



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIO PARAMÉTRICO DE LA INFLUENCIA DE NANOPARTÍCULAS EN EL DIÉSEL DEL ECUADOR

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

KLÉBER SANTIAGO PALOMO PALOMO
kleberthiago7@hotmail.com

DIRECTOR:
ING. VÍCTOR HUGO HIDALGO DÍAZ D.Sc
victor.hidalgo@epn.edu.ec

Quito, septiembre de 2022

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **KLEBER SANTIAGO PALOMO PAOMO**, bajo mi supervisión.

Ing. Víctor Hugo Hidalgo Díaz D.Sc
DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **Kléber Santiago Palomo Palomo**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Ing, Kleber Santiago Palomo Palomo

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico a mi hermosa familia; mi esposa Francia, mis hijos Nyah y Randall, que han estado a mi lado sin importar las circunstancias que hemos atravesado y la vez son el impulso diario para dar lo mejor de mí en todo aspecto y que gracias a Dios puedo tenerlos a mi lado y disfrutar de ellos después de lo experimentado en los últimos años.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme el regalo de la vida y la salud cada día como muestra de su amor, a mi esposa Francia por su apoyo incondicional en todo momento, a mis padres José y Martha por darme las palabras necesarias en el momento exacto.

Al Doctor Víctor Hidalgo por su apoyo al escalar un peldaño más en mi preparación, mediante su dirección profesional, conocimientos y calidad humana.

A cada ingeniero que en las aulas compartieron su experiencia y conocimiento profesional, a fin de sembrar en mí lo necesario para ser mejor ser humano y mejor profesional cada día, así aportar mi granito de arena a la sociedad.

A la ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, por abrirme sus puertas al conocimiento y permitirme obtener el cuarto nivel en mi vida profesional.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	XII
Pregunta de Investigación.....	XIII
Objetivo general.....	XIII
Objetivos específicos.....	XIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Motor Diésel.....	1
1.1.1 Parámetros.....	1
1.1.1.1 Torque.....	1
1.1.1.2 Potencia.....	1
1.1.1.3 Consumo.....	1
1.1.1.4 Emisiones contaminantes.....	2
1.1.1.5 Eficiencia.....	2
1.1.1.6 Rendimiento térmico.....	2
1.2 Diésel.....	2
1.2.1 Propiedades físicas y químicas.....	2
1.3 Biodiésel.....	4
1.3.1 Propiedades físicas y químicas.....	4
1.4 Procesos de disminución de emisiones.....	4
1.4.1 Catalizadores antipartículas.....	4
1.4.2 Motores turboalimentados.....	5
1.4.3 Sistema AdBlue.....	5

1.5 Nanoaditivos del Diésel.....	5
1.5.1 Tipos	6
1.5.1.1 Nanoaditivos metálicos	6
1.5.1.3 Nanoaditivos magnéticos	6
1.5.1.4 Nanoaditivos orgánicos.....	6
1.5.1.5 Nanoaditivos en base a nanotubos de carbono (CNT).....	7
1.5.2 Impacto ambiental	7
1.5.3 Implicaciones en la salud	8
1.6 Diagrama de Pareto.....	9
2. METODOLOGÍA.....	10
2.4 Pruebas Dinamométricas para análisis de torque y potencia	14
2.5 Procedimiento estadístico de los datos obtenidos.....	16
2.5.1 Prueba de repetibilidad	17
2.5.2 Prueba de reproducibilidad	17
2.5.3 Distribución T student	17
2.6 Prueba de emisiones	19
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
3.1. Resultados	19
3.1.1 Propiedades fisicoquímicas del diésel.....	19
3.1.2 Consumo de combustible.....	19
3.1.3 Velocidad media de la ruta establecida.....	22
3.1.4 Valores de material particulado PM _{2.5}	22
3.1.5 Valores de los gases contaminantes.....	23

3.1.5.1	Valores de CO ₂ por cada mezcla de combustible.....	23
3.1.5.2	Valores de CO por cada mezcla de combustible.....	25
3.1.5.3	Valores de HC por cada mezcla de combustible.....	28
3.1.5.4	Valores de NO _x por cada mezcla de combustible.....	30
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	33
4.1.	Conclusiones.....	33
4.2.	Recomendaciones.....	34
	Referencias Bibliográficas.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.0.1. Propiedades fisicoquímicas del diésel.	3
Figura 2.1 Esquema de la metodología empleada para el presente proyecto.	11
Figura 2.2 Esquema de recolección de datos, de estudios previos.	13
Figura 2.3 Esquema de los equipos de medición.	14
Figura 2.4 Curvas de Potencia y Torque de una mezcla de diésel con nanopartículas de ZnO a diferentes concentraciones.	15
Figura 2.5 Distribución t de Student con 10 grados de libertad.	18
Figura 3.1 Gráfica de control consumo de combustible de Diésel.	20
Figura 3.2 Gráfica de control de consumo de combustible de Diésel y óxido de cerio.	21
Figura 3.3 Gráfica de control de emisiones de CO ₂ con Diésel.	24
Figura 3.4 Gráfica de control de emisiones de CO ₂ con Diésel y óxido de cerio.	25
Figura 3.5 Gráfica de control de emisiones de NO _x con Diésel y óxido de cerio.	26
Figura 3.6 Gráfica de control de emisiones de CO con Diésel y óxido de cerio.	27
Figura 3.7 Gráfica de control de emisiones de HC con Diésel.	28
Figura 3.8 Gráfica de control de emisiones de HC con Diésel y óxido de cerio.	29
Figura 3.9 Gráfica de control de emisiones de NO _x con Diésel.	30
Figura 3.10 Gráfica de control de emisiones de NO _x con Diésel y óxido de cerio.	31
Figura 3.11 Diagrama de Pareto de los parámetros esenciales de un motor.	32
Figura 4.1 Grafica de control de medias muestrales de consumo de combustible con diésel.	39
Figura 4.2 Grafica de control de medias muestrales de consumo de combustible con diésel y óxido de cerio.	39
Figura 4.3 Grafica de control de medias muestrales de CO ₂ con diésel.	40
Figura 4.4 Grafica de control de medias muestrales de CO ₂ con diésel y óxido de cerio.	40
Figura 4.5 Grafica de control de medias muestrales de CO con diésel.	41
Figura 4.6 Grafica de control de medias muestrales de CO con diésel y óxido de cerio.	41

Figura 4.7 Grafica de control de medias muestrales de HC con diésel.	42
Figura 4.8 Grafica de control de medias muestrales de HC con diésel y óxido de cerio...	42
Figura 4.9 Grafica de control de medias muestrales de NOx con diésel.	43
Figura 4.10 Grafica de control de medias muestrales de NOx con diésel y óxido de cerio.	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tipo de nanoaditivos.	7
Tabla 2.1 Propiedades fisicoquímicas de la mezcla en análisis.	12
Tabla 2.2 Par y torque máximo obtenido de cada muestra.	15
Tabla 2.3 Relación de los estudios abarcados en el presente proyecto.	16
Tabla 3.1 Propiedades fisicoquímicas del combustible analizado.	19
Tabla 3.2 Consumo de combustible del diésel base.	20
Tabla 3.3 Consumo de combustible de la mezcla diésel y óxido de cerio a 250 ppm.....	21
Tabla 3.4 velocidad promedio del vehículo analizado.	22
Tabla 3.5 Datos de material particulado PM _{2.5} de diésel y las mezclas.	22
Tabla 3.6 Promedios de Material Particulado PM _{2.5} de las diferentes mezclas.....	23
Tabla 3.7 Valores de CO ₂ para el diésel base.....	23
Tabla 3.8 Valores de CO ₂ para la mezcla diésel base y óxido de cerio a 250 ppm.....	24
Tabla 3.9 Valores de CO para el diésel base.....	26
Tabla 3.10 Valores de CO para la mezcla diésel base y óxido de cerio a 250 ppm.....	27
Tabla 3.11 Valores de HC para el diésel base.	28
Tabla 3.12 Valores de HC para la mezcla diésel base y óxido de cerio a 250 ppm.	29
Tabla 3.13 Valores de NO _x para el diésel base.	30
Tabla 3.14 Valores de NO _x para la mezcla diésel base y óxido de cerio a 250 ppm.	31
Tabla 3.15 Análisis adimensional de los parámetros de un motor diésel.....	33

RESUMEN

En la presente investigación se realizó un estudio de comparación sobre dos artículos científicos elaborados previamente para medir la cantidad de emisiones contaminantes y material particulado generado por un motor de compresión o motor diésel al cumplir un ciclo de ruta en el Distrito Metropolitano de Quito, para estas pruebas se utilizó aditivos y oxido de cerio en diferentes porcentajes añadidos al diésel y se analizó el consumo de combustible con respecto al kilometraje recorrido.

El propósito de esta investigación fue identificar las ventajas que presenta la utilización de nanopartículas al ser combinados con combustibles fósiles reduciendo las emisiones de material particulado y aumentado la eficiencia del vehículo. Para la obtención de los resultados se realizaron las mediciones por medio de pruebas dinámicas permitiendo recolectar información en tiempo real a diferentes cantidades de diésel y nanoaditivos.

Los resultados se analizaron estadísticamente por medio de diagramas de Pareto de los principales parámetros existentes en un motor de combustión interna a Diésel con la utilización de nanopartículas y se redujo los valores en $MP_{2.5}$, CO y CO_2 obteniendo como resultados una disminución considerable de gases contaminantes y consumo de combustible brindando mayor importancia a las nanopartículas dentro del campo automotriz.

Palabras clave: Nanopartículas, combustibles fósiles, ciclo de ruta, pruebas dinámicas.

ABSTRACT

In this research, a comparison study was conducted on two scientific articles previously prepared to measure the amount of pollutant emissions and particulate matter generated by a compression or diesel engine when a route cycle was completed in the Metropolitan District of Quito. For these tests, additives and cerium oxide were used in different percentages added to the diesel and the fuel consumption was analyzed with respect to the mileage traveled.

The purpose of this research was to identify the advantages of using nanoparticles when combined with fossil fuels, reducing particulate matter emissions and increasing vehicle efficiency. In order to obtain the results, measurements were made by means of dynamic tests allowing the collection of information in real time at different amounts of diesel and nanoadditives.

The results were statistically analyzed by means of Pareto diagrams of the main parameters existing in a diesel internal combustion engine with the use of nanoparticles and the values in MP2.5, CO and CO₂ were reduced, obtaining as results a considerable reduction of polluting gases and fuel consumption, giving greater importance to nanoparticles in the automotive field.

Keywords: Nanoparticles, fossil fuels, route cycle, dynamic tests.

ESTUDIO PARAMÉTRICO DE LA INFLUENCIA DE NANOPARTÍCULAS EN EL DIÉSEL DEL ECUADOR.

INTRODUCCIÓN

La utilización de combustibles fósiles en motores de combustión interna genera emisiones contaminantes que producen problemas al medio ambiente y a la salud de las personas por la presencia de material particulado (PM), hidrocarburos (HC), óxidos nítricos (NO_x), dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO). Los métodos operados para la reducción de las emisiones en los vehículos se dan a través de catalizadores antipartículas, motores turboalimentados, sistemas AdBlue o la utilización de nanopartículas que reformule la composición del diésel base utilizado en el país.

Diferentes estudios han demostrado que los gases procedentes de la combustión al mantener una exposición continua afectan al sistema respiratorio, cardiovascular y nervioso produciendo muertes prematuras o problemas de salud irreversibles, presentándose de forma más agresiva en personas de edad avanzada y con problemas de salud. Además, se ha considerado oportuno mencionar en esta investigación que la contaminación ambiental es producto de la emisión de gases causados por los vehículos ocasionando cambios inoportunos en el clima y un desequilibrio ecológico por el desgaste de la capa de ozono.

Se realizó una investigación de los principales parámetros existentes durante el proceso de combustión en un motor de compresión y un estudio paramétrico de cada uno de ellos, determinando la importancia y el efecto de la utilización de la mezcla de diésel con una solución a base de óxido de cerio en diferentes concentraciones de 100, 250 y 500 ppm. Existen parámetros que se analizaron de forma adimensional para identificar los fenómenos y determinar las causas de los resultados obtenidos al realizar las pruebas.

Los valores conseguidos al utilizar nanoaditivos en el diésel se realizaron mediante pruebas dinámicas siguiendo un ciclo de ruta establecido para el vehículo, simulando las condiciones de trabajo diarias al aplicar una carga de 70% y una conducción urbana para obtener datos reales. Se presentó una disminución significativa en emisiones de gases de escape específicamente en PM_{2.5} y en consumo de combustible, pero un incremento considerable en NO_x y HC en comparación al diésel base producidos por una combustión incompleta o por la elevación de la presión y temperatura dentro de los cilindros.

Pregunta de Investigación

¿Cómo influye en el diésel la mezcla de diferentes nanoaditivos en las emisiones contaminantes, la eficiencia y el consumo de combustible?

Objetivo general

- Realizar un estudio paramétrico de la influencia de nanopartículas del diésel en el Ecuador.

Objetivos específicos

- Realizar una investigación bibliográfica acerca de los nanoaditivos que se usan en el diésel filtrado.
- Analizar los resultados obtenidos previamente, mediante teoría adimensional.
- Analizar los resultados obtenidos en el proceso del estudio paramétrico.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Motor Diésel

Es un motor de combustión interna que funciona mediante un proceso de autoencendido entre la mezcla del diésel y el oxígeno dentro del cilindro, esto se produce por las altas temperatura generadas por la relación de compresión muy elevada que es de 16 a 1. Estos motores trabajan por medio de una bujía incandescente para arranques en frío y aumento de la temperatura en la cámara de combustión. (Molina , 2012)

1.1.1 Parámetros

1.1.1.1 Torque

Se denomina a la fuerza de giro que aplica el pistón al cigüeñal, el torque de salida depende de la relación de compresión, velocidad, presión de combustión y de la relación entre el diámetro-carrera. En los motores diésel inicia desde las 1500 rpm y llega al pico máximo a las 3000 rpm ya que se usan para trabajos pesados y movilización de carga. (Arredondo Díaz, 2013)

1.1.1.2 Potencia

Se denomina a la rapidez de giro del motor, depende directamente de las revoluciones y del torque. La potencia de un vehículo diésel se usa principalmente para mantener la respuesta del torque, es decir, permite acelerar y equilibrar la velocidad de funcionamiento para así desplazarse de forma segura. (Rocha Hoyos, Llanes Cedeño, Celi Ortega, & Peralta Zurita, 2019)

1.1.1.3 Consumo

El consumo de combustible depende de la carga, el peso, el tipo de conducción y las condiciones de terreno que se presenten; el consumo aproximado es de 30 a 40 L por cada 100 km recorridos. Existen vehículos turboalimentados con el fin de entregar mayor torque y potencia consumiendo menor cantidad de combustible logrando sistemas más eficientes. (Soto Chicoma, 2019)

1.1.1.4 Emisiones contaminantes

Las principales emisiones contaminantes por un motor diésel se dan al no quemar en su totalidad el combustible inyectado en los cilindros y se origina al presentar problemas de funcionamiento. Los gases producidos por la combustión son: Monóxido de carbono (CO), Óxidos de nitrógeno (NOx), Hidrocarburos (HC), Material particulado (PM) y Óxidos de azufre (SOx). (Limón Tamés, 2013)

1.1.1.5 Eficiencia

En motores térmicos existe un desperdicio de energía que se transforma en calor, con los avances de la tecnología la eficiencia ha aumentado hasta un 45% en motores diésel con el fin de utilizar motores más compactos que cumplan con los requerimientos de trabajo y consuman menor cantidad de combustible para así contaminar menos durante su funcionamiento. (Báez Chamorro, 2016)

1.1.1.6 Rendimiento térmico

Es el calor que se produce al generar un trabajo por medio de la combustión y se expresa mediante un porcentaje, en motores diésel es del 35%. En estos motores se aprovecha el aumento de temperatura en el cilindro durante el ciclo de compresión al inyectar el combustible a elevadas presiones y en forma de aerosol, de esta forma se produce la autoignición alcanzando temperaturas de hasta 260°C. (Mantilla González , Roncancio Gómez, & Galeano Urueña, 2015)

1.2 Diésel

1.2.1 Propiedades físicas y químicas

Es un aceite pesado que presenta aditivos para mejorar sus prestaciones y brindar mayor rendimiento y potencia al motor. Las propiedades que presenta son establecidas por ensayos realizados en un laboratorio y según (INEN 1489, 2012) se clasifican en:

- **Inflamabilidad:** Son las condiciones en que el diésel puede generar una combustión al aumentar la temperatura y la presión.
- **Viscosidad cinemática:** Es la facilidad con la que el diésel se traslada por el circuito de alimentación de combustible y su densidad debe ser alta para así lubricar los inyectores y la bomba.

- **Contenido de agua:** Deterioran al motor y al sistema de alimentación de combustible provocando una combustión ineficiente.
- **Contenido de cenizas:** Producen un enlodado en el interior del motor ocasionando un desgaste prematuro en sus componentes y se determina la cantidad pesando los residuos de ceniza después de la combustión.
- **Contenido de azufre:** La combustión del azufre produce gases que se transforman en líquidos corrosivos al entrar en contacto con el agua generando la corrosión en el motor y en el sistema de refrigeración.
- **Corrosión a la lámina de cobre:** Se realiza esta prueba para establecer la cantidad de corrosión que presenta el diésel en relación al azufre que se origina por la refinación del combustible fósil.
- **Residuo carbonoso:** Permite determinar la cantidad de materiales pesados encontrados en el diésel que no se evaporan al aumentar la temperatura y se denomina coque.
- **Volatilidad:** Es la evaporación del diésel a condiciones determinadas, a mayor volatilidad se produce un menor consumo de combustible y disminuye las emisiones contaminantes.
- **Índice de cetano:** Determina la facilidad y rapidez de la inflamación del diésel, establece la calidad del combustible dependiendo el cetanaje y produce una mejor combustión.

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Métodos de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	--	NTE INEN 1493 PROCEDIMIENTO A
Contenido de agua y sedimento	%	--	0,05	NTE INEN 1494
Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	--	0,15	NTE INEN 1491
Contenido de cenizas	%	--	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	--	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática al 40%	mm ² /s	2	5	NTE INEN 810
Contenido de azufre	%	--	0,7	ASTM D4294 NTE INEN1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	--	N _o .3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	--	45	--	NTE INEN 1495
Contenido de biodiesel	%	--	5	NTE INEN 14078

Figura 1.0.1. Propiedades fisicoquímicas del diésel.

Fuente: (INEN 1489, 2012)

1.3 Biodiésel

1.3.1 Propiedades físicas y químicas

Es un combustible renovable de origen vegetal o animal y presenta mejores propiedades con respecto al diésel. Presenta una mejor viscosidad, menor desgaste y no produce depósitos en las toberas evitando el bloqueo del sistema de alimentación de combustible. La materia prima con la que se fabrica el biodiésel varía dependiendo el lugar y pueden ser de soja, palma, colza, higuera, aceite de girasol, aceite de frituras y sebo de animales. El biodiésel reduce las emisiones contaminantes en un 40% de HC, 35% CO y 35% PM. (Medina Ramírez, Chávez Vela, & Jáuregui Rincón, 2012)

Propiedad	Unidad	Valor Aproximado
Conversión	% (m / m)	96,50 a 97,50
Densidad a 15°C	Kg. / m ³	860 a 900
Viscosidad a 40°C	mm ² / gr.	3,50 a 5,00
Punto Inflamación	°C	120
Contenido de Azufre	mg / Kg.	10
Índice de Cetanos	Nº	51
Contenido máximo de agua	mgr. / Kg.	500
Contenido de metanol	% (m/m)	0,20
Contenido de monoglicéridos	% (m/m)	0,80
Contenido de diglicéridos	% (m/m)	0,80
Contenido de triglicéridos	% (m/m)	0,20
Glicerol Libre	% (m/m)	0,02
Glicerol Total	% (m/m)	0,025
Metales del grupo I (Na – K)	mgr. / Kg.	5,00
Metales del grupo II (Ca – Mg)	mgr. / Kg.	5,00
Contenido de fósforo	mgr. / Kg.	10,00
Índice de Yodo (Para Soja)	gr. yodo/100 grs.	120

Figura 1.2. Propiedades fisicoquímicas del biodiésel.

Fuente: (Echeverría, 2018)

1.4 Procesos de disminución de emisiones

1.4.1 Catalizadores antipartículas

Es un sistema que transforma los gases de escape en dióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua que no son tóxicos para las personas, además elimina las partículas de hollín generadas por la combustión a través de un proceso de regeneración. Este sistema

se encuentra adaptado al tubo de escape por lo que debe recibir un mantenimiento programado para así prolongar su tiempo de funcionamiento y evitar saturaciones. Su diseño se presenta en forma de paneles cerámicos recubiertos por materiales nobles como el paladio, platino y rodio.

Para un funcionamiento adecuado debe alcanzar temperaturas de 400 a 700°C por lo que su conducción se debe encontrar entre 2000 a 3000 rpm para no saturar el sistema de escape. El vehículo realiza una regeneración automática cada 1000 kilómetros y tarda entre 2 a 3 minutos, eliminando todos los residuos encontrados en el catalizador por lo que se recomienda no disminuir las revoluciones durante este proceso de limpieza. (Torres Romero & Medina Lima, 2017)

1.4.2 Motores turboalimentados

Presenta una turbina centrífuga que acciona un compresor logrando comprimir los gases de escape que circulan al motor con el fin de producir una mezcla rica obteniendo un aumento de potencia sin aumentar el tamaño del motor o la cilindrada. En estos motores existe un intercooler que disminuye la temperatura del aire de admisión y tiene como principales ventajas: menor consumo de combustible, emisiones, ruido y peso. (López, 2013)

1.4.3 Sistema AdBlue

Es un método de reducción catalítica de emisiones NOx por medio de una solución acuosa de urea con un 32,5% que se ubica a continuación del filtro de partículas y no debe tener contacto con la carrocería del vehículo ya que daña la pintura y produce corrosión. El funcionamiento del AdBlue se produce a temperaturas elevadas que transforma los NOx en Nitrógeno y Agua que no son perjudiciales para la salud y la naturaleza. Si se agota el nivel de urea en el vehículo diésel va a fallar y no va a arrancar como medio de protección hasta que se recargue el nivel del aditivo. (Valero, 2020)

1.5 Nanoaditivos del Diésel

El uso de nanoaditivos disminuye las emisiones de gases contaminantes emitidos por la combustión y el consumo de combustible. Las nanopartículas al tener contacto con un combustible fósil producen un cambio en las propiedades termofísicas aumentando la conductividad térmica y las tasas de transferencia de calor. Mejora la velocidad de liberación de calor ya que trabaja como un lubricante y de esta forma necesita menor

cantidad de combustible para generar un trabajo. (Segovia , Benavides, Melo, & Montenegro, 2022)

1.5.1 Tipos

1.5.1.1 Nanoaditivos metálicos

Los metales presentan baja energía de ionización, alta densidad y punto de fusión elevado produciendo una combustión rápida y eficaz al entrar en contacto con el oxígeno. Los cambios que producen en el diésel les hace idóneos para la creación de óxidos metálicos que generan un máximo desempeño con una combustión completa reduciendo la cantidad de emisiones tóxicas, se utilizan metales como el Aluminio, hierro y boro. Los nanoaditivos metálicos oxidan el monóxido de carbono reduciendo los tiempos de ignición, mejora la eficiencia térmica generando una combustión más limpia y aumenta la eficiencia en un 10%. (Ojeda , Herrera, Sierra, & Tamayo, 2015)

1.5.1.3 Nanoaditivos magnéticos

Los ferrofluidos en el diésel no tienden aglomerarse ya que presentan un ordenamiento regular aumentando la eficiencia hasta de un 12% generado mayor trabajo con menor cantidad de combustible de hasta un 11% en comparación al diésel puro. Al realizar pruebas dinámicas cumpliendo ciclos de rutas establecidos existe un aumento de la temperatura en el motor y la emisión de grandes cantidades de monóxido de carbono (CO) por lo que los fabricantes recomiendan su uso en pequeñas proporciones y fusionando con otros nanoaditivos. (Barreto de Oliveira, 2015)

1.5.1.4 Nanoaditivos orgánicos

Están formados por carbono y sustancias orgánicas, se utiliza nanotubos de carbono (CNT) en sus diferentes composiciones que son individuales, dobles o triples modificando las características del combustible. El principal nanoaditivo orgánico usado es de glicerina con el fin de formar un combustible estable con cargas de 15% de agua, por su composición al entrar en contacto con el aire se presenta una evaporación acelerada aumentando la eficiencia de hasta un 14,2% para el diésel. (Guasumba, Oramas Proaño, Sáez Erazo, & Granda Fuel, 2021)

Tabla 1.1 Tipo de nanoaditivos.

Tipos	Composición	Eficiencia
Nanoaditivos metálicos	Formado por metales como: Aluminio, hierro y boro.	10%
Nanoaditivos magnéticos	Formado por MNp y CMC, realizan proceso de ósmosis directa.	12%
Nanoaditivos orgánicos	Formado por carbono, sustancias orgánicas y NTC.	14,2%

Fuente: (Ojeda , Herrera, Sierra, & Tamayo, 2015)

1.5.1.5 Nanoaditivos en base a nanotubos de carbono (CNT)

La mezcla de este nanoaditivo con el diésel convencional aumenta la eficiencia térmica reduciendo el consumo de combustible y por ende las emisiones contaminantes. Los resultados de este nanoaditivo son favorables por su fácil dispersión en el combustible fósil presentando una baja de monóxido de carbono y manteniendo los rangos de emisiones del material particulado. Se utiliza concentraciones de 25ppm, 50ppm y 100ppm aumentando la eficiencia hasta un 5,3% y disminuyendo la temperatura de la cámara de combustión por sus propiedades lubricantes. (Basha & Anand , 2014)

1.5.2 Impacto ambiental

Los nanoaditivos combinados con un combustible fósil son expulsados al exterior una vez terminado el proceso de combustión, se debe tener en cuenta los riesgos que presentan al medio ambiente por su tamaño reducido y su fácil difusión. Las partículas en el diésel al presentar una escala nano de entre 10nm a 70nm se trasladan de forma rápida afectando la estructura molecular de los sistemas que entran en contacto con las mismas. Las principales nanopartículas existentes en los gases de escape son dióxido de titanio (TiO₂), óxido de cerio (CeO₂), óxido de aluminio(Al₂O₃), óxido de magnesio (MgO), óxidos de hierro (Fe₂O₃) y óxido de zirconio (ZrO₂). (Gregorio, y otros, 2015)

Según (Benavides Guayara, 2017), los principales problemas de emisión de gases de escape en el ambiente se presentan por su:

1. Composición fisicoquímica incluyendo tamaño, forma, actividad catalítica, área superficial, potencial redox, entre otras.
2. Toxicidad de las partículas de escape al aglomerarse dentro de un espacio cerrado sin ventilación natural o forzada.

3. Posibles daños que pueden ocasionar al pasar por medio de las células vegetales o animales, reduciendo así su tiempo de vida.
4. Radiactividad o reacción que generan al fusionarse con otras partículas del ambiente.
5. Mutaciones en el ADN ocasionando un impacto ambiental y un desbalance en la flora y fauna.

1.5.3 Implicaciones en la salud

El contacto directo de las personas con los motores de combustión interna puede producir problemas de salud implicadas por las nanopartículas que pueden ingresar en el cuerpo humano por medio de las vías respiratorias o tracto intestinal por ingerir líquidos contaminados. Los órganos afectados sufren un deterioro por su rápida propagación a través de la sangre infectando todos los sistemas del cuerpo humano que según (Guano Carreño & Morales Castillo, 2020) pueden producir:

- Las partículas de carbono se adhieren a los pulmones incluso por meses provocando problemas respiratorios.
- Las partículas de cerio pueden ocasionar alteraciones en el ADN y cromosomas.
- Las partículas de óxido de cerio pueden producir problemas en el hígado.
- Las partículas de plata pueden generar apoptosis y necrosis.
- Las partículas de zeolita pueden ocasionar estrés oxidativo y daños en las células.

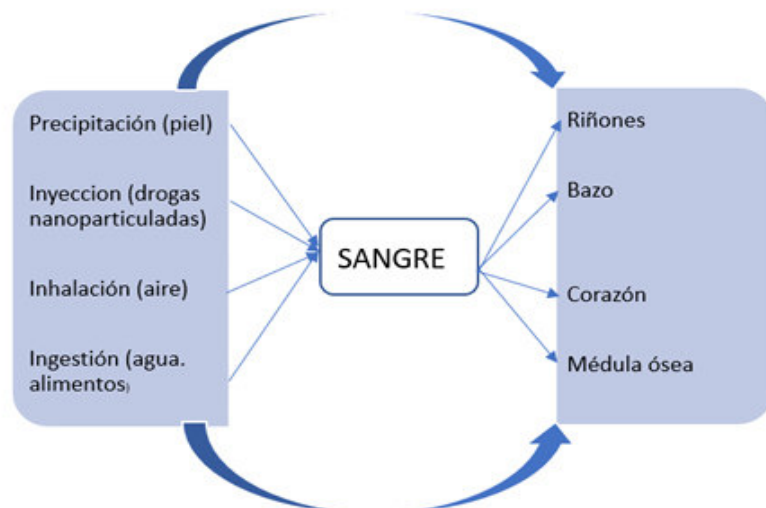


Figura 1.3. Órganos contaminados por nanopartículas.

Fuente: (Heras, Herrera, & Ojeda, 2014)

1.6 Diagrama de Pareto

Es un sistema para definir los puntos que ocasionan una mejora dentro de un estudio a través de valores previamente obtenidos, que se organizan mediante barras de mayor a menor enfocándose en los problemas más complejos a resolver. Este diagrama funciona con una regla del 80/20 que nos informa que el 80% de las consecuencias se producen por el 20% de las acciones que se realice.

Los datos se trasladan a una gráfica que contiene un eje “Y izquierdo” donde se ubica la frecuencia con que ocurre dicho problema, un eje “Y derecho” que se encuentra el porcentaje total de las ocurrencias y un eje “X” que indica los problemas, quejas o dificultades que se presentaron al realizar el estudio. (Aguinaga Barragán , 2007)

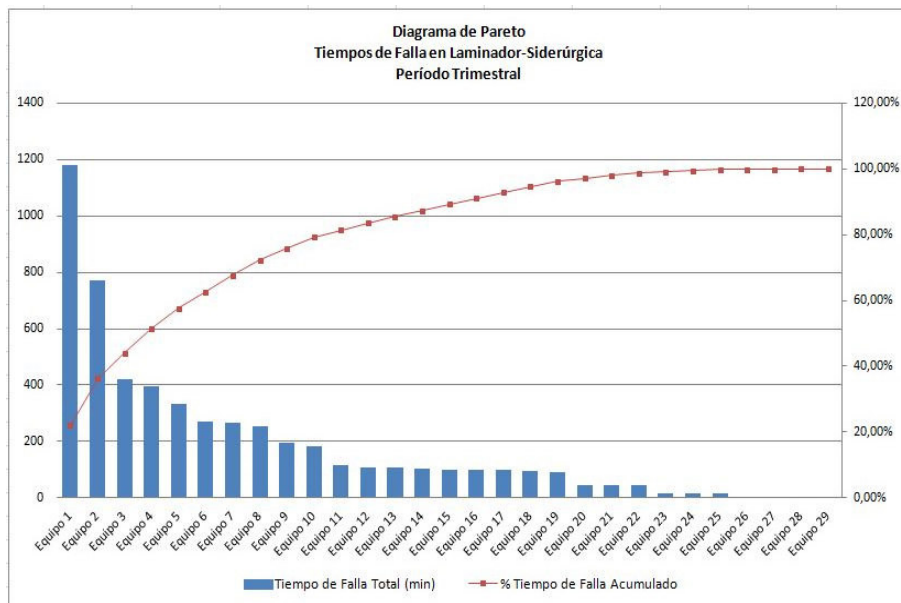


Figura 1.4. Diagrama de Pareto

Fuente: (Muñoz Pincheira, 2016)

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del tema propuesto se empleará un enfoque cuantitativo debido al tipo de variables a considerar en el desarrollo del estudio paramétrico, mismas que se realizarán mediante diagramas de Pareto debido a que se trabajará con una muestra y esta prueba permite contrastar si la media de una población difiere de forma significativa de un valor dado conocido o hipotetizado, así la prueba calcula estadísticos descriptivos para las variables de contraste junto con la Prueba T de Student. En primera instancia la modalidad de investigación a utilizar será bibliográfica mediante artículos científicos, tesis, libros y reglamentos tanto internacionales como nacionales respecto al tema se sustentará la investigación adaptándola a nuestra realidad, al igual que la obtención de las muestras para la aplicación de la Prueba T de Student y el análisis paramétrico correspondiente se efectuará mediante dos tesis previamente realizadas las cuales son el “Estudio de las Emisiones y el Consumo de combustibles de un tracto camión utilizando una mezcla Diésel Nano Aditivo en Carretera” correspondiente a los autores Héctor Marcelo Cueva Hidalgo y a David Sebastián Valle Vásquez y a la tesis con título “Medición de las Emisiones de Material Particulado PM 2.5 en un motor de Combustión Interna de encendido por compresión en la ciudad de Quito con el uso de mezclas de óxido de Cerio y Diésel mediante un ciclo de ruta combinado” correspondiente al autor Patricio Vicente Urbina Guzmán. Para culminar el tipo de investigación a usar será descriptiva, ya que una vez desarrollada la Prueba T de student se describirá la incidencia de determinadas nanopartículas del diésel filtrado en el proceso de combustión. En forma general se puede señalar que la metodología para poder cumplir con los objetivos específicos del presente proyecto de titulación es la siguiente:

1. Se investigará todo lo referente a las nanopartículas presentes en el diésel filtrado en forma bibliográfica.
2. Se obtendrán las muestras a partir de dos tesis previamente realizadas en la Escuela Politécnica Nacional, las cuales son el “Estudio de las Emisiones y el Consumo de combustibles de un tracto camión utilizando una mezcla Diésel Nano Aditivo en Carretera” y “Medición de las Emisiones de Material Particulado PM 2.5 en un motor de Combustión Interna de encendido por compresión en la ciudad de Quito con el uso de mezclas de óxido de Cerio y Diésel mediante un ciclo de ruta combinado”.
3. Se aplicará como prueba paramétrica la Prueba T de Student a las muestras obtenidas de las tesis mencionadas.
4. Se analizarán los resultados obtenidos en las pruebas paramétricas.
5. Se concluirá y se recomendará en función de los resultados obtenidos

2.1 Análisis de parámetros

Para realizar el estudio paramétrico y analizar que parámetros influyen de manera significativa en un vehículo con motor a Diésel con la adición de nanoaditivos con el objetivo de analizar la influencia que estos pueden generar sobre las emisiones contaminantes, la eficiencia de combustión, consumo de combustible, torque y potencia, etc., y el efecto de los nanoaditivos al ser agregados al diésel para la generación de energía.

Para ello se ha desarrollado la siguiente metodología que se muestra a continuación;

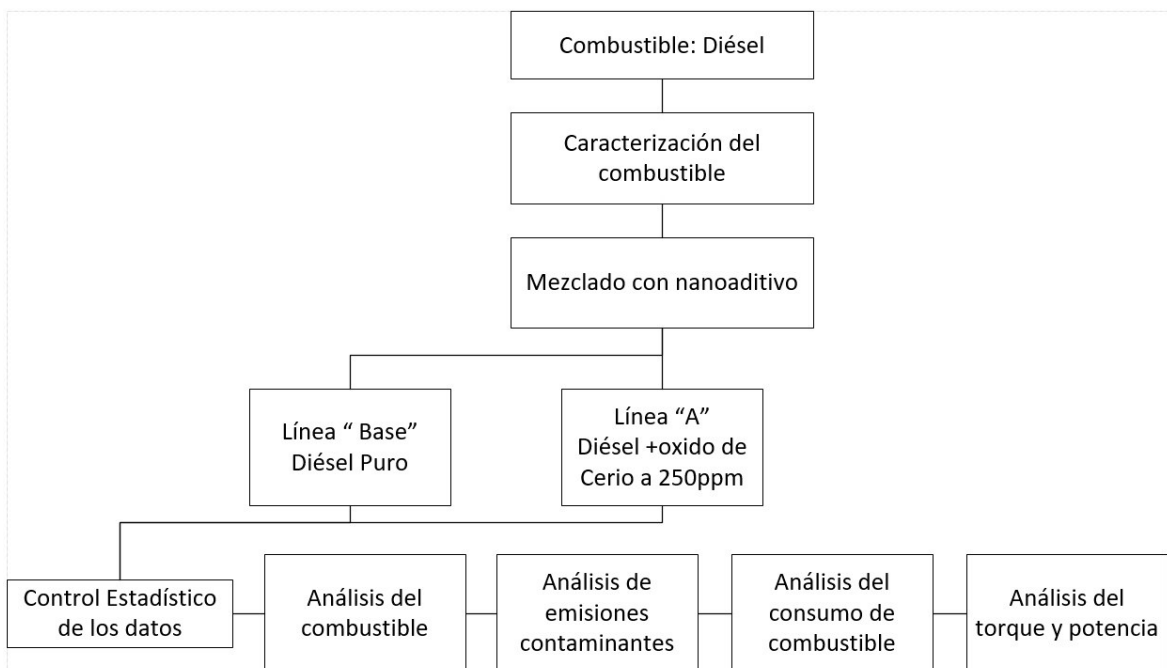


Figura 2.1 Esquema de la metodología empleada para el presente proyecto.

Fuente: Propia

2.2 Combustible

El combustible que se analiza en el presente estudio es a base de diésel, y mezclas de diésel y óxido de cerio como nanoaditivo. Esta sustancia se encuentra en estado líquido y se mezcla con diésel a través de un proceso de mezcla en fase líquida, se obtiene una solución homogénea una sola fase. Se prepara una muestra de 250 ppm de una mezcla de diésel y óxido de cerio.

Primero, se calcula la cantidad de soluto (óxido de cerio) requerida en el solvente (diésel) de cada concentración mediante la siguiente formula:

$$\text{Partes por millón (ppm)} = \frac{\text{masa del soluto}}{\text{masa del solvente}} \cdot 10^6$$

$$\text{Volumen de soluto necesario} = \text{masa de soluto} \times \text{densidad del soluto}$$

Para determinar la incidencia del óxido de cerio en la emisión de material particulado es necesario es indispensable definir las propiedades fisicoquímicas de la mezcla de combustible, a través de la realización de ensayos experimentales basados en las normas ASTM y sus correspondientes a las normas INEN. Tabla tal se presentan las propiedades fisicoquímicas a analizar con su respectiva norma.

Tabla 2.1 Propiedades fisicoquímicas de la mezcla en análisis.

Ensayo	Norma
Punto de inflamación	INEN 1493:2013 (2R)
Contenido de Azufre	ASTM D4294-16
Corrosión de lámina de cobre	ASTM D130-12
Índice de cetano calculado	INEN 1495:2013 (1R)
Ensayo de destilación:90%	ASTM D86-15
Residuo de Carbón Conradson sobre el 10%de residuo.	INEN1491: 2013 (1R)
Contenido de Cenizas	INEN 1492:2013 (1R)
Viscosidad cinemáticas a 40 [°C]	INEN 810:810:2013(1R)
Agua y sedimentos	INEN 1494:2013 (1R)

Fuente: Propia

2.3 Emisiones Contaminantes

Para la medición de emisiones contaminantes CO₂, CO, HC, NO_x se utilizado el equipo AXION R/S, que recopila los datos mediante una sonda colocada en el tubo de escape del vehículo a analizar, estos son procesados y luego transmitidos a una computadora portátil,

simultáneamente se realiza la medición de material particulado ($MP_{2.5}$), con el equipo MAHA MPM-4, con el uso de una sonda igualmente colocada en el tubo de escape que extrae y envía los datos al equipo de medición y luego toda la información se trasfiere a una computadora, donde se procesan los datos para luego validarlos.

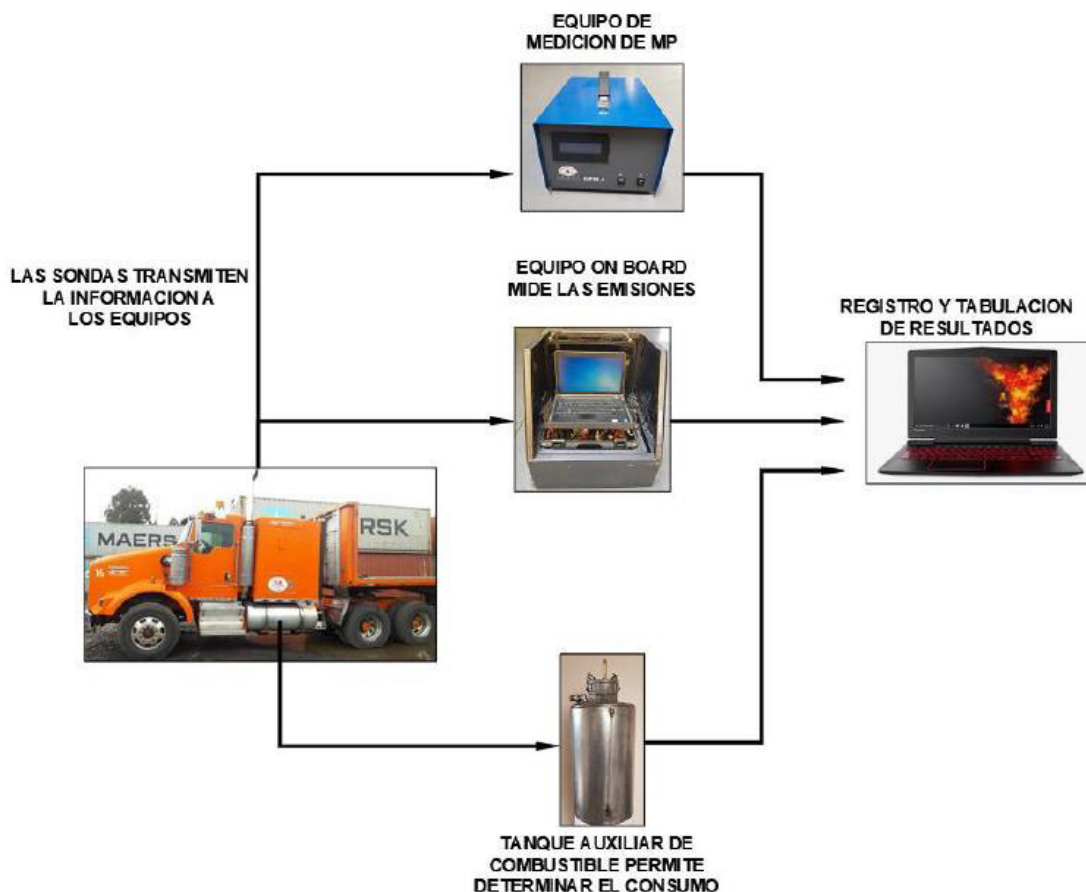


Figura 2.2 Esquema de recolección de datos, de estudios previos.

Fuente: [26]

Para la medición del consumo de combustible se utiliza un tanque externo graduado, con una capacidad correspondiente, una vez terminada la prueba se vuelve a llenar el tanque con recipientes graduados, la diferencia es el consumo de combustible en la figura tal se muestra un esquema del equipo de medición.

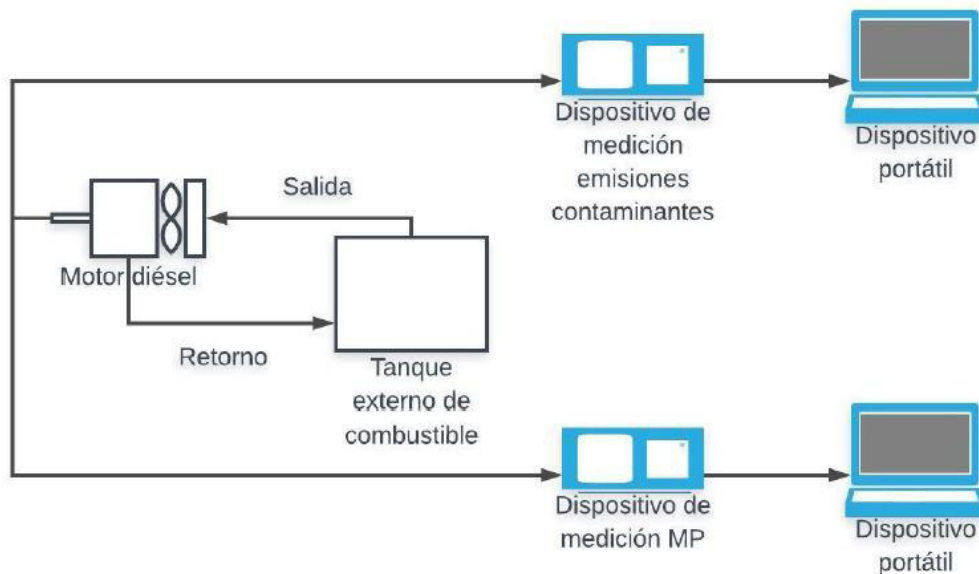


Figura 2.3 Esquema de los equipos de medición.

Fuente: [26]

2.4 Pruebas Dinamométricas para análisis de torque y potencia

Un dinamómetro es un instrumento que permite medir la potencia real entregada por un vehículo, conocer el estado de un motor, optimizar su rendimiento, etc. El dinamómetro es llamado así porque contiene un dinamo eléctrico, este es obligado a girar por el motor analizado, produciendo una corriente eléctrica, estos valores son registrados y exactos arrojando los valores de potencia de salida del motor a través de las ruedas del vehículo.

Para el análisis del torque y potencia se emplea un dinamómetro de chasis, estos se llevan a cabo en el vehículo a analizar, aquí los parámetros a considerar la altura sobre el nivel del mar a la cual se realiza la prueba, la presión atmosférica y humedad relativa, de esto se analiza la potencia pico del diésel con la mezcla, se purga el sistema de inyección de diésel, se procede a ejecutar las pruebas con el fin de obtener datos de potencia, torque y cuantificar las emisiones y demás parámetros, todo esto se realiza en un banco dinamométrico estático y con un analizador de gases. En la figura tal se muestran curvas de torque y potencia de un vehículo bajo regímenes de 1500 a 3500 revoluciones por minuto [rpm].

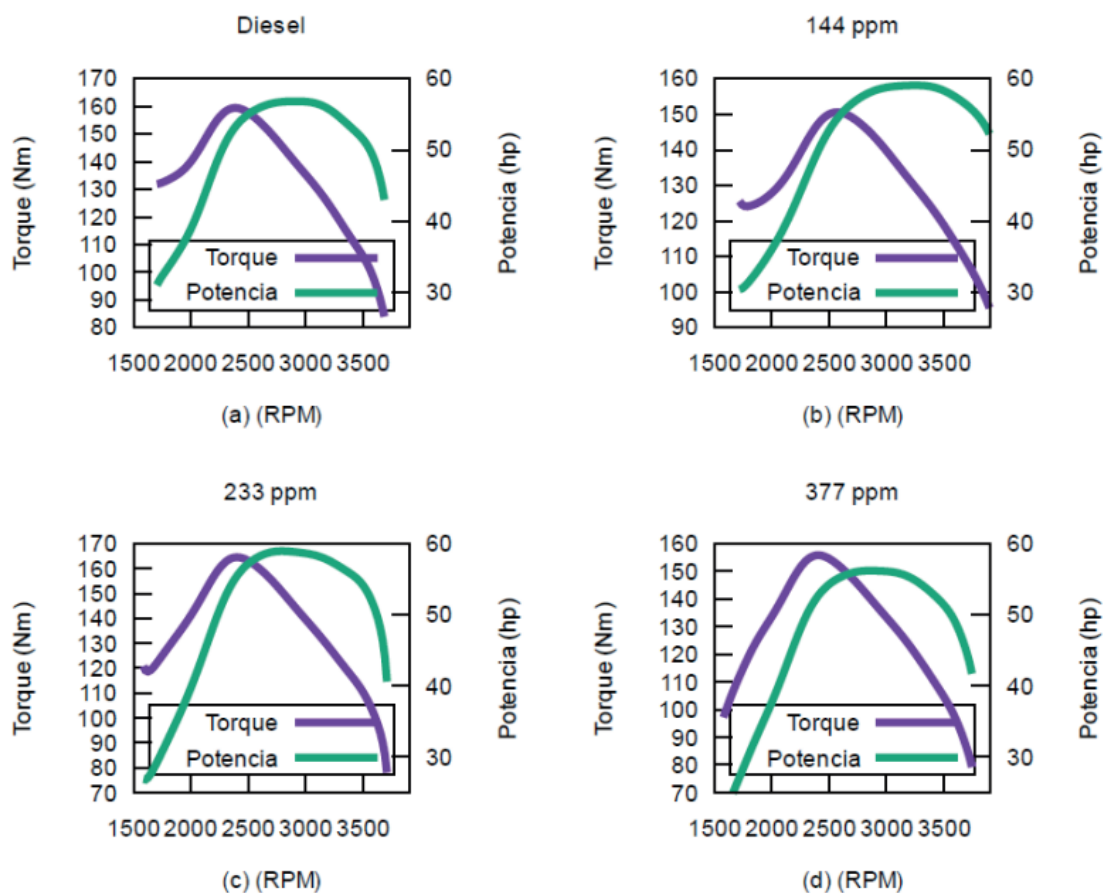


Figura 2.4 Curvas de Potencia y Torque de una mezcla de diésel con nanopartículas de ZnO a diferentes concentraciones.

Fuente: [22]

En la tabla 2.2 se muestran los valores máximos de torque y potencia del diésel puro y las mezclas a diferentes concentraciones.

Tabla 2.2 Par y torque máximo obtenido de cada muestra.

Muestra	Torque máximo [Nm]	Potencia máxima [hp]
Diésel Puro	163 @ 2344 [rpm]	57.8 @ 2766 [rpm]
Mezcla a 144 ppm	153.4 @ 2581 [rpm]	59.8 @ 3345 [rpm]
Mezcla a 233 ppm	168.3 @ 2405 [rpm]	59.7 @ 2694 [rpm]
Mezcla a 377 ppm	159.9 @ 2405 [rpm]	57.2 @ 2862 [rpm]

Fuente: [22]

De los valores de torque y potencia mencionados anteriormente se observa que la adición de nanoaditivos mejora ligeramente la potencia y también el torque esto depende de la concentración del nanoaditivo que es un parámetro esencial, si se observa la tabla 2.2 y el régimen de revoluciones en el que trabaja va desde las 2300 a 3500 [rpm].

En la tabla 2.3 presentamos como se relacionan los estudios en los cuales están basados el presente proyecto y la idea común que tienen los tres análisis.

Tabla 2.3 Relación de los estudios abarcados en el presente proyecto.

<i>Estudios</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Relación de los tres estudios</i>
Medición de emisiones material particulado en un motor diésel mediante la adición de la mezcla diésel y nanoaditivos.	SE realizó un análisis de PM, emisiones contaminantes y de una mezcla diésel y nanoaditivos, y diésel puro.	Los tres estudios mencionados, tienen como objetivo común analizan los mismos parámetros de un motor diésel, ejecutan la misma metodología primeramente obtienen las nanopartículas, luego caracterizan las mismas, después mezclan las nanopartículas con el diésel de acuerdo a una concentración establecida, ejecutan las pruebas pertinentes y analizan los resultados del rendimiento del motor diésel una vez obtenidos los resultados de las pruebas.
Estudio de emisiones y consumo de combustible de un camión mediante una mezcla de nanoaditivos y diésel.	Hubo análisis de emisiones contaminantes, consumo de combustible de la mezcla diésel y nanoaditivos, y diésel puro.	
Mejoramiento del rendimiento de un motor diésel mediante la adición de nanopartículas de ZnO al diésel	Se analizó parámetros como potencia, emisiones contaminantes, opacidad, torque y otros parámetros.	

Fuente: Propia

2.5 Procedimiento estadístico de los datos obtenidos

Para determinar la autenticidad de los datos a tratar en un proceso de sondeo se suele emplear métodos estadísticos que validen y garanticen los datos analizados y estos sean

correctos. En este tipo de análisis se suele usar un estudio de repetibilidad y reproducibilidad descrito a continuación.

2.5.1 Prueba de repetibilidad

Se basa en ejecutar una medición varias veces a través de un aparato de medición, midiendo la misma característica y en las mismas condiciones.

2.5.2 Prueba de reproducibilidad

Se basa en realizar una misma medición y ver su variación con diferentes individuos que miden varias veces bajo las mismas condiciones y sistema de medición.

Existen varios métodos que se utilizan para ejecutar estudio estadístico entre los cuales tenemos:

- Método de promedios y rangos
- Graficas o cartas de control
- Análisis de varianza (ANOVA)
- Distribuciones de probabilidad

2.5.3 Distribución T student

Es una distribución de probabilidad que surge de la problemática que surge de evaluar la media de una población que distribuye normalmente cuando el tamaño de la muestra es pequeño.

Esta prueba se presenta para determinar las diferencias entre dos medias muestrales y para construir un intervalo de confianza de la diferencia entre estas medias de poblaciones diferentes y también cuando no se conoce la desviación típica de una población y esta se estima partiendo de los datos de la muestra.

Para entender el concepto de la distribución t Student, se debe analizar un concepto denominado “grados de libertad”.

Para definir los grados de libertad se hace referencia a la varianza muestral.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad ec. 1$$

La ecuación 1 se basa en n-1 grados de libertad donde n cantidades $x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x}, \dots, x_n - \bar{x}$ estas n cantidades deben sumar cero.

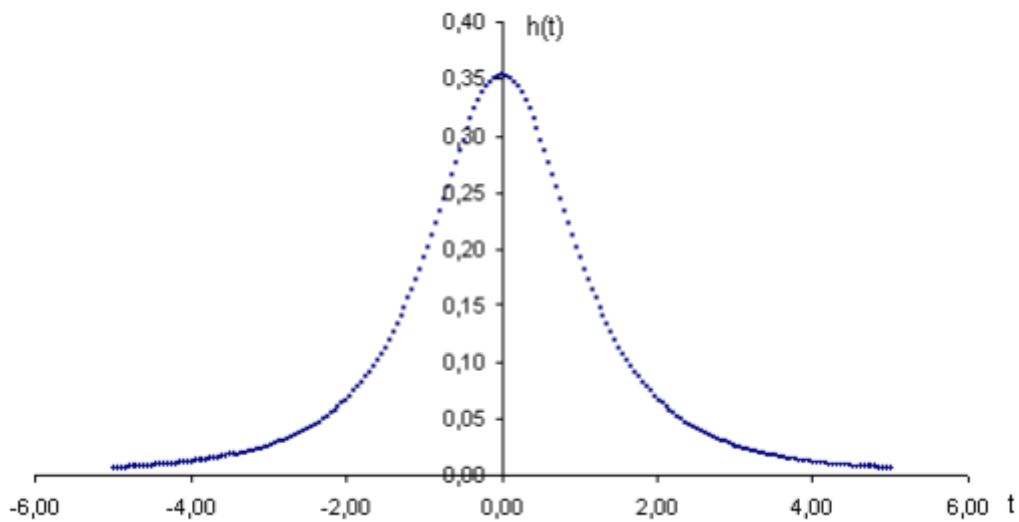


Figura 2.5 Distribución t de Student con 10 grados de libertad.

Propiedades de las distribuciones t

1. Cada curva t tiene forma de campana con centro en 0.
2. Cada curva t, se encuentra más dispersa que la curva normal estándar.
3. A medida que aumenta k, la dispersión de la curva t pertinente se reduce.
4. Mientras k tiende al infinito, la serie de curvas t se aproxima a la curva de una distribución estándar.

Procedimiento para determinar un intervalo de confianza a partir de una muestra de datos a través de la distribución t student.

1. Se obtiene un promedio de la muestra a analizar a través de la ecuación 2

$$\bar{x} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} \quad ec.2$$

2. Se obtiene la desviación estándar (s) de la muestra a través de la muestra en análisis a través de la ecuación.

$$s = \sqrt{\frac{(a_1 - \bar{x})^2 + (a_2 - \bar{x})^2 + \dots + (a_n - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad ec.3$$

3. Se obtiene el intervalo de confianza a través de una confiabilidad del 95% y posteriormente se halla los límites de dicho intervalo.

$$\alpha = 95\% \rightarrow z = 1.96$$

$$\bar{x} - z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

2.6 Prueba de emisiones

Para realizar una prueba de emisiones se requiere utilizar un analizador de gases, una cuenta revoluciones y un medidor de temperatura, entre los parámetros del motor que se debe establecer son revoluciones, la temperatura de los gases que son evacuados por el múltiple de escape.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se presentan los datos y el análisis de las muestras de combustible utilizado de los valores obtenidos de los trabajos mencionados anteriormente. Además de ello se muestra los diagramas de Pareto que permite ver los problemas que afectan en los diferentes parámetros analizados y ver cual tiene más importancia en la adición de nanoaditivos.

3.1. Resultados

3.1.1 Propiedades fisicoquímicas del diésel

En la tabla se muestra la caracterización de la muestra de combustible diésel de 0 y 250 [ppm]

Tabla 3.1 Propiedades fisicoquímicas del combustible analizado.

Ensayo	Unidad	0 [ppm]	250 [ppm]	Norma
Punto de inflamación	°C	67	69	INEN 1493:2013 (2R)
Contenido de azufre	ppm	284	285	ASTM D494-16
Corrosión de lámina de cobre	---	1A	1A	ASTMD130-12
Índice de cetano calculado	---	52.92	53.15	INEN1495:2013 (1R)
Ensayo de destilación:90%	°C	353	348	ASTM D86-15
Residuo de Carbón Conradson sobre el 10 de residuo	%	0.008	0.1	INEN 1491:2013 (1R)
Contenido de Cenizas	%	0.016	0.066	INEN 1492:2013 (1R)
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	5.085	4.812	INEN 810:2013 (1R)
Agua y sedimentos	%	<0.05	<0.05	INEN 1494:2013 (1R)

Fuente: (Natarajan,2017)

Para cuando se realiza un análisis de este tipo se recomienda caracterizar el combustible y ejecutar los ensayos que se indica en la tabla 3.1 para poder ver las propiedades del mismo y tener una referencia del comportamiento del mismo.

3.1.2 Consumo de combustible

Para descartar las mediciones de consumo de combustible y si estas son seguras, se procede a construir un intervalo de confianza para se utiliza la distribución t student, que

permite que valores están dentro del rango para el diésel base y la mezcla diésel y 250 pmm de óxido de cerio.

Tabla 3.2 Consumo de combustible del diésel base.

Pruebas	C.C. (km/l)	Promedio	Desviación Estándar	Max. valor	Min. valor
1	11.29	11.305	0.36	11.017	11.593
2	11.65				
3	11.64				
4	11.29				
5	10.67				
6	11.29				

Fuente: Propia

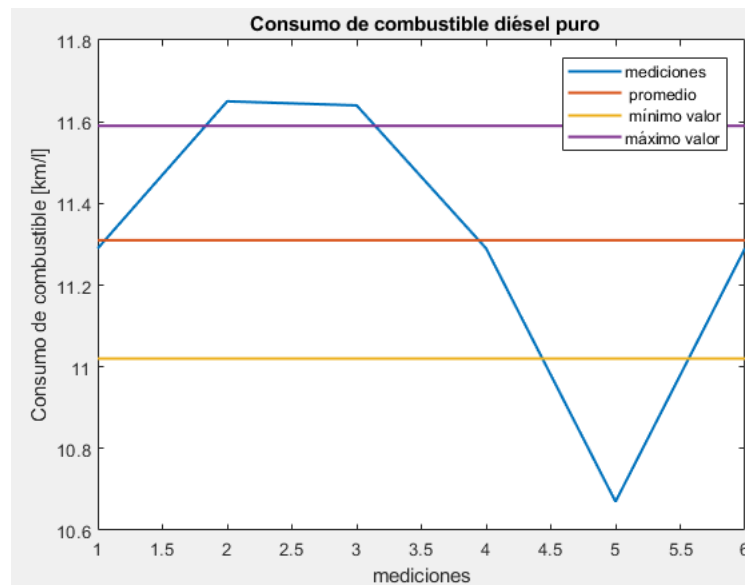


Figura 3.1 Gráfica de control consumo de combustible de Diésel.

Fuente: Propia

La figura 3.1 nos muestra un intervalo de confianza para el consumo de combustible existen ciertos valores que se salen del rango y puede, puede deberse a varias causas y difiere de la figura 4.1 “Anexo I” que en cambio presenta todos los valores están dentro del rango.

Tabla 3.3 Consumo de combustible de la mezcla diésel y óxido de cerio a 250 ppm.

Pruebas	C.C. (km/l)	Promedio	Desviación Estándar	Max. valor	Min. valor
1	11.29	12.178	0.199	12.019	12.337
2	12.0				
3	12.0				
4	12.39				
5	12.0				
6	12.39				

Fuente: Propia

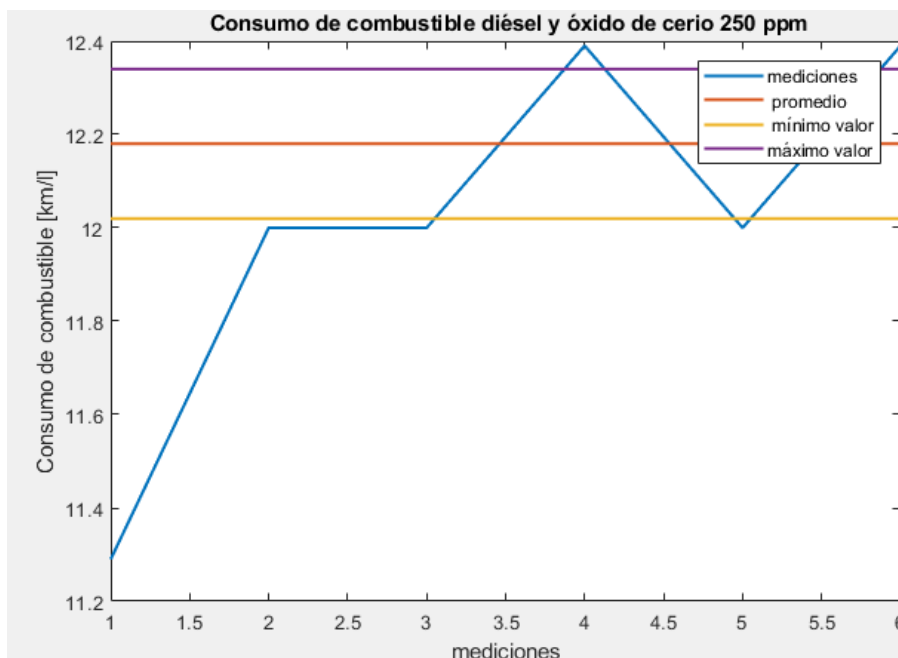


Figura 3.2 Gráfica de control de consumo de combustible de Diésel y óxido de cerio.

Fuente: Propia

La figura 3.2 nos muestra un intervalo de confianza para el consumo de combustible y las nanopartículas, existen ciertos valores que se salen del rango y puede, puede deberse a varias causas y difiere de la figura 4.2 “Anexo I” que en cambio presenta todos los valores están dentro del rango

De acuerdo a las tablas 3.2 y 3.3 el consumo de combustible para el diésel y la mezcla provoca una reducción del mismo en un 5.8%, esto debe suponer que existe una buena combustión de la mezcla diésel y óxido de serio con respecto al diésel base, por lo tanto, el uso de nanopartículas provoca una disminución en el consumo de combustible.

3.1.3 Velocidad media de la ruta establecida

Los datos que se muestran en la tabla corresponden a la velocidad media del vehículo analizado y van de acuerdo al apartado 2.5.1

Tabla 3.4 velocidad promedio del vehículo analizado.

Pruebas	Velocidad (km/h)	Promedio	Desviación Estándar	Max. valor	Min. valor
1	35.4	35.067	1.202	34.105	36.028
2	34.1				
3	36.8				
4	35.7				
5	33.4				
6	35.0				

Fuente: Propia

El vehículo tuvo una velocidad promedio de 35 [km/h] para ejecutar los análisis respectivos de todas las variables.

3.1.4 Valores de material particulado PM_{2.5}

En las tablas se muestra los datos de material particulado correspondientes al diésel y a la mezcla de diésel y óxido de cerio, a través de pruebas dinámicas mediante un ciclo de ruta preestablecido con las mezclas de combustible utilizadas.

Tabla 3.5 Datos de material particulado PM_{2.5} de diésel y las mezclas.

Material Particulado (mg/m ³)						
Mezcla	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
<i>Diésel puro</i>	8.15	7.67	7.47	8.42	8.38	7.36
<i>250 ppm</i>	5.13	5.28	5.25	5.88	5.37	5.54

Fuente: Propia

De la tabla 3.5 se obtienen los promedios de PM correspondientes a cada mezcla.

Tabla 3.6 Promedios de Material Particulado PM_{2.5} de las diferentes mezclas.

Mezcla	PM_{2.5} (mg/m³)
Diésel puro	7.91
250 ppm	5.41

Fuente: Propia

De acuerdo a la tabla 3.6 se encuentran los promedios del material particulado se observa que existe una reducción en un 32% aproximadamente de la mezcla de diésel y nanoaditivos respecto al diésel puro.

3.1.5 Valores de los gases contaminantes

En este apartado vamos a ver los principales gases contaminantes que producen los motores diésel y ver cuáles son los que más se producen en estos motores.

3.1.5.1 Valores de CO₂ por cada mezcla de combustible

En la tabla 3.6 y 3.7 se muestra los valores de CO₂ para el diésel puro y mezcla con óxido de cerio, y van de acuerdo al apartado 2.5.3.

Tabla 3.7 Valores de CO₂ para el diésel base.

Prueba	CO₂ (%V)	Promedio	Desviación Estándar	Max. valor	Min. valor
1	4.31	4.616	0.278	4.372	4.860
2	4.81				
3	4.32				
4	4.88				
5	4.76				

Fuente: Propia

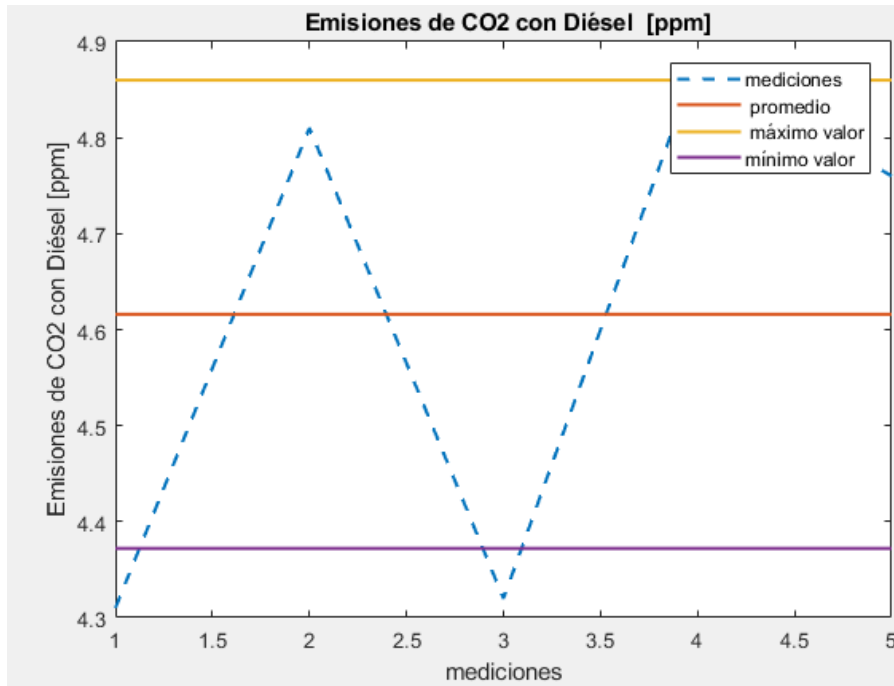


Figura 3.3 Gráfica de control de emisiones de CO₂ con Diésel.
Fuente: Propia

La figura 3.3 nos muestra un intervalo de confianza para las emisiones de CO₂ para diésel existen ciertos valores que se salen del rango y, puede deberse a varias causas, en este caso es similar a la figura 4.3 del “Anexo II” que en cambio presenta todos los valores están dentro del rango.

Tabla 3.8 Valores de CO₂ para la mezcla diésel base y óxido de cerio a 250 ppm.

Prueba	CO ₂ (%V)	Promedio	Desviación Estándar	Max. valor	Min. valor
1	5.01	4.602	0.351	4.294	4.901
2	4.65				
3	4.76				
4	4.06				
5	4.53				

Fuente: Propia

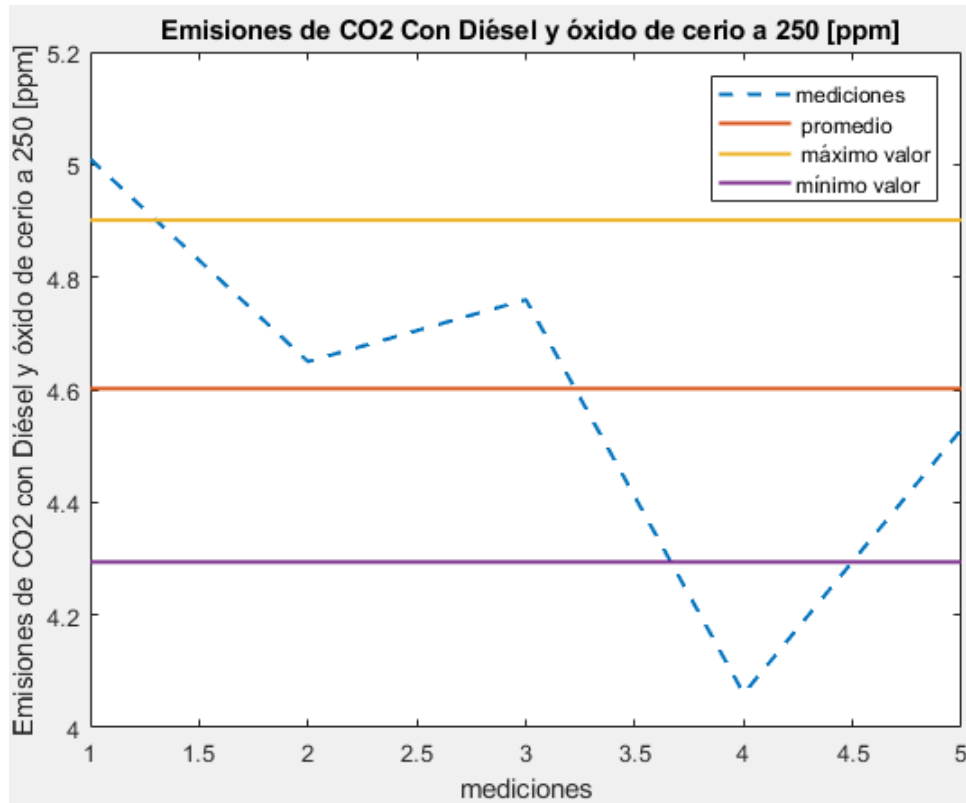


Figura 3.4 Gráfica de control de emisiones de CO₂ con Diésel y óxido de cerio.

Fuente: Propia

La figura 3.4 nos muestra un intervalo de confianza para las emisiones de CO₂ para diésel y las nanopartículas existen ciertos valores que se salen del rango y, puede deberse a varias causas, en este caso es similar a la figura 4.4 del “Anexo II” que en cambio presenta todos los valores están dentro del rango.

En tablas 3.7 y 3.8 se puede ver el porcentaje de emisiones contaminantes de CO₂ donde existió una reducción de los mismos, aunque esta sea leve en 0.3 % pero existe.

3.1.5.2 Valores de CO por cada mezcla de combustible

En la tabla 3.8 y 3.9 se muestra los valores de CO para el diésel puro y mezcla con óxido de cerio, y van de acuerdo al apartado 2.5.3.

Tabla 3.9 Valores de CO para el diésel base.

Prueba	CO (%V)	Promedio	Desviación Estándar	Max. valor	Min. valor
1	0.09	0.094	0.011	0.084	0.104
2	0.10				
3	0.09				
4	0.11				
5	0.08				

Fuente: Propia

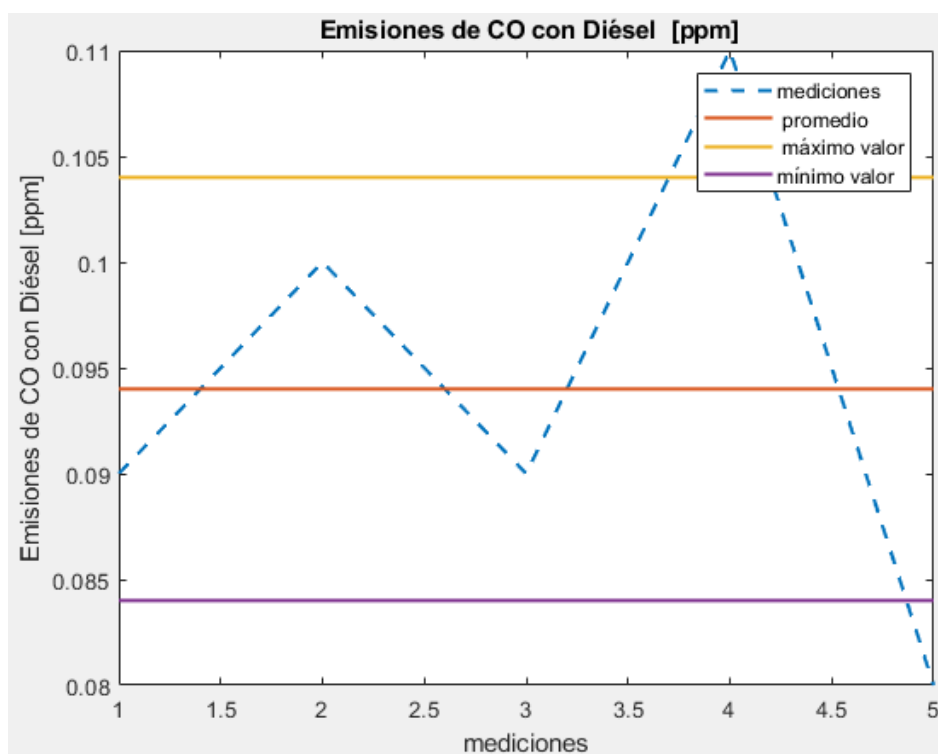


Figura 3.5 Gráfica de control de emisiones de NO_x con Diésel y óxido de cerio.

Fuente: Propia

La figura 3.5 nos muestra un intervalo de confianza para las emisiones de CO para diésel existen ciertos valores que se salen del rango y puede, puede deberse a varias causas, en este caso es similar a la figura 4.5 del “Anexo II” que en cambio presenta todos los valores están dentro del rango.

Tabla 3.10 Valores de CO para la mezcla diésel base y óxido de cerio a 250 ppm.

Prueba	CO (%V)	Promedio	Desviación Estándar	Max. valor	Min. valor
1	0.12	0.094	0.011	0.084	0.104
2	0.08				
3	0.09				
4	0.10				
5	0.08				

Fuente: Propia

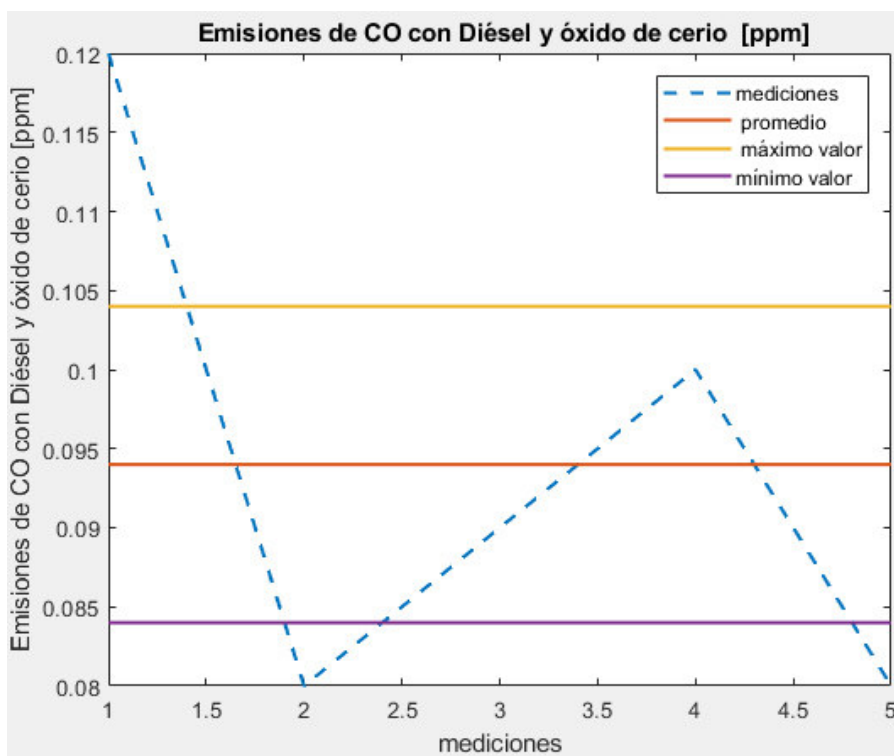


Figura 3.6 Gráfica de control de emisiones de CO con Diésel y óxido de cerio.

Fuente: Propia

La figura 3.6 nos muestra un intervalo de confianza para las emisiones de CO₂ para diésel y los nanoaditivos existen ciertos valores que se salen del rango y, puede deberse a varias causas, en este caso es similar a la figura 4.6 del “Anexo II” que en cambio presenta todos los valores están dentro del rango.

3.1.5.3 Valores de HC por cada mezcla de combustible

En la tabla 3.10 y 3.11 se muestra los valores de HC para el diésel puro y mezcla con oxido de cerio, y van de acuerdo al apartado 2.5.3.

Tabla 3.11 Valores de HC para el diésel base.

Prueba	HC (ppm)	Promedio	Desviación Estándar	Max. valor	Min. valor
1	51.38	75.28	22.72	95.195	55.365
2	110.81				
3	67.33				
4	64.45				
5	82.43				

Fuente: Propia

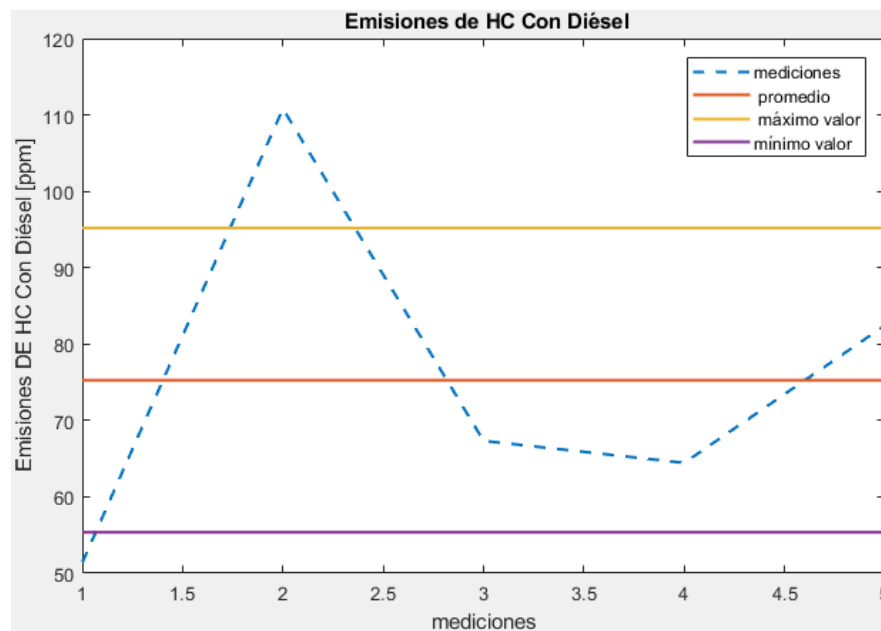


Figura 3.7 Gráfica de control de emisiones de HC con Diésel.

Fuente: Propia

La figura 3.7 nos muestra un intervalo de confianza para las emisiones de HC para diésel existen ciertos valores que se salen del rango y, puede deberse a varias causas, en este caso es similar a la figura 4.7 del "Anexo II" que en cambio presenta todos los valores están dentro del rango.

Tabla 3.12 Valores de HC para la mezcla diésel base y óxido de cerio a 250 ppm.

Prueba	HC (ppm)	Promedio	Desviación Estándar	Max. valor	Min. valor
1	78.76	93.502	13.672	81.517	105.486
2	109.43				
3	95.90				
4	80.21				
5	103.17				

Fuente: Propia

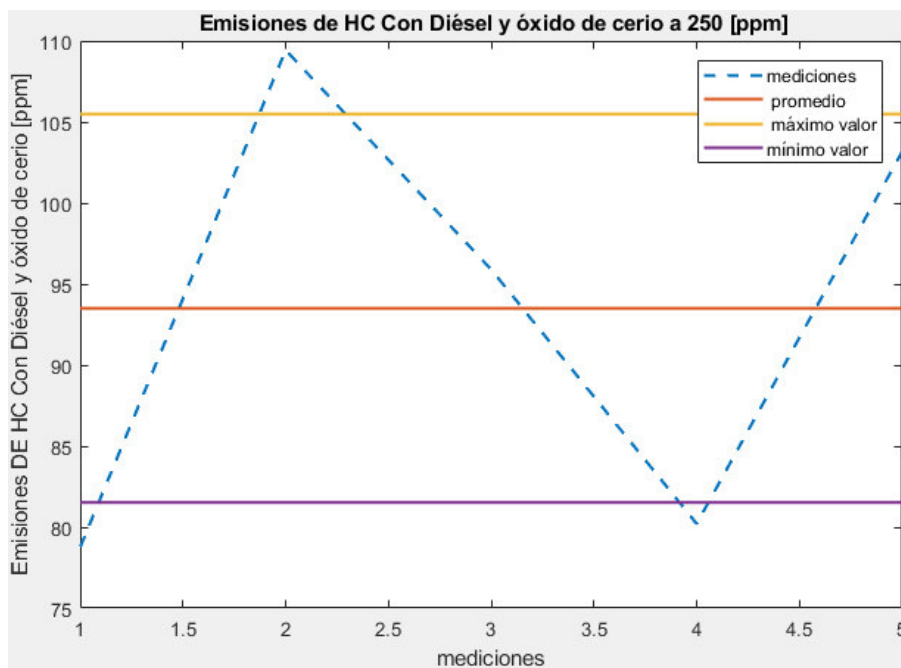


Figura 3.8 Gráfica de control de emisiones de HC con Diésel y óxido de cerio.

Fuente: Propia

La figura 3.8 nos muestra un intervalo de confianza para las emisiones de CO₂ para diésel y los nanoaditivos existen ciertos valores que se salen del rango y, puede deberse a varias causas entre las cuales usar distintas teorías estadísticas, en este caso es similar a la figura 4.8 del “Anexo II” que en cambio presenta todos los valores están dentro del rango.

En tablas 3.11 y 3.12 se tiene el porcentaje de emisiones contaminantes Hidrocarburos y se puede constatar que aumentaron significativamente y entre las posibles causas pueden ser una mala combustión, debido a una mezcla pobre.

3.1.5.4 Valores de NO_x por cada mezcla de combustible

En la tabla 3.12 y 3.13 se muestra los valores de NO_x para el diésel puro y mezcla con oxido de cerio, y van de acuerdo al apartado 2.5.3.

Tabla 3.13 Valores de NO_x para el diésel base.

Prueba	NO _x (ppm)	Promedio	Desviación Estándar	Max. valor	Min. valor
1	1421.36	1522.01	160.763	1381.095	1662.923
2	1803.70				
3	1460.81				
4	1423.53				
5	1500.65				

Fuente: Propia

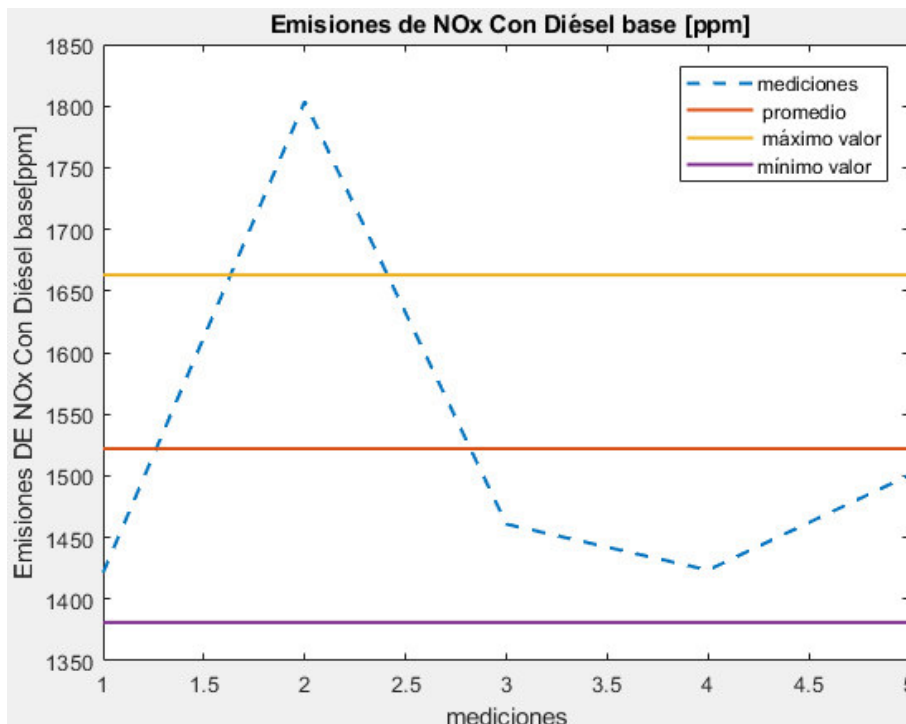


Figura 3.9 Gráfica de control de emisiones de NO_x con Diésel.

Fuente: Propia

La figura 3.9 nos muestra un intervalo de confianza para las emisiones de NO_x para diésel existen ciertos valores que se salen del rango y, puede deberse a varias causas entre estas usar distintas herramientas estadísticas, en este caso es similar a la figura 4.9 del “Anexo II” que en cambio presenta todos los valores están dentro del rango.

Tabla 3.14 Valores de NO_x para la mezcla diésel base y óxido de cerio a 250 ppm.

Prueba	NO _x (ppm)	Promedio	Desviación Estándar	Max. valor	Min. valor
1	2031.21	1900.674	144.169	1662.923	1452.991
2	2059.27				
3	1739.50				
4	1894.93				
5	1778.46				

Fuente: Propia

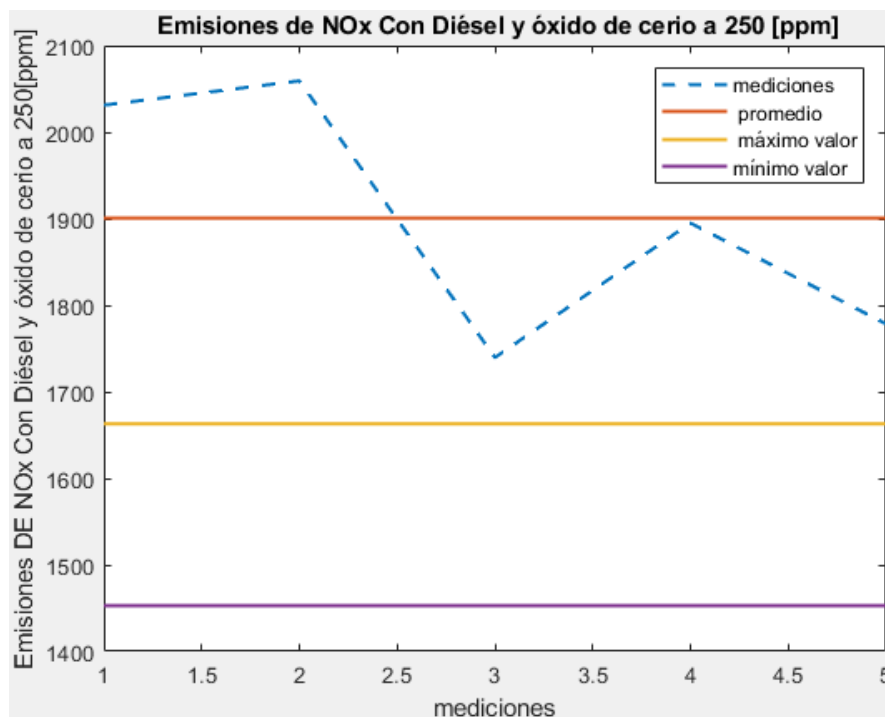


Figura 3.10 Gráfica de control de emisiones de NO_x con Diésel y óxido de cerio.

Fuente: Propia

La figura 3.10 nos muestra un intervalo de confianza para las emisiones de NO_x para diésel y los nanoaditivos existen ciertos valores que se salen del rango y, puede deberse a varias causas entre las cuales usar distintas teorías estadísticas, en este caso es similar a la figura 4.10 del “Anexo II” que en cambio presenta todos los valores están dentro del rango.

En tablas 3.13 y 3.14 se tiene el porcentaje de emisiones contaminantes NO_x y se puede constatar aumentan significativamente y entre las posibles causas pueden ser una mala combustión, debido a una mezcla pobre, una incorrecta actuación de la válvula ERG que es la encargada de estos gases tóxicos perjudiciales y una baja en la temperatura de la combustión entre las posibles causas.

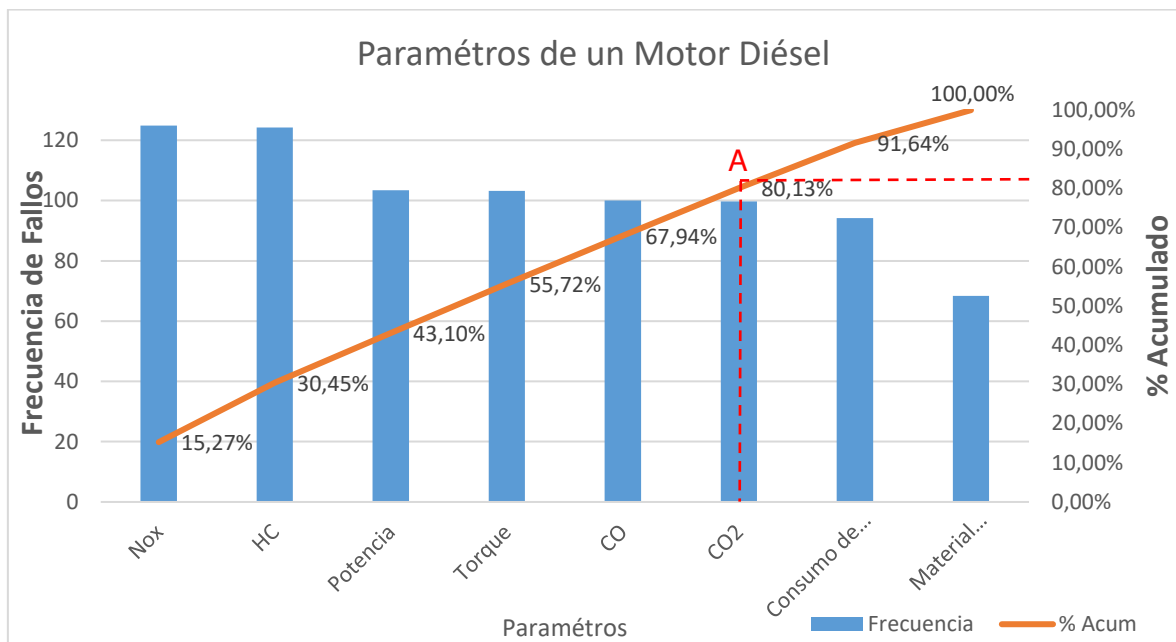


Figura 3.11 Diagrama de Pareto de los parámetros esenciales de un motor.

Fuente: propia

De acuerdo a la figura 3.11 vemos que los parámetros analizados que más inciden en el uso de nanoaditivos en un motor diésel de manera significativa son las emisiones contaminantes NOx y HC lo que es perjudicial para salud del ser humano, aproximadamente en un 25% para ambos contaminantes, vemos que la potencia y torque dos parámetros importantes tiene ligero aumento del 3% con el uso de nanoaditivos y vemos que parámetros como el CO y CO₂ tienen un ligero disminución con el uso de nanoaditivos, y por ultimo vemos que el consumo de combustible y material particulado existe disminución significativa con el uso de nanoaditivos, de manera general se debe concentrar en la disminución de los primeros contaminantes y también en que se debe mejorar el aumento de torque y potencia para el uso de nanoaditivos.

En la figura 3.11 podemos observar el punto A, lo que está a la izquierda de dicho punto representa el 80% de las causas de los fallos y se debe considerar estas causas que son esencialmente las emisiones de Nox y HC, torque, potencia y por ultimo las emisiones de CO y CO₂, y las causas que no se priorizan en este caso son las dos últimas, esto es lo que nos permite analizar el diagrama de Pareto de forma más directa las causas de un problema, mediante un análisis paramétrico nos permite visualizar de forma más clara en que hay que priorizar y corregir, anteriormente en los estudios previos se realizó de una manera más general con gráficos de control que no permitieron ver de forma clara los

parámetros que se estaban analizando, vemos que el diagrama de Pareto es una herramienta muy útil con respecto a otras herramientas en el control de un proceso,

De acuerdo a la figura 3.11 en lo que se debe enfocar son las emisiones de NOx y HC, debido a que son las más nocivas que un motor diésel puede emitir, luego tenemos los parámetros de potencia y torque que si bien tienen una ligera mejoría, deberían mejorarse dichos parámetros porque actúan de manera positiva en el rendimiento de un motor, y por último las emisiones de CO y CO₂ registran un leve descenso en sus emisiones con la adición de nanoaditivos, pero no lo suficiente, y por último vemos que existen disminución de consumo de combustible y material particulado con el uso de nanoaditivos en el diésel que son parámetros importantes dentro de un motor.

Respecto a los anteriores trabajos se va a analizar los parámetros y como estos influyen de manera sustancial en el rendimiento de un motor, en la tabla 3.15 se muestran los parámetros analizados.

Tabla 3.15 Análisis adimensional de los parámetros de un motor diésel.

Parámetros	Parámetros de Estudio Previos (diésel con nanoaditivos)	Valores Máximo (Norma, Fabricante, estudio)	Referencia	Relación Parámetro/valor máximo	Porcentaje (%)
Emi. De NOx [ppm]	1900.7	1000	NOM-167-SEMARNAT-2017	1.9007	190.07
Emi. De HC [ppm]	93.50	100	NOM-167-SEMARNAT-2017	0.935	93.5
Potencia [hp]	59.7	57.8	Estudio Previo	1.033	103.3
Torque [Nm]	169.3	162	Estudio Previo	1.045	104.5
CO [ppm]	0.094	1	NOM-167-SEMARNAT-2017	0.094	9.4

CO2 [ppm]	4.60	7	NOM-167- SEMARNAT-2017	0.657	65.7
Consumo de combustible [km/l]	12.18	11.31	Estudio previo	1.077	107.7
Material Particulado [ppm]	5.41	7.91	Estudio Previo	0.684	68.39

Fuente: Propia

Para tener un análisis integral de la influencia de la adición de nanoaditivos en el diésel y como repercuten en los mismos se analiza con valores de normalizados en el caso de las emisiones contaminantes y para los demás parámetros analizados con los valores que se han obtenido de los estudios previos, por ello se relaciona los valores de los parámetros con valores normalizados.

De acuerdo a la tabla 3.15 los valores de NOx se ha excedido en un 190% con respecto a la norma siendo este el valor más alto, en cambio las emisiones de HC se redujeron un 6.5% con respecto a la norma, con los parámetros de potencia y torque hay un ligero aumento de 3 y 4% respectivamente respecto a valores experimentales del mismo estudio, en cambio a las emisiones de CO y CO2 sus valores se ha reducido en 90.4% y 34.3% respectivamente, con respecto a la norma, y en cambio para los últimos parámetros existen una reducción notable.

Para para parámetros como torque, potencia y consumo de combustible se recomienda comparar con valores que nos dicen los fabricantes para el vehículo analizar.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El uso de nanoaditivos influyen directamente en parámetros como potencia, torque, emisiones contaminantes y consumo de combustible de manera sustancial, lo que nos indica que influye de manera positiva y negativa en los parámetros mencionados.
- De acuerdo a la tabla 3.15 los parámetros analizados, los que se priorizan en mayor medida son las emisiones contaminantes y esto coincide con el diagrama de Pareto que nos permite tener un análisis más directo de los parámetros analizados.
- El uso de nanoaditivos con respecto a las emisiones contaminantes disminuyen de manera leve para el CO Y CO₂, en cambio para HC, NO_x aumentan en un 25% aproximadamente de acuerdo a las tablas para estos últimos de acuerdo a las tablas 3.10, 3.11 y 3.12, 3.13 respectivamente.
- El material particulado disminuye en 32% aproximadamente con la adición de nanoaditivos, esto supondría que existen cambios en la combustión del motor diésel lo que provoca esto.
- Respecto al aumento de NO_x y HC y la adición de nanoaditivos una de las posibles causas sería la resistencia a la compresión que presenta la mezcla, esta poca capacidad de la mezcla de comprimirse provoca un aumento de presión y por consiguiente un aumento de temperatura en el proceso de combustión y esto provoca el aumento de las emisiones contaminantes.
- Con Respecto al torque y potencia el uso de nanoaditivos eleva ligeramente estos últimos y de acuerdo a la figura 2.4 con el uso de nano partículas de óxido de zinc.

4.2. Recomendaciones

- El beneficio evidente de nano partículas en motores diésel y la influencia en los parámetros analizados en el presente proyecto pueden ser una alternativa de combustible para motores diésel.
- Para realizar un estudio paramétrico se recomienda realizar una cantidad de mediciones importante para validar los resultados.
- Se recomienda analizar todos los parámetros en diferentes condiciones de manejo para observar y analizar el comportamiento de los mismos.
- Para complementar el presente análisis se recomienda realizar un análisis económico para determinar el costo beneficio de la utilización de estos nanoaditivos para uso en el ámbito comercial.
- Se recomienda analizar de manera especial las emisiones contaminantes de HC y NO_x, ya que estos contaminantes son muy perjudiciales, y al parecer el uso de nanoaditivos no influyen de manera sustancial sobre estos.
- Para tener un análisis más profundo y ver el comportamiento de las variables analizadas, se deberá ejecutar a diferentes concentraciones del nanoaditivo para la su influencia sobre los distintos parámetros.

Referencias Bibliográficas

- [1] Aguinaga Barragán , Á. (2007). CONFIABILIDAD OPERACIONAL PARA LA INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO. Quito: Federación Iberoamericana de Ingeniería Mecánica.
- [2] Arredondo Díaz, M. L. (2013). Estimación del torque indicado de un motor diésel. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- [3] Báez Chamorro, O. D. (2016). Análisis de la eficiencia energética en un motor diesel electrónico usando biodiésel. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- [4] Barreto de Oliveira, G. M. (2015). Estudio de la utilización de nanoaditivos para mejorar el desempeño de aceites lubricantes minerales y sintéticos. Río de Janeiro: Universidad Federal de Río de Janeiro.
- [5] Basha, J., & Anand , R. (2014). Performance, emission and combustion characteristics of a diésel engine using Carbon Nanotubes blended Jatropha Methyl Ester Emulsions. Egipto: Alexandria University.
- [6] Benavides Guayara, D. E. (2017). Estudio de efecto de nanoaditivos sobre la eficiencia de combustión del Diésel y la eficiencia neta de una fuente fija de combustión. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- [7] Echeverría, J. C. (2018). Análisis de las propiedades fisicoquímicas del biodiésel a base de aceite de higuera B10. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- [8] Gregorio, K., Rivera Salinas, J., Saade Caballero, H., López Campos, R., Martínez Hernández, J., & Iliina, A. (2015). Las nanopartículas y sus múltiples aplicaciones. Saltillo: Universidad Autónoma de Coahuila.

- [9] Guano Carreño, C. E., & Morales Castillo, C. D. (2020). Determinación de la factibilidad del aumento del poder calorífico de un biocombustible mediante la adición de nanopartículas de alofán. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- [10] Guasumba, M., Oramas Proaño, D., Sáez Erazo, E., & Granda Fuel, C. (2021). Efecto de los Aditivos Lubricantes Cuando se Prueba en Régimen de Lubricación hidrodinámica (motores). Máquinas de América, 1096-1117.
- [11] Heras, M., Herrera, A., & Ojeda, K. (2014). Toxicidad de nanoaditivos aplicados a mezclas de combustibles. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- [12] INEN 1489, N. (2012). Productos derivados del petróleo. DIÉSEL, requisitos. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [13] Limón Tamés, D. (2013). Motores diésel: emisión de aerosoles de partículas y gases. Madrid: INSTH Ediciones y Publicaciones.
- [14] López, V. (2013). Diseño e instrumentación de diferentes sistemas de recuperación de energía de los gases de escape en un motor diesel turboalimentado euro V. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- [15] Mantilla González , J. M., Roncancio Gómez, J., & Galeano Urueña, C. H. (2015). Desempeño y emisiones de un motor de combustión interna concombustible dual Diesel-Gas natural. Bogotá: Ingeniería Energética.
- [16] Medina Ramírez, I. E., Chávez Vela, N. A., & Jáuregui Rincón, J. (2012). Biodiésel , un combustible renovable. Aguascalientes: Redalyc.
- [17] Molina , S. (2012). Influencia de los parámetros de inyección y recirculación de gases de escape sobre el proceso de combustión en un motor diésel. Valencia: REVERTÉ, S.A.

- [18] Muñoz Pincheira, J. L. (2016). Análisis de Pareto y dispersión en mantenimiento automotriz. Talcahuano: Siderúrgica CAP Acero.
- [19] Ojeda , K., Herrera, A., Sierra, M., & Tamayo, K. (2015). Evaluación del impacto ambiental del uso de nanopartículas como aditivo de mezclas biodiesel/diésel mediante análisis de ciclo de vida. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- [20] Rocha Hoyos, J., Llanes Cedeño, E., Celi Ortega, S., & Peralta Zurita, D. (2019). Efecto de la Adición de Biodiésel en el Rendimiento y la Opacidad de un Motor Diésel. Quito: Universidad Internacional.
- [21] Segovia , C., Benavides, I., Melo, J., & Montenegro, V. (2022). Mejoramiento del Rendimiento de un Motor Diésel mediante la adición de nanopartículas de ZnO al diésel. Ibarra: Bionatura.
- [22] Segovia Carlos, B. I. (07 de 01 de 2022). Mejoramiento del rendimiento de un motor Diésel mediante la adición de nanopartículas de ZnO al diésel. Obtenido de <http://revistabionatura.com/files/2022.07.01.27.pdf>
- [23] Soto Chicoma, L. A. (2019). Análisis termoeconómico para optimizar el consumo de combustible de un motor diésel en la ciudad de Chiclayo. Chiclayo: Universidad César Vallejo.
- [24] Torres Romero, A. E., & Medina Lima, A. E. (2017). Sistema de reducción de emisiones contaminantes procedentes de motores de combustión interna mediante tratamiento post combustión por descarga de barrera dieléctrica. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- [25] Valero, M. J. (2020). Caracterización de las propiedades del ADBLUE y de su proceso de inyección en un sistema de reducción de NOx (SCR). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

[26] Eugenio Pilliza Cristian I. y Montalvo Márquez Francisco J. (2016). Trabajo de titulación: Evaluación del comportamiento y emisiones en un motor de combustión interna utilizando una mezcla Diésel-Queroseno. Quito, EPN. Recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16785/1/CD-7381.pdf>

[27] Urbina Guzmán Patricio V. (2017). Trabajo de titulación: Medición de las emisiones de material particulado $PM_{2.5}$ en un motor de combustión interna de encendido por compresión en la ciudad de Quito con el uso de mezclas de óxido de cerio y diésel mediante un ciclo de ruta combinado. Quito, EPN. Recuperado de: https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=71045&query_desc=kw%2Cwrdl%3A%20patricio%20urbina

ANEXOS

ANEXO I. Grafica de control de calidad para el consumo de combustible de acuerdo a los estudios previos.

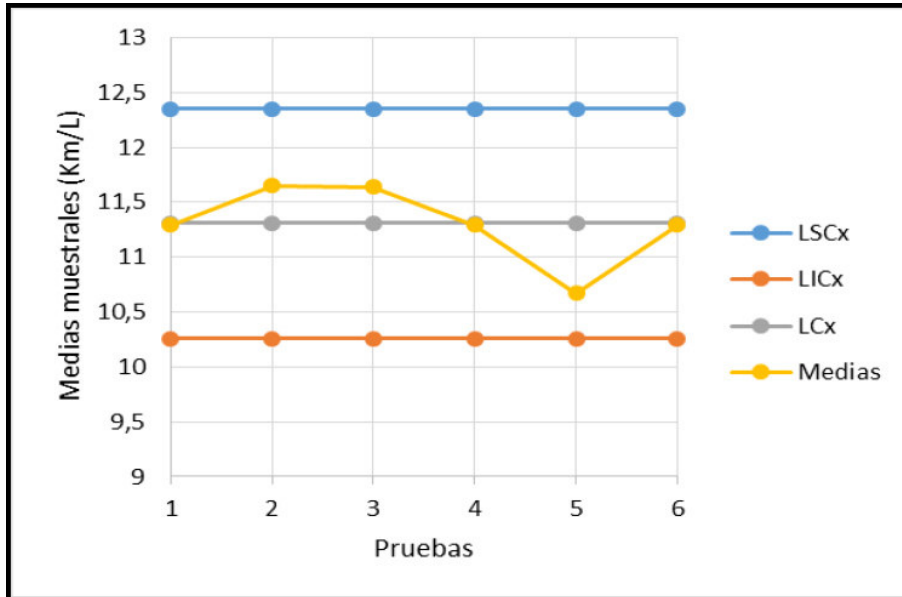


Figura 4.1 Grafica de control de medias muestrales de consumo de combustible con diésel.
Fuente: [27]

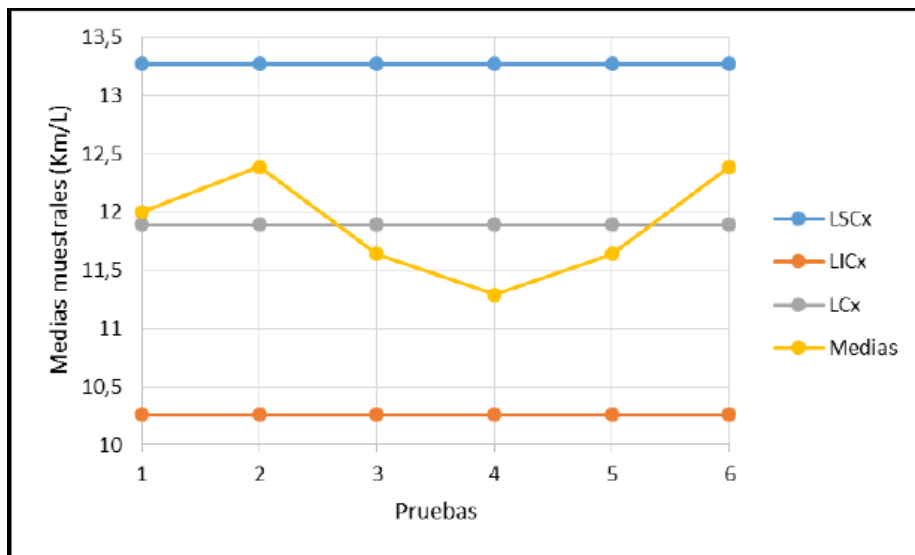


Figura 4.2 Grafica de control de medias muestrales de consumo de combustible con diésel y óxido de cerio.
Fuente: [27]

ANEXO II. Grafica de control de calidad para las emisiones contaminantes de acuerdo a estudios previos.

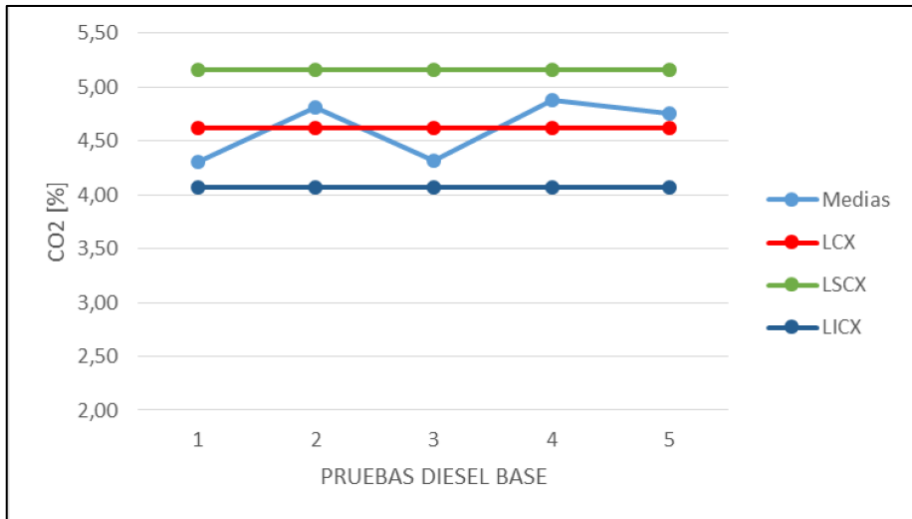


Figura 4.3 Grafica de control de medias muestrales de CO₂ con diésel.
Fuente: [26]

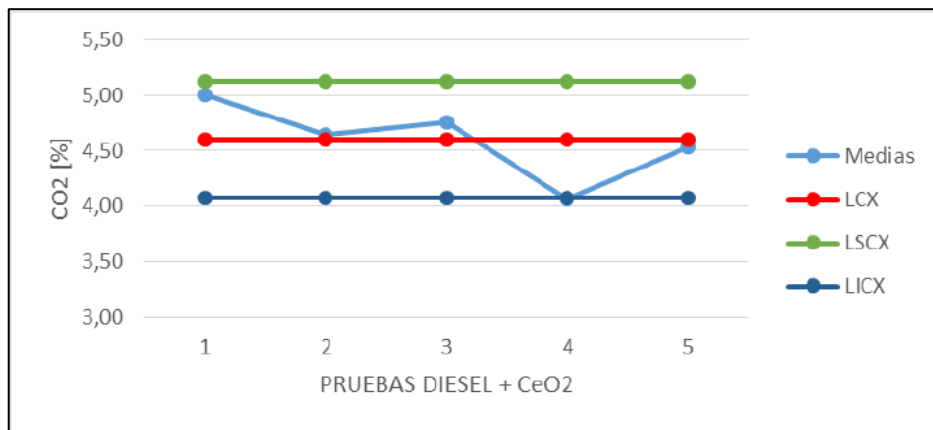


Figura 4.4 Grafica de control de medias muestrales de CO₂ con diésel y óxido de cerio.
Fuente: [26]

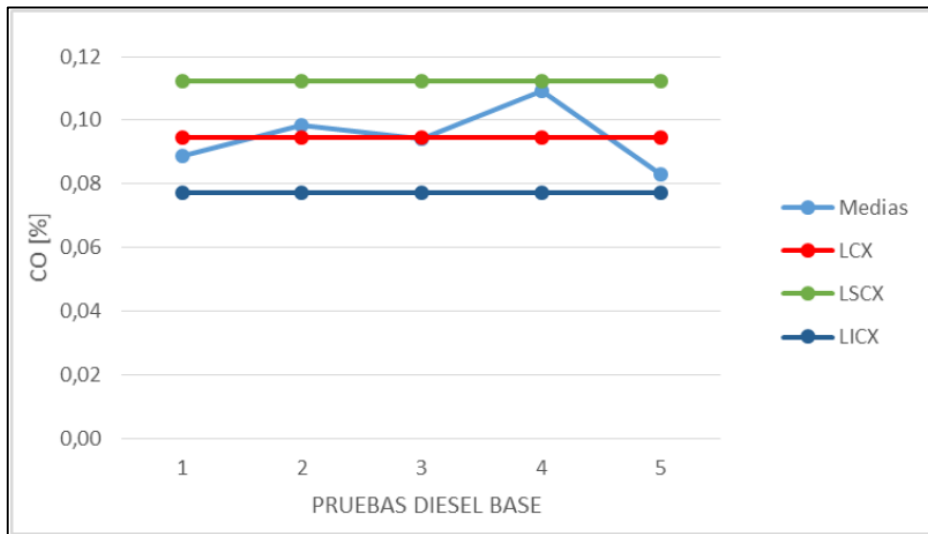


Figura 4.5 Grafica de control de medias muestrales de CO con diésel.
Fuente: [26]

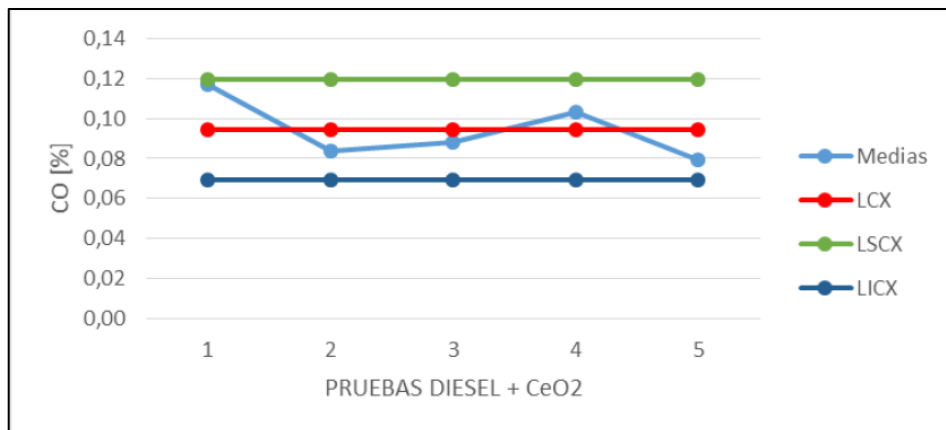


Figura 4.6 Grafica de control de medias muestrales de CO con diésel y óxido de cerio.
Fuente: [26]

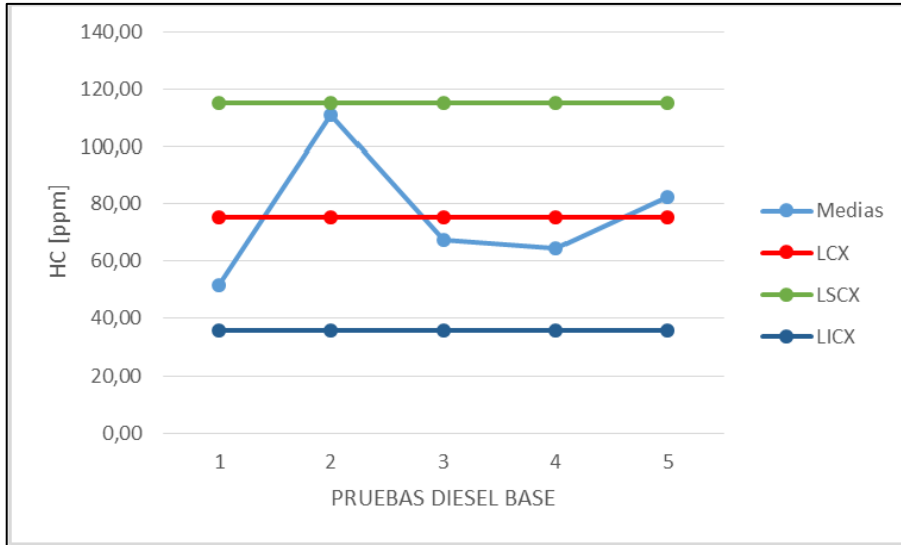


Figura 4.7 Grafica de control de medias muestrales de HC con diésel.
Fuente: [26]

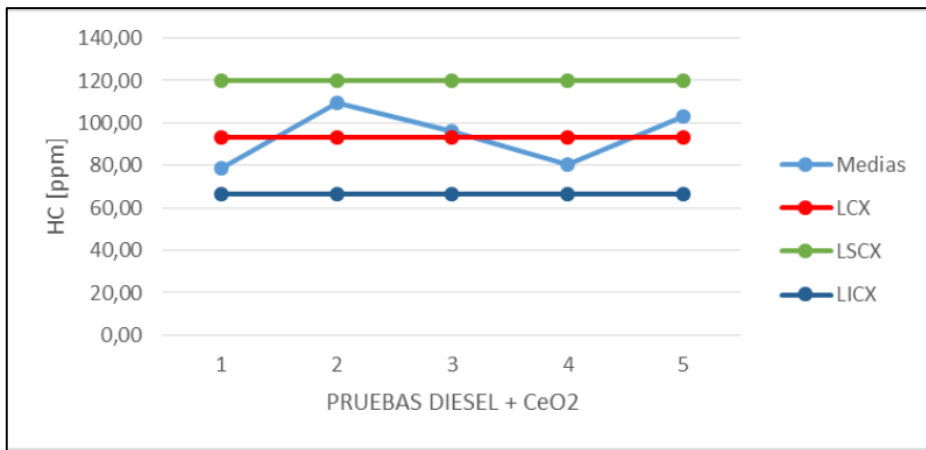


Figura 4.8 Grafica de control de medias muestrales de HC con diésel y óxido de cerio.
Fuente: [26]

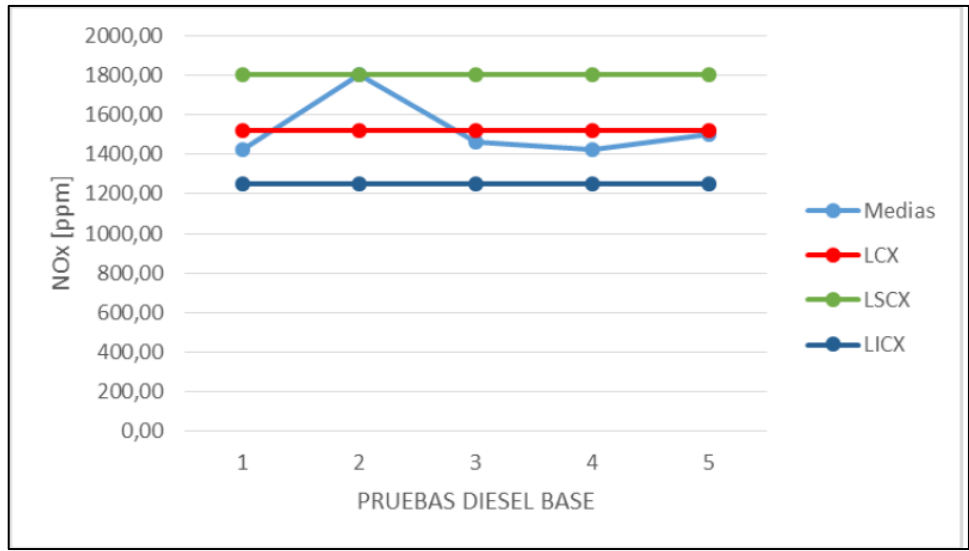


Figura 4.9 Grafica de control de medias muestrales de NOx con diésel.
Fuente: [26]

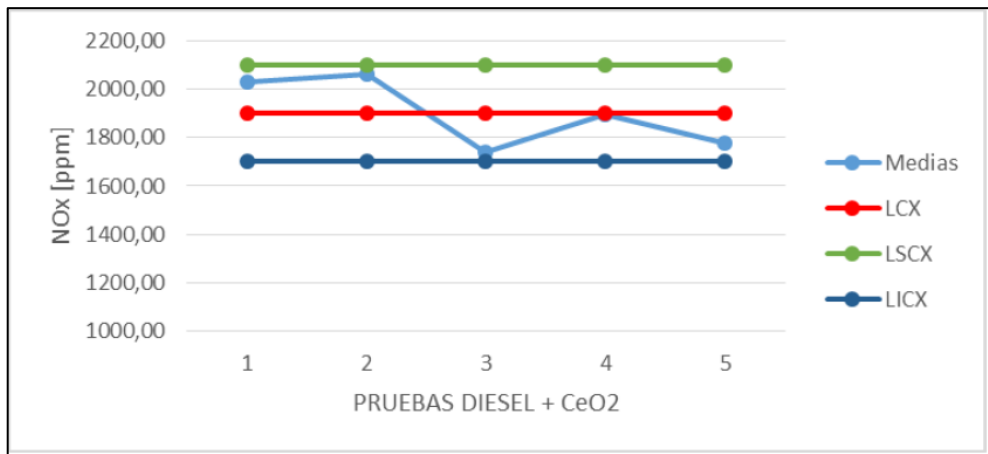


Figura 4.10 Grafica de control de medias muestrales de NOx con diésel y óxido de cerio.
Fuente: [26]