la opacidad, lo que se puede imputar a una combustión más completa debido a la variación de la densidad y viscosidad; y, un posible incremento en los óxidos de azufre presentes en las emisiones

En todos los vehículos de prueba se presenta una reducción de opacidad y del material particulado $MP_{2.5}$; esta disminución de emisiones utilizando la mezcla D20K es mayor en los motores cuya tecnología de control de emisiones corresponde a la EURO II con respecto a los motores EURO III, comprobando de esta manera la influencia de la tecnología en cuanto a control de emisiones.

Con la alternativa para disminución de emisiones presentada “D20K” se puede observar que esta tiene más influencia en el material particulado que en la opacidad, es decir se evidencia una reducción mayor en el $MP_{2.5}$, por lo que las variaciones de % de opacidad no representan una solución para los motores con este tipo de problema ya que siguen emitiendo gases sobre el límite establecido en la Norma INEN 2207:2002.

5.2. Recomendaciones

La alternativa de mezclar el diésel con queroseno como una medida para disminuir las emisiones contaminantes podría ser aplicable al transporte público de Quito siempre y cuando se logre disminuir dichas emisiones al límite establecido por la Norma INEN 2207:2002, para ello sería necesario realizar un cambio en la proporción de la mezcla diésel – queroseno a utilizar, considerando la cilindrada y la tecnología del control de emisiones vehiculares.

El aumento del contenido de azufre en el combustible y la disminución de la opacidad y el Material Particulado $MP_{2.5}$ son dos escenarios aparentemente contradictorios, por este motivo se sugiere realizar un estudio de evaluación de óxidos de azufre presentes en los gases de escape al utilizar la mezcla diésel queroseno.

Los cambios en las propiedades físicas y químicas de la mezcla utilizada con respecto al diésel pueden ser los factores que han contribuido a la reducción de emisiones, sin embargo, sería muy importante determinar cuál es la influencia específica que tiene cada una de las propiedades en los gases de escape, además de establecer los límites de variación de dichas propiedades de manera que no se vean afectadas las condiciones de funcionamiento de los motores diésel.

En base a los estudios citados en el proyecto se puede aseverar que el cambio en las propiedades físicas y químicas que se obtiene al mezclar el diésel con el queroseno no solo pueden repercutir en la disminución de la opacidad o el material particulado, sino que también puede hacer disminuir el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos; motivo por el cual sería de gran importancia realizar ensayos en donde se analicen las emisiones mencionadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvite, J. P. (2012). Inyección diésel - **Sistemas auxiliares del motor**. Editex.
- Anastopoulos, G., Lois, E., Zannikos, F., Kalligeros, S., & Teas, C. (2002). **HFRR lubricity response of an additized aviation kerosene for use in CI engines**. Tribology International.
- Brizuela, E y Romano, S.D. **Combustión**: Buenos Aires. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/282427842/Combustion-Vol-1-Eduardo-Brizuela>.
- CEPAL, G. (2012). **Análisis de la reducción del azufre en el combustible diésel en el Salvador**, Guatemala, Honduras y Nicaragua. México D. F.
- Cortez, P. (2010). **Teoría y desarrollo de un sistema de dilución para la medición de emisiones de motores ciclo diésel**. EPN. Ecuador.
- Distrito Metropolitano de Quito. (2014). **Informe anual de calidad del aire**. Recuperado de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/igca_2014.pdf
- Fygueroa, S y Araque, J (2005). **El proceso de combustión en motores de combustión interna**: (1ª ed), Mérida: Editorial Venezolana
- Hernández, J. (2000). **Modelado de la formación y emisión de contaminantes en sistemas de combustión**. Tesis Doctoral.
- Heywood, J.B (1988). **Internal Combustion Engine Fundamentals**: (2ª ed.) New York: Editorial MacGraw-Hill.
- John F. Dagel (1995), **Motores Diésel y sistemas de Inyección**, Tomo 1, Editorial Limusa, México D.F.
- Kates, E. J. (1982). **Motores Diesel y de gas de alta compresión**. Reverté.
- Maghbouli, A (2013). **Combined numerical-experimental study of dual fuel diesel engine**: Revista ScienceDirect, 7 2 1 – 7 3 0. Recuperado de www.sciencedirect.com.
- Maghbouli A, Yang W, An H, Li J, Shafee S. **Effects of injection strategies and fuel injector configuration on combustion and emission characteristics of a D.I. diesel engine fueled by bio-diesel**. Renew Energy

MAHA (2005). **Manual de Equipos LPS 3000 (1ra Ed.)**. Alemania: Maha machinenbau Haldenwang GmbH & Co.

MANAVELLA, H. J. (2014). **Combustão e Emissões**. HM Autotrônica.

Martínez. J.A (2006). **Determinación de tamaños de partículas mediante la dispersión angular de luz (Trabajo fin de master)**. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/259443051_Determinacion_de_tamanos_de_particulas_mediante_la_dispersion_angular_de_la_luz.

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2015). **Balance Energético**. Recuperado de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/balance-energetico/>

Montalvo Ing. y Eugenio Ing. (2016), **Evaluación del Comportamiento y Emisiones de un Motor de Combustión Interna Utilizando una Mezcla Diésel-Queroseno**. EPN. Ecuador.

More, B. P., Malve, M. K., & Shinde, R. T. D. (2012). **Analysis of Adulterant kerosene in Diesel by Kinematic Viscosity Measurement**.

Moreno Sánchez Gabriel Felipe Ing. (2008), **Motores Diésel Manual de Mantenimiento y Reparación**, Tomo 1, Editorial Diseli, Colombia

Mott, R. (2006). **Mecánica de Fluidos**. México: Pearson Educación.

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2015), **Diagnóstico Estratégico - Eje Ambiental, Balance energético Nacional**. Recuperado de http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Sesiones%20del%20Concejo/2015/Sesi%C3%B3n%20Extraordinaria%202015-02-13/PMDOT%202015-2025/Volumen%20I/3.%20Diagn%C3%B3stico%20Ambiental.pdf

Norma Técnica Ecuatoriana. (2012). INEN 1489: Séptima revisión. Recuperado de http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/n-te_inen_1489-8.pdf

Norma Técnica Ecuatoriana. (2002). NTE INEN 2 207: 2002 Primera revisión. Recuperado de <http://www.ant.gob.ec/index.php/servicios/normas-y-reglamentos-inen/emisiones-contaminantes-y-ruido/file/162-norma-tecnica-ecuatoriana-n-te-inen-2-207-2002>

Patil, K. R., & Thipse, S. S. (2015). **Experimental investigation of CI engine combustion, performance and emissions in DEE–kerosene–diesel blends of high DEE concentration.** Energy Conversion and Management.

Patil, K. R., & Thipse, S. S. (2014). **Characteristics of performance and emissions in a direct-injection diesel engine fuelled with kerosene/diesel blends.** International Journal of Automotive and Mechanical Engineering.

Payri, F y Desantes, J.M (2011). **Motores de combustión interna alternativos:** Valencia: Editorial Reverte. S.A.

Pérez, J. M. (2014). **Sistemas auxiliares del motor.** Ediciones Paraninfo, SA.

Poma Flores, K.L (2004). **Evaluación de la calidad del diésel 2 basado en sus propiedades cetánicas.** (Trabajo fin de ingeniería). Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/970/1/poma_fk.pdf.

Robert, B. (2005). **Manual de la Técnica del Automóvil.** Española.

Rodríguez, L. (s.f.). **Probabilidad y Estadística básica para ingenieros.** Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Rojas N (2004). **Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de Diésel y biodiesel:** Revista de ingeniería 0121-4993. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012149932004000200007

Román O. (2004). **Contaminación atmosférica y daño cardiovascular.** Santiago de Chile: ISSN.

Roy, M. M., Wang, W., & Alawi, M. (2014). **Performance and emissions of a diesel engine fueled by biodiesel–diesel, biodiesel–diesel-additive and kerosene–biodiesel blends.** Energy conversion and management.

Salud, O. M. (2005). **Guías de calidad del aire de la OMS.**

Sbarato R, S. V. (2007). **Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmosfera.** Brujas.

Schobert, H. H. (2013). **The chemistry of hydrocarbon fuels.** ButterworthHeinemann.

Song, C. (2000). **Chemistry of Diesel Fuel.** CRC Press.

Tay, K. L., Yang, W., Mohan, B., An, H., Zhou, D., & Yu, W. (2016). **Development of a robust and compact kerosene–diesel reaction mechanism for diesel engines.** Energy Conversion and Management.

Teoh, Y. H., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Amalina, M. A., & How, H. G. (2014). **Impact of Premixed Kerosene Fuel on Performance, Emission and Combustion Characteristics in Partial HCCI Engine.** Energy Procedia.

Vara, H. G. (2008). **Análisis y diseño de Experimentos.** México: McGraw-Hill Interamericana.

Wauquier, J. P. (2004). **El refino del petróleo: petróleo crudo, productos petrolíferos, esquemas de fabricación.** Ediciones Díaz de Santos.

Yadav, S. R., Murthy, V. K., Mishra, D., & Baral, B. (2005). **Estimation of petrol and diesel adulteration with kerosene and assessment of usefulness of selected automobile fuel quality test parameters.** International Journal of Environmental Science & Technology.

ANEXOS

ANEXO A

CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE PETRÓLEOS**

Página 1 de 2

HI01

**REPORTE DE ANÁLISIS N°. ALPEP 010-017
ORDEN DE TRABAJO 5086**

INFORMACIÓN GENERAL:

CLIENTE	LENIN VARGAS (TESIS)		
MUESTRA	DIÉSEL	NÚMERO DE MUESTRAS	2
FECHA RECEPCIÓN	17-02-2017	FECHA DE ENTREGA INFORME	03-03-2017

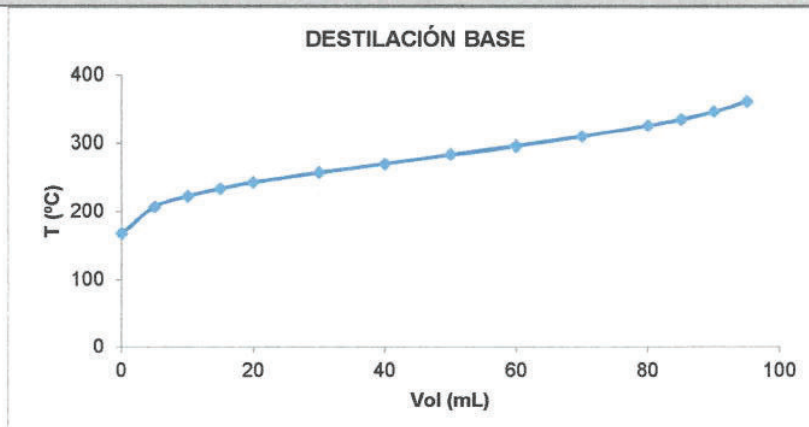
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CAPACIDAD
BASE	LPM027-FEB	Diésel	Vidrio	1 L

RESULTADOS OBTENIDOS:

MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	VALOR OBTENIDO
LPM027-FEB	Punto de inflamación	INEN 1493:2013 (2R)	°C	65
	Contenido de azufre	ASTM D4294-16	%	0.018
	Corrosión lámina de cobre	ASTM D130-12	---	1A
	Índice de cetano calculado	INEN 1495:2013 (1R)	---	51.9
	Ensayo de destilación: Temperatura del 90%	ASTM D86-15	°C	347
	Viscosidad cinemática a 40 °C	INEN 810:2013 (1R)	mm ² /s	4.154
	Agua y sedimentos	INEN 1494:2013 (1R)	%	<0.05

INFORMACIÓN ADICIONAL:



Ing. Liliana Guzmán	Ing. Tania Parra
Jefe del Laboratorio de Petróleos	Especialista de Laboratorio de Petróleos

NOTA: El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.

Ladrón de Guevara E11-253-Edif. Eléctrica Química - 5to piso
022976-300 Ext. 4329/4317/4328
lab.petroleos_ing.quimica@epn.edu.ec



REPORTE DE ANÁLISIS N°. ALPEP 010-017
ORDEN DE TRABAJO 5086

INFORMACIÓN GENERAL:

CLIENTE	LENIN VARGAS (TESIS)		
MUESTRA	DIÉSEL	NÚMERO DE MUESTRAS	2
FECHA RECEPCIÓN	17-02-2017	FECHA DE ENTREGA INFORME	03-03-2017

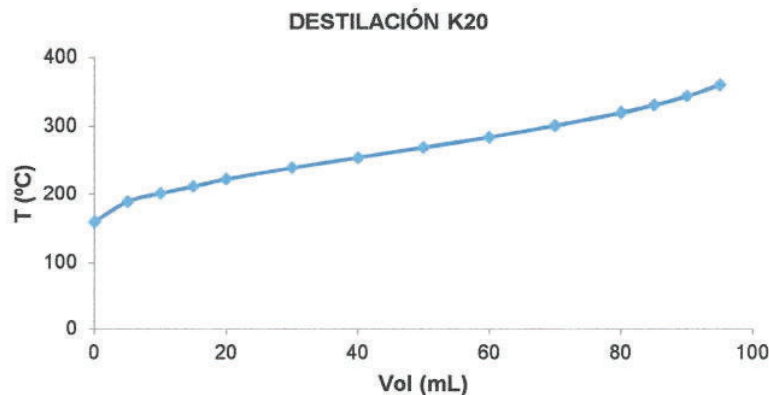
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CAPACIDAD
K20	LPM028-FEB	Diésel	Vidrio	1 L

RESULTADOS OBTENIDOS:

MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	VALOR OBTENIDO
LPM028-FEB	Punto de inflamación	INEN 1493:2013 (2R)	°C	56
	Contenido de azufre	ASTM D4294-16	%	0.034
	Corrosión lámina de cobre	ASTM D130-12	---	1A
	Índice de cetano calculado	INEN 1495:2013 (1R)	---	52.0
	Ensayo de destilación: Temperatura del 90%	ASTM D86-15	°C	344
	Viscosidad cinemática a 40 °C	INEN 810:2013 (1R)	mm ² /s	3.917
	Agua y sedimentos	INEN 1494:2013 (1R)	%	<0.05

INFORMACIÓN ADICIONAL:



Liliana Guzmán

Ing. Liliana Guzmán

Jefe del Laboratorio de Petróleos

Tania Parra

Ing. Tania Parra

Especialista de Laboratorio de Petróleos

NOTA: El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.

Ladrón de Guevara E11-253-Edif. Eléctrica Química - 5to piso
 022976-300 Ext. 4329/4317/4328
 lab.petroleos_ing.quimica@epn.edu.ec

ANEXO B

RESULTADOS DE MATERIAL PARTICULADO FINO (MP2.5) Y OPACIDAD

En la Figura B.1 y B.2 se presenta la concentración de partículas contenidas en los gases de escape para la mezcla D20K y diésel respectivamente en el vehículo PMA-1091.

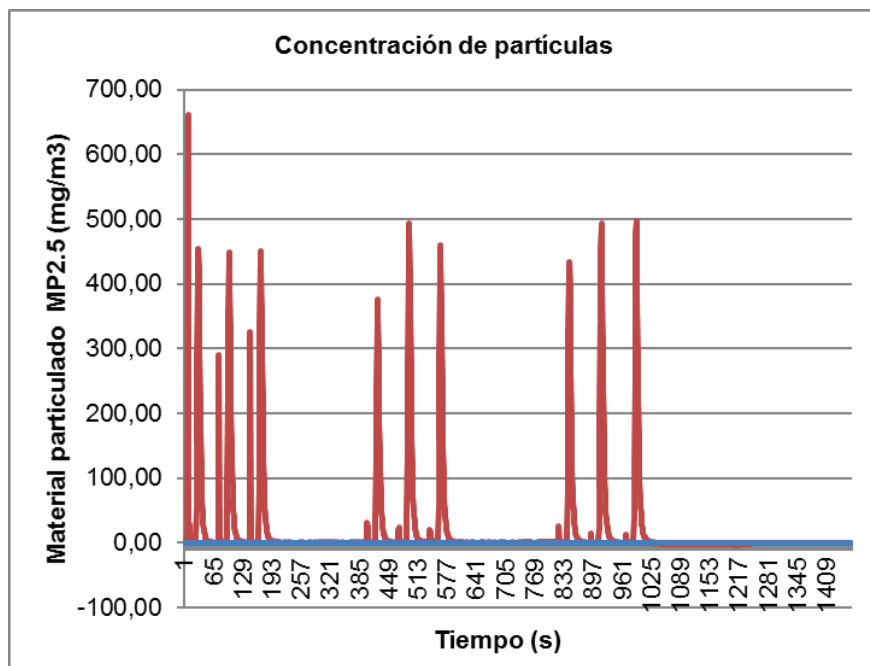


Figura B.1. Material particulado MP_{2,5} para la mezcla D20K.

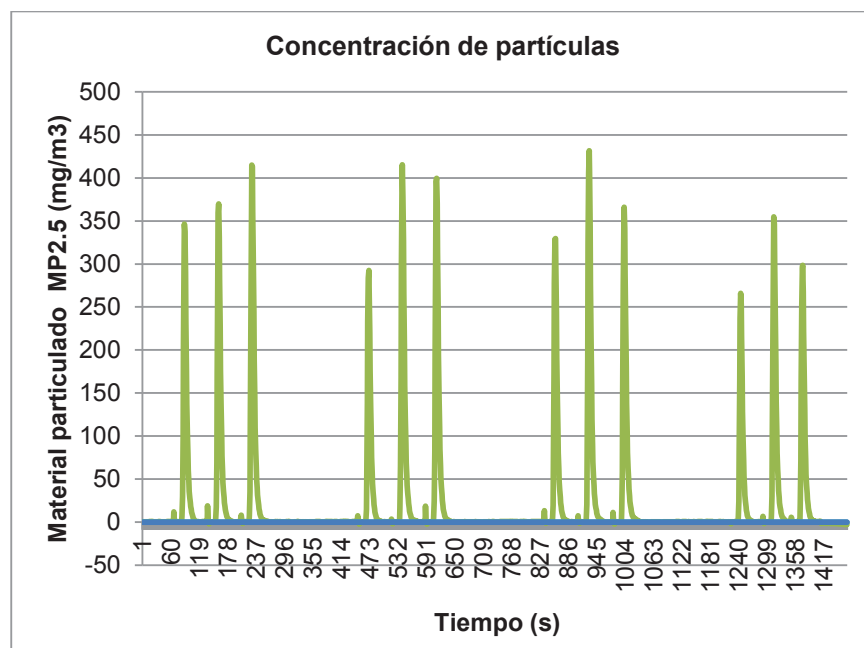


Figura B.2. Material particulado MP_{2,5} para Diésel.

En la Figura B.3 y B.4 se presenta la concentración de partículas contenidas en los gases de escape para la mezcla D20K y diésel respectivamente en el vehículo PMA-1102.

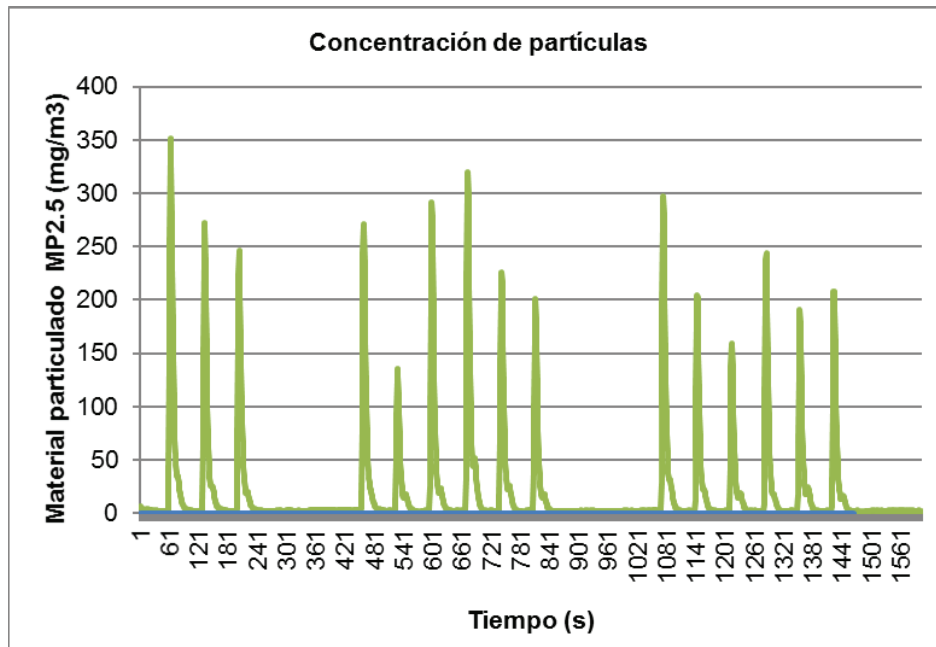


Figura B.3. Material particulado MP_{2.5} para la mezcla D20K.

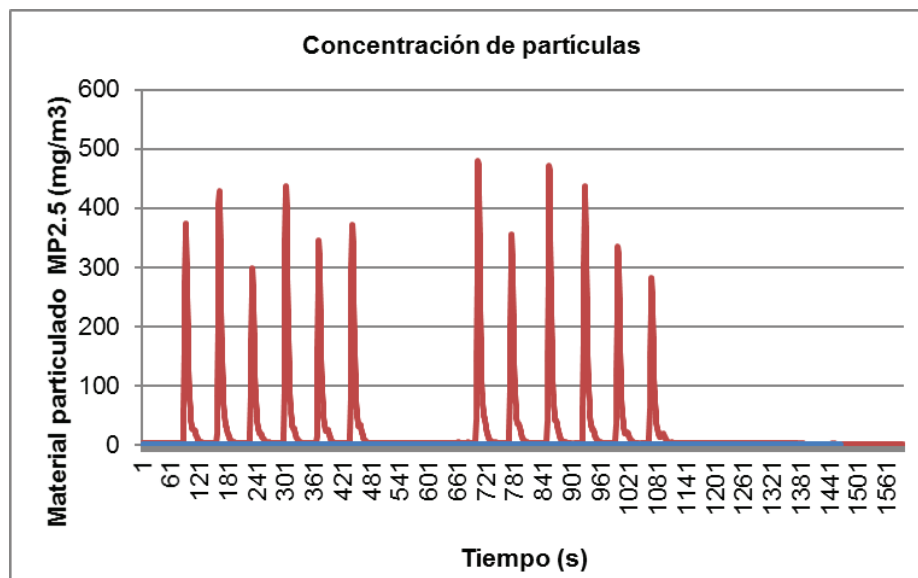


Figura B.4. Material particulado MP_{2.5} para Diésel.

En la Figura B.5 y B.6 se presenta la concentración de partículas contenidas en los gases de escape para la mezcla D20K y diésel respectivamente en el vehículo PMA-7605.

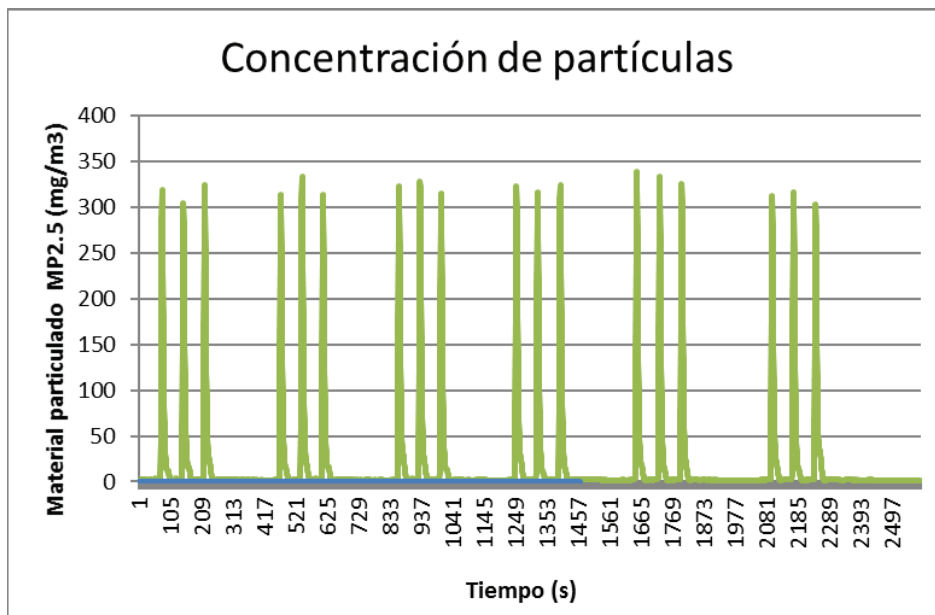


Figura B.5. Material particulado MP_{2.5} para la mezcla D20K.

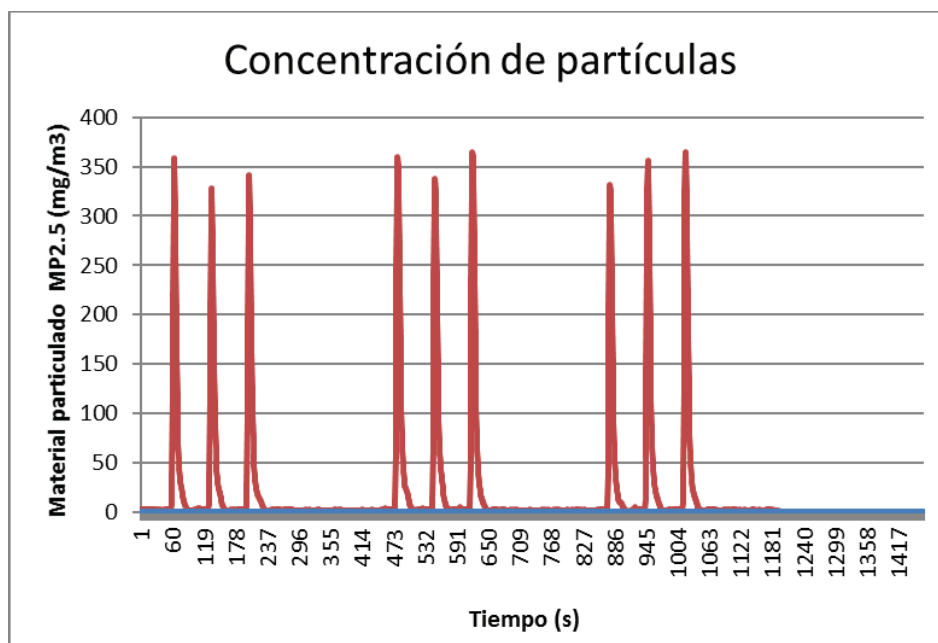


Figura B.6. Material particulado MP_{2.5} para Diésel.

En la Figura B.7 y B.8 se presenta la concentración de partículas contenidas en los gases de escape para la mezcla D20K y diésel respectivamente en el vehículo EEI-1274.

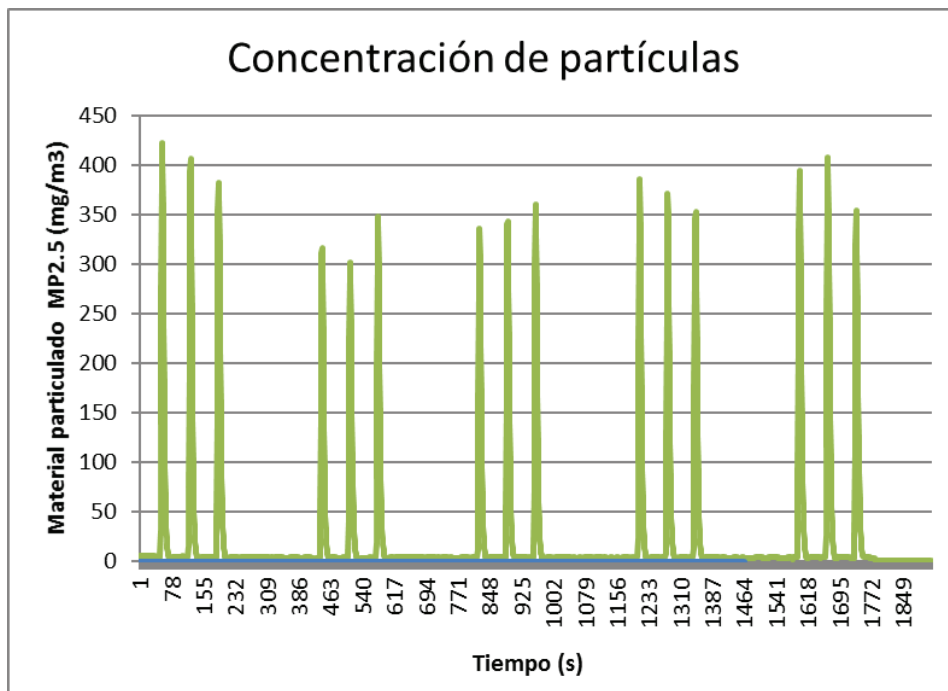


Figura B.7. Material particulado MP_{2.5} para la mezcla D20K.

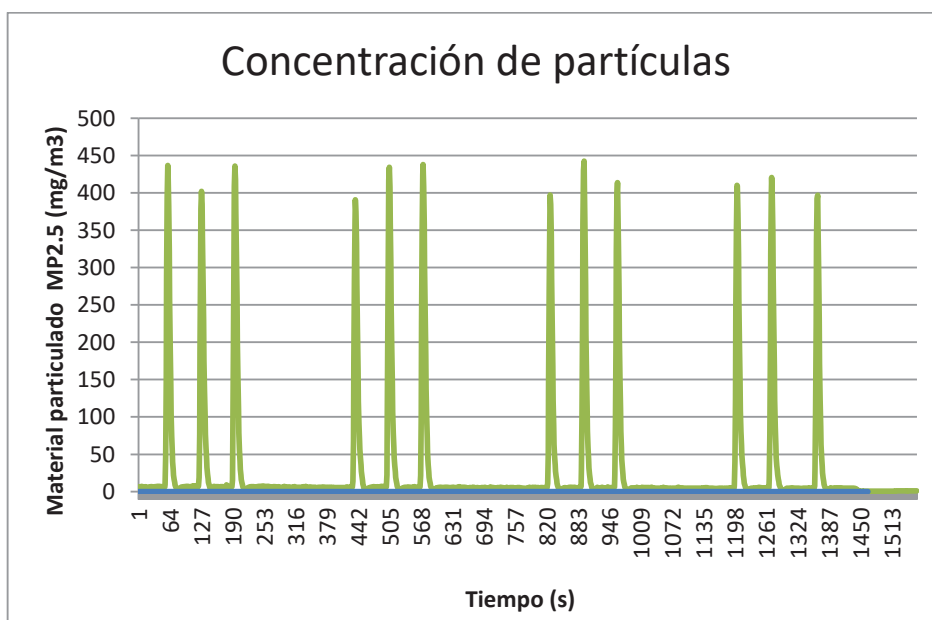


Figura B.8. Material particulado MP_{2.5} para Diésel.

En la Figura B.9 y B.10 se presenta la concentración de partículas contenidas en los gases de escape para la mezcla D20K y diésel respectivamente en el vehículo PPC-2147.

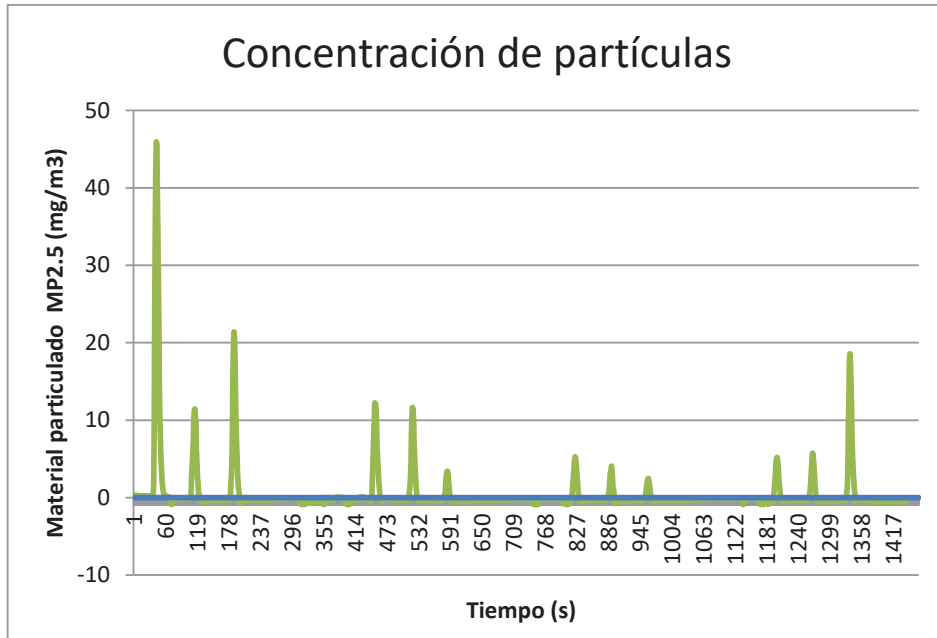


Figura B.9. Material particulado MP_{2.5} para la mezcla D20K.

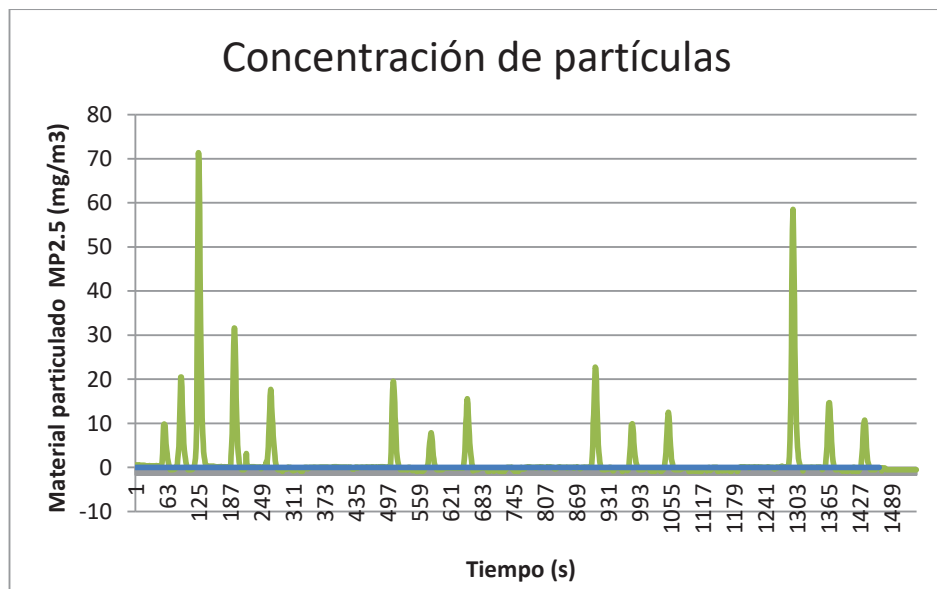




Figura B.10. Material particulado MP_{2.5} para Diésel.

	LABORATORIO DE PRUEBAS		Código: CCICEV/LP/PMPD
	REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS MATERIAL PARTICULADO CICLO DIESEL		Rev. 1/1
			Página 1 de 5

Solicitud	N°
Fecha:	11/02/2017




Nombre de Solicitante / Empresa	Ing. Christian Gómez / Ing. Lenín Vargas
Técnico Responsable CCICEV	Ing. Diego Lincango / Ing. Juan Jima



DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO		
MARCA	HINO - Serie 500	
MODELO	GD	
N° Chasis (VIN) / PLACA	PMA-1091	
N° Motor		
Motor (Datos del fabricante)	Posición	Línea
	Cilindrada y N° cilindros	7684 cc. / 6 Cilindros
	Max. Potencia (HP/rpm)	260 HP @ 2500 RPM
	Max Torque (N.m/rpm)	76 KgM @ 1500 RPM
	Combustible	Diesel
Transmisión (manual/automática) [N°]	Manual	
Kilometraje	100700	
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

PRUEBA DE OPACIDAD ESTÁTICA - NTE INEN 2 207						
	RPM	Opacidad %	Opacidad %	Opacidad %	Promedio %	Desviación %
PRUEBA 1		68	67	69	68,0	1,0
PRUEBA 2		65	71	70	68,7	3,2
PRUEBA 3		69	73	72	71,3	2,1
VALOR PROMEDIO					69,3	

PRUEBA DE MATERIAL PARTICULADO						
	RPM	MP (mg/m3)	MP (mg/m3)	MP (mg/m3)	Promedio (mg/m3)	Desviación
PRUEBA 1		453,5	448,13	450,59	450,74	2,7
PRUEBA 2		375,91	492,87	460,15	442,98	60,3
PRUEBA 3		433,6	492,59	496,26	474,15	35,2
VALOR PROMEDIO					455,96	

Observaciones: Combustible diésel

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: Ing. Juan Jima	Nombre: Ing. Diego Lincango	Nombre: Ing. Andrés Urbina
f) 	f) 	f) 

	LABORATORIO DE PRUEBAS		Código: CCICEV/LP/PMPD
	REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS MATERIAL PARTICULADO CICLO DIESEL		Rev. 1/1
			Página 2 de 5

Solicitud	N°
Fecha:	14/03/2017



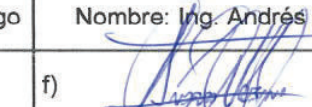
Nombre de Solicitante / Empresa	Ing. Christian Gómez / Ing. Lenín Vargas
Técnico Responsable CCICEV	Ing. Diego Lincango / Ing. Juan Jima



DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO		
MARCA	HINO - Serie 500	
MODELO	GH	
N° Chasis (VIN) / PLACA	PMA-1102	
N° Motor		
Motor (Datos del fabricante)	Posición	Línea
	Cilindrada y N° cilindros	7684 cc. / 6 Cilindros
	Max. Potencia (HP/rpm)	261 HP @ 2500 RPM
	Max Torque (N.m/rpm)	77 KgM @ 1500 RPM
	Combustible	Diesel
Transmisión (manual/automática) [N°]	Manual	
Kilometraje	169200	
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

PRUEBA DE OPACIDAD ESTÁTICA - NTE INEN 2 207						
	RPM	Opacidad %	Opacidad %	Opacidad %	Promedio %	Desviación %
PRUEBA 1		66	74	70	70,0	4,0
PRUEBA 2		70	72	66	69,3	3,1
PRUEBA 3						
VALOR PROMEDIO					69,7	

PRUEBA DE MATERIAL PARTICULADO						
	RPM	MP (mg/m3)	MP (mg/m3)	MP (mg/m3)	Promedio (mg/m3)	Desviación
PRUEBA 1		298,13	437,18	344,9	360,07	70,8
PRUEBA 2		353,53	334,28	281,36	323,06	37,4
PRUEBA 3						
VALOR PROMEDIO					341,56	

Observaciones: Combustible diésel

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: Ing. Juan Jima	Nombre: Ing. Diego Lincango	Nombre: Ing. Andrés Urbina
f) 	f) 	f) 

	LABORATORIO DE PRUEBAS		Código: CCICEV/LP/PMPD
	REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS MATERIAL PARTICULADO CICLO DIESEL		Rev. 1/1
			Página 3 de 5

Solicitud	N°
Fecha:	14/03/2017



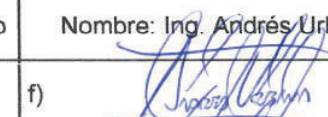
Nombre de Solicitante / Empresa	Ing. Christian Gómez / Ing. Lenín Vargas
Técnico Responsable CCICEV	Ing. Diego Lincango / Ing. Juan Jima



DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO		
MARCA	HINO - Serie 500	
MODELO	GH	
N° Chasis (VIN) / PLACA	PMA-7605	
N° Motor		
Motor (Datos del fabricante)	Posición	Línea
	Cilindrada y N° cilindros	7684 cc. / 6 Cilindros
	Max. Potencia (HP/rpm)	260 HP @ 2500 RPM
	Max Torque (N.m/rpm)	76 KgM @ 1500 RPM
	Combustible	Diesel
Transmisión (manual/automática) [N°]	Manual	
Kilometraje	26125	
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

PRUEBA DE OPACIDAD ESTÁTICA - NTE INEN 2 207						
	RPM	Opacidad %	Opacidad %	Opacidad %	Promedio %	Desviación %
PRUEBA 1		66	63	64	64,3	1,5
PRUEBA 2		64	63	69	65,3	3,2
PRUEBA 3		70	69	70	69,7	0,6
VALOR PROMEDIO					66,4	

PRUEBA DE MATERIAL PARTICULADO						
	RPM	MP (mg/m ³)	MP (mg/m ³)	MP (mg/m ³)	Promedio (mg/m ³)	Desviación
PRUEBA 1		358,49	327,97	341,11	342,52	15,3
PRUEBA 2		360,39	337,47	364,99	354,28	14,7
PRUEBA 3		332,3	356,65	365,51	351,49	17,2
VALOR PROMEDIO					349,43	

Observaciones: Combustible diésel

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: Ing. Juan Jima	Nombre: Ing. Diego Lincango	Nombre: Ing. Andrés Urbina
f) 	f) 	f) 

	LABORATORIO DE PRUEBAS		Código: CCICEV/LP/PMPD
	REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS MATERIAL PARTICULADO CICLO DIESEL		Rev. 1/1
			Página 4 de 5

Solicitud	N°
Fecha:	11/02/2017


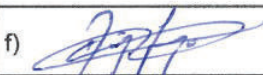
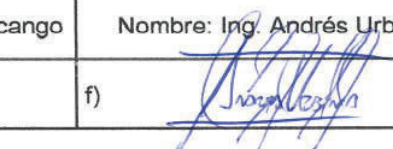
Nombre de Solicitante / Empresa	Ing. Christian Gómez / Ing. Lenín Vargas
Técnico Responsable CCICEV	Ing. Diego Lincango / Ing. Juan Jima



DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO		
MARCA	HINO - Serie 300	
MODELO	DUTRO	
N° Chasis (VIN) / PLACA	EEL-1274	
N° Motor		
Motor (Datos del fabricante)	Posición	Línea
	Cilindrada y N° cilindros	4009 cc. / 4 Cilindros
	Max. Potencia (HP/rpm)	150 HP @ 2800 RPM
	Max Torque (N.m/rpm)	420 KgM @ 1400 RPM
	Combustible	Diesel
Transmisión (manual/automática) [N°]	Manual	
Kilometraje	45700	
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

PRUEBA DE OPACIDAD ESTÁTICA - NTE INEN 2 207						
	RPM	Opacidad %	Opacidad %	Opacidad %	Promedio %	Desviación %
PRUEBA 1		46	42	44	44,0	2,0
PRUEBA 2		44	46	44	44,7	1,2
PRUEBA 3		44	48	47	46,3	2,1
VALOR PROMEDIO					45,0	

PRUEBA DE MATERIAL PARTICULADO						
	RPM	MP (mg/m ³)	MP (mg/m ³)	MP (mg/m ³)	Promedio (mg/m ³)	Desviación
PRUEBA 1		436,92	402,17	435,84	424,98	19,8
PRUEBA 2		397,11	442,61	413,81	417,84	23,0
PRUEBA 3		409,33	420,83	396,8	408,99	12,0
VALOR PROMEDIO					417,27	

Observaciones: Combustible diésel

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: Ing. Juan Jima	Nombre: Ing. Diego Lincango	Nombre: Ing. Andrés Urbina
f) 	f) 	f) 

	LABORATORIO DE PRUEBAS		Código: CCICEV/LP/PMPD
	REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS MATERIAL PARTICULADO CICLO DIESEL		Rev. 1/1
			Página 5 de 5

Solicitud	N°
Fecha:	11/02/2017




Nombre de Solicitante / Empresa	Ing. Christian Gómez / Ing. Lenín Vargas
Técnico Responsable CCICEV	Ing. Diego Lincango / Ing. Juan Jima



DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO		
MARCA	MAZDA	
MODELO	BT-50	
N° Chasis (VIN) / PLACA	PPC-2147	
N° Motor		
Motor (Datos del fabricante)	Posición	Línea
	Cilindrada y N° cilindros	2500cc / 4 Cilindros
	Max. Potencia (HP/rpm)	260 HP @ 2500 RPM
	Max Torque (N.m/rpm)	76 KgM @ 1500 RPM
	Combustible	Diesel
Transmisión (manual/automática) [N°]	Manual	
Kilometraje	139250	
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

PRUEBA DE OPACIDAD ESTÁTICA - NTE INEN 2 207						
	RPM	Opacidad %	Opacidad %	Opacidad %	Promedio %	Desviación %
PRUEBA 1		4	2	3	3,0	1,0
PRUEBA 2		5	3	3	3,7	1,2
PRUEBA 3		9	3	2	4,7	3,8
VALOR PROMEDIO					3,8	

PRUEBA DE MATERIAL PARTICULADO						
	RPM	MP (mg/m3)	MP (mg/m3)	MP (mg/m3)	Promedio (mg/m3)	Desviación
PRUEBA 1		19,55	7,89	14,19	13,88	5,8
PRUEBA 2		22,73	9,92	12,51	15,05	6,8
PRUEBA 3		58,51	14,65	10,77	27,98	26,5
VALOR PROMEDIO					18,97	

Observaciones: Combustible diésel

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: Ing. Juan Jima	Nombre: Ing. Diego Lincango	Nombre: Ing. Andrés Urbina
f) 	f) 	f) 

	LABORATORIO DE PRUEBAS		Código: CCICEV/LP/PMPD
	REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS MATERIAL PARTICULADO CICLO DIESEL		Rev. 1/1
			Página 1 de 5

Solicitud	N°
Fecha:	11/02/2017



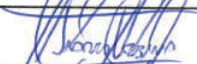
Nombre de Solicitante / Empresa	Ing. Christian Gómez / Ing. Lenín Vargas
Técnico Responsable CCICEV	Ing. Diego Lincango / Ing. Juan Jima



DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO		
MARCA	HINO - Serie 500	
MODELO	GD	
N° Chasis (VIN) / PLACA	PMA-1091	
N° Motor		
Motor (Datos del fabricante)	Posición	Línea
	Cilindrada y N° cilindros	7684 cc. / 6 Cilindros
	Max. Potencia (HP/rpm)	260 HP @ 2500 RPM
	Max Torque (N.m/rpm)	76 KgM @ 1500 RPM
	Combustible	DK20
Transmisión (manual/automática) [N°]	Manual	
Kilometraje	100700	
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

PRUEBA DE OPACIDAD ESTÁTICA - NTE INEN 2 207						
	RPM	Opacidad %	Opacidad %	Opacidad %	Promedio %	Desviación %
PRUEBA 1		69	66	68	67,7	1,5
PRUEBA 2		60	67	64	63,7	3,5
PRUEBA 3		63	68	68	66,3	2,9
VALOR PROMEDIO					65,9	

PRUEBA DE MATERIAL PARTICULADO						
	RPM	MP (mg/m ³)	MP (mg/m ³)	MP (mg/m ³)	Promedio (mg/m ³)	Desviación
PRUEBA 1		346,41	369,64	413,2	376,42	33,9
PRUEBA 2		292,56	415,25	395,5	367,77	65,9
PRUEBA 3		328,9	431,57	366,1	375,52	52,0
VALOR PROMEDIO					373,24	

Observaciones: Combustible D20K

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: Ing. Juan Jima	Nombre: Ing. Diego Lincango	Nombre: Ing. Andrés Urbina
f) 	f) 	f) 

	LABORATORIO DE PRUEBAS		Código: CCICEV/LP/PMPD
	REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS MATERIAL PARTICULADO CICLO DIESEL		Rev. 1/1
			Página 2 de 5

Solicitud	N°
Fecha:	14/03/2017




Nombre de Solicitante / Empresa	Ing. Christian Gómez / Ing. Lenín Vargas
Técnico Responsable CCICEV	Ing. Diego Lincango / Ing. Juan Jima



DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO		
MARCA	HINO - Serie 500	
MODELO	GH	
N° Chasis (VIN) / PLACA	PMA-1102	
N° Motor		
Motor (Datos del fabricante)	Posición	Línea
	Cilindrada y N° cilindros	7684 cc. / 6 Cilindros
	Max. Potencia (HP/rpm)	261 HP @ 2500 RPM
	Max Torque (N.m/rpm)	77 KgM @ 1500 RPM
	Combustible	D20K
Transmisión (manual/automática) [N°]	Manual	
Kilometraje	169200	
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

PRUEBA DE OPACIDAD ESTÁTICA - NTE INEN 2 207						
	RPM	Opacidad %	Opacidad %	Opacidad %	Promedio %	Desviación %
PRUEBA 1		72	67	66	68,3	3,2
PRUEBA 2		69	63	60	64,0	4,6
PRUEBA 3		61	53	65	59,7	6,1
VALOR PROMEDIO					64,0	

PRUEBA DE MATERIAL PARTICULADO						
	RPM	MP (mg/m3)	MP (mg/m3)	MP (mg/m3)	Promedio (mg/m3)	Desviación
PRUEBA 1		351,36	272,71	246,12	290,06	54,7
PRUEBA 2		319,7	226,44	201,35	249,16	62,4
PRUEBA 3		204,53	159,37	244,27	202,72	42,5
VALOR PROMEDIO					247,32	

Observaciones: Combustible D20K

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: Ing. Juan Jima	Nombre: Ing. Diego Lincango	Nombre: Ing. Andrés Urbina
f) 	f) 	f) 

	LABORATORIO DE PRUEBAS		Código: CCICEV/LP/PMPD
	REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS MATERIAL PARTICULADO CICLO DIESEL		Rev. 1/1
			Página 3 de 5

Solicitud	N°
Fecha:	14/03/2017



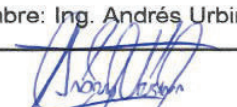
Nombre de Solicitante / Empresa	Ing. Christian Gómez / Ing. Lenín Vargas
Técnico Responsable CCICEV	Ing. Diego Lincango / Ing. Juan Jima



DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO		
MARCA	HINO - Serie 500	
MODELO	GH	
N° Chasis (VIN) / PLACA	PMA-7605	
N° Motor		
Motor (Datos del fabricante)	Posición	Línea
	Cilindrada y N° cilindros	7684 cc. / 6 Cilindros
	Max. Potencia (HP/rpm)	260 HP @ 2500 RPM
	Max Torque (N.m/rpm)	76 KgM @ 1500 RPM
	Combustible	D20K
Transmisión (manual/automática) [N°]	Manual	
Kilometraje	26125	
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

PRUEBA DE OPACIDAD ESTÁTICA - NTE INEN 2 207						
	RPM	Opacidad %	Opacidad %	Opacidad %	Promedio %	Desviación %
PRUEBA 1		65	62	65	64,0	1,7
PRUEBA 2		63	65	63	63,7	1,2
PRUEBA 3		66	67	64	65,7	1,5
VALOR PROMEDIO					64,4	

PRUEBA DE MATERIAL PARTICULADO						
	RPM	MP (mg/m3)	MP (mg/m3)	MP (mg/m3)	Promedio (mg/m3)	Desviación
PRUEBA 1		318,93	304,13	323,5	315,52	10,1
PRUEBA 2		322,74	327,84	314,17	321,58	6,9
PRUEBA 3		311,62	316,54	302,67	310,28	7,0
VALOR PROMEDIO					315,79	

Observaciones: Combustible D20K

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: Ing. Juan Jima	Nombre: Ing. Diego Lincango	Nombre: Ing. Andrés Urbina
f) 	f) 	f) 

	LABORATORIO DE PRUEBAS		Código: CCICEV/LP/PMPD
	REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS MATERIAL PARTICULADO CICLO DIESEL		Rev. 1/1
			Página 4 de 5

Solicitud	N°
Fecha:	11/02/2017




Nombre de Solicitante / Empresa	Ing. Christian Gómez / Ing. Lenín Vargas
Técnico Responsable CCICEV	Ing. Diego Lincango / Ing. Juan Jima



DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO		
MARCA	HINO - Serie 300	
MODELO	DUTRO	
N° Chasis (VIN) / PLACA	EEI-1274	
N° Motor		
Motor (Datos del fabricante)	Posición	Línea
	Cilindrada y N° cilindros	4009 cc. / 4 Cilindros
	Max. Potencia (HP/rpm)	150 HP @ 2800 RPM
	Max Torque (N.m/rpm)	420 KgM @ 1400 RPM
	Combustible	D20K
Transmisión (manual/automática) [N°]	Manual	
Kilometraje	45700	
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

PRUEBA DE OPACIDAD ESTÁTICA - NTE INEN 2 207						
	RPM	Opacidad %	Opacidad %	Opacidad %	Promedio %	Desviación %
PRUEBA 1		45	44	45	44,7	0,6
PRUEBA 2		43	41	46	43,3	2,5
PRUEBA 3		44	41	42	42,3	1,5
VALOR PROMEDIO					43,4	

PRUEBA DE MATERIAL PARTICULADO						
	RPM	MP (mg/m3)	MP (mg/m3)	MP (mg/m3)	Promedio (mg/m3)	Desviación
PRUEBA 1		422,17	405,9	382,54	403,54	19,9
PRUEBA 2		332,37	340,19	357,92	343,49	13,1
PRUEBA 3		385,76	371,22	346,35	367,78	19,9
VALOR PROMEDIO					371,60	

Observaciones: Combustible D20K

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: Ing. Juan Jima	Nombre: Ing. Diego Lincango	Nombre: Ing. Andrés Urbina
f) 	f) 	f) 

	LABORATORIO DE PRUEBAS		Código: CCICEV/LP/PMPD
	REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS MATERIAL PARTICULADO CICLO DIESEL		Rev. 1/1
			Página 5 de 5

Solicitud	N°
Fecha:	11/02/2017



Nombre de Solicitante / Empresa	Ing. Christian Gómez / Ing. Lenín Vargas
Técnico Responsable CCICEV	Ing. Diego Lincango / Ing. Juan Jima

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO		
MARCA	MAZDA	
MODELO	BT-50	
N° Chasis (VIN) / PLACA	PPC-2147	
N° Motor		
Motor (Datos del fabricante)	Posición	Línea
	Cilindrada y N° cilindros	2500cc / 4 Cilindros
	Max. Potencia (HP/rpm)	260 HP @ 2500 RPM
	Max Torque (N.m/rpm)	76 KgM @ 1500 RPM
	Combustible	DK20
Transmisión (manual/automática) [N°]	Manual	
Kilometraje	139250	
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

PRUEBA DE OPACIDAD ESTÁTICA - NTE INEN 2 207						
	RPM	Opacidad %	Opacidad %	Opacidad %	Promedio %	Desviación %
PRUEBA 1		8	2	4	4,7	3,1
PRUEBA 2		2	2	2	2,0	0,0
PRUEBA 3		2	2	5	3,0	1,7
VALOR PROMEDIO					3,2	

PRUEBA DE MATERIAL PARTICULADO						
	RPM	MP (mg/m3)	MP (mg/m3)	MP (mg/m3)	Promedio (mg/m3)	Desviación
PRUEBA 1		45,95	11,48	21,41	26,28	17,7
PRUEBA 2		11,7	11,65	3,41	8,92	4,8
PRUEBA 3		4,86	5,76	18,59	9,74	7,7
VALOR PROMEDIO					14,98	

Observaciones: Combustible D20K

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: Ing. Juan Jima	Nombre: Ing. Diego Lincango	Nombre: Ing. Andrés Urbina
f) 	f) 	f) 