

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Reducción de concentración de emisiones vehiculares empleando un mofle de adsorción con filtros de montmorillonita sódica en vehículo de gasolina

Por:

Jhoenmert Edgar Tinoco Canto

Mirian Rosmery Carhuaz Yaro

Asesor:

PhD. Noe Benjamin Pampa Quispe

Lima, diciembre de 2018

**DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS**

PhD. Noe Benjamin Pampa Quispe, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura / Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: ***"REDUCCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES EMPLEANDO UN MOFLE DE ADSORCIÓN CON FILTROS DE MONTMORILLONITA SÓDICA EN VEHÍCULO DE GASOLINA"*** constituye la memoria que presenta los **Bachilleres Jhoenmert Edgar Tinoco Canto** y **Mirian Rosmery Carhuaz Yaro** para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Ambiental cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, al 21 de febrero del año 2019



PhD. Noe Benjamin Pampa Quispe


Reducción de concentración de emisiones vehiculares empleando un
mofle de adsorción con filtros de montmorillonita sódica en vehículo
de gasolina


TESIS


Presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR


Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez
Presidenta


Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga
Secretaria


Dr. Jorge Juvenal Bravo Hualla
Vocal


Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio
Vocal


Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe
Asesor

Lima, 19 de diciembre de 2018

DEDICATORIA

A Dios por ser el principio de confianza. A mis padres Ana y Dario por ser la fuente de inspiración y motivación para superarme cada día. A mi hermana Anney por brindarme su cariño.

Mirian Carhuaz

A mi Padre Celestial por darme la vida y permitirme alcanzar mis metas. A mis queridos padres Edgar y María por su gran apoyo y mi hermano José por el cariño y paciencia que me brindaron en esta etapa de la investigación.

Jhoenmert Tinoco

AGRADECIMIENTOS

A mis queridos padres, que día a día estuvieron pendientes de mi persona, en cada etapa de mi vida.

A mi Alma Máter UPeU por impulsar el desarrollo de nuestros valores y conocimientos.

A mis queridos docentes por las enseñanzas brindadas en las aulas, así ayudar en mi formación profesional.

Al PhD. Noe Benjamín Pampa Quispe por su disposición y orientación brindada durante el desarrollo del proceso.

Mirian Carhuaz

Agradecer en primer lugar a mis padres que siempre estuvieron ahí apoyándome en cada decisión de mi vida.

Agradecer a la UPeU y a los docentes que me vieron formarme como profesional, donde aprendí valores y conocimientos.

A nuestro Asesor PhD. Noe Pampa, por el apoyo incondicional en este proceso.

Jhoenmert Tinoco

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
INDICE DE TABLAS	ix
INDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE ANEXOS	xii
SIMBOLOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPITULO I	16
INTRODUCCIÓN	16
PRESUNCIÓN FILOSÓFICA	20
1.1. Objetivos	21
1.1.1. Objetivo general	21
1.1.2. Objetivos específicos	21
CAPÍTULO II.	22
REVISIÓN BIBLIGRÁFICA	22
2.1. Contaminación atmosférica	22
2.2. Clasificación de los contaminantes atmosféricos	24
2.2.1. Procesos de contaminación atmosférica	25
2.2.2. Principales contaminantes atmosféricos	26
2.3. Emisiones atmosféricas por vehículos	30
2.3.1. Procesos de emisión atmosférica de vehículos que transitan por carretera	30

2.3.2.	Emisiones atmosféricas por fuentes vehiculares e impactos en la salud y en el medio ambiente _____	32
2.4.	Emisiones vehiculares en Lima - Perú _____	35
2.4.1.	Factores que afectan la contaminación vehicular _____	36
2.4.2.	Emisiones emitidas por vehículos en Lima – Perú _____	37
2.5.	Tecnología de control y reducción de la contaminación atmosférica ____	39
2.5.1.	Absorción _____	39
2.5.2.	Incineración _____	49
2.5.3.	Eliminación de Óxidos de Nitrógeno (NOx). _____	53
<i>CAPÍTULO III</i> _____		56
<i>MATERIALES Y MÉTODOS</i> _____		56
3.1.	Lugar de Ejecución _____	56
3.2.	Materiales y equipos _____	56
3.3.	Descripción vehicular _____	57
3.4.	Caracterización de las emisiones de los vehículos _____	58
3.5.	Materiales y Métodos en el Sistema de Tratamiento de emisiones atmosféricas mediante el Mofle de Adsorción _____	59
3.5.1.	Muestreo y análisis de pre tratamiento _____	59
3.5.2.	Diseño y Construcción del Mofle de adsorción por filtros (MAPF) _____	59
3.5.3.	Obtención de montmorillonita sódica _____	61
3.5.4.	Muestreo y análisis de los parámetros post tratamiento _____	63
3.6.	Determinación de eficiencia. _____	64
3.6.1.	Diseño y análisis estadístico _____	65
3.6.2.	Análisis estadístico _____	68

CAPÍTULO IV	69
RESULTADOS Y DISCUSIONES	69
4.1. Resultados del DRX y MEB de la montmorillonita	69
4.2. Resultados para muestras dependientes	71
4.3. Análisis de comparación de los resultados de variables dependientes	72
4.3.1. Tratamiento T1 (2000/30)	72
4.3.2. Tratamiento T2 (3000/75)	75
4.3.3. Tratamiento T3 (4000/120)	77
4.3.4. Eficiencia, comparación y correlación entre los tratamientos	79
4.4. Discusiones	83
CAPÍTULO V	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1. Conclusión	86
5.2. Recomendaciones	87
REFERENCIAS	89
ANEXOS	96

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contaminantes atmosféricos y sus fuentes _____	24
Tabla 2. Alcance de contaminantes _____	25
Tabla 3. Distribuciones observadas según la clase de vehículos en Lima, Perú _____	36
Tabla 4. Características generales de los vehículos en Lima, Perú _____	37
Tabla 5. Características del vehículo utilizado en la investigación _____	58
Tabla 6. Especificaciones Técnicas TESTO 340 _____	64
Tabla 7. Factores y tratamientos _____	67
Tabla 8. Resultados de análisis de emisiones vehiculares con variables dependientes e independientes _____	71
Tabla 9. Prueba de variables dependientes para el tratamiento $T_1(2000/30)$ _____	72
Tabla 10. Prueba de variables dependientes para el tratamiento $T_2(3000/75)$ _____	75
Tabla 11. Prueba de variables dependientes para el tratamiento $T_3(4000/120)$ _____	77
Tabla 12. Eficiencia de remoción del MAPF. _____	79
Tabla 13. Comparación de efectividad de remoción entre tratamientos. _____	80
Tabla 14. Correlaciones a una significancia de $p < 0.05$. _____	81

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de contaminación atmosférica _____	23
Figura 2. Procesos que sufre la partícula _____	29
Figura 3. Emisiones en vehículos automotores _____	32
Figura 4. Emisiones de los vehículos _____	33
Figura 5. Diámetro del material particulado _____	34
Figura 6. Porcentaje de fuentes de emisiones atmosféricas _____	35
Figura 7. Porcentaje de antigüedad del parque automotor en Lima _____	35
Figura 8. Emisiones por cada tipo de vehículo en Lima, Perú _____	38
Figura 9. Comparaciones de promedios de emisión de Lima, Perú con los países estudiados _____	39
Figura 10. Torre de Pulverización _____	41
Figura 11. Lavador Venturi _____	42
Figura 12. Torre de Plato _____	43
Figura 13. Torre de Relleno _____	44
Figura 14. Estructura cristalina de la montmorillonita _____	48
Figura 15. Diseño del MAPF _____	61
Figura 16. Cálculo de velocidades en la caja de cambios _____	66
Figura 17. Tratamientos de una relación lineal de la rpm y velocidad (km/h) _____	66
Figura 18. DRX de la montmorillonita sódica _____	69
Figura 19. Micrografías de montmorillonita Sódica: (a) escala 300um, (b) escala 1 um	70

Figura 20. Diagrama de cajas para el T₁(2000/30) entre el pre y post: a) Temperatura Stcack, b) Temperatura Ambiente, c) Oxígeno (%), d) Monóxido de carbono, e) Dióxido de carbono (%), f) Monóxido de nitrógeno, g) Óxidos de nitrógeno y h) Dióxido de azufre. _____ 73

Figura 21. Diagrama de cajas para el T₁(2000/30) entre el pre y post: a) Temperatura Stcack, b) Temperatura Ambiente, c) Oxígeno (%), d) Monóxido de carbono, e) Dióxido de carbono (%), f) Monóxido de nitrógeno, g) Óxidos de nitrógeno y h) Dióxido de azufre. _____ 76

Figura 22. Diagrama de cajas para el T₃(4000/120) entre el pre y post: a) Temperatura Stcack, b) Temperatura Ambiente, c) Oxígeno (%), d) Monóxido de carbono, e) Dióxido de carbono (%), f) Monóxido de nitrógeno, g) Óxidos de nitrógeno y h) Dióxido de azufre. _____ 78

Figura 23. Diagrama de cajas de comparación de efectividad de remoción entre tratamientos. _____ 80

Figura 24. Gráficos de dispersión en 3D entre los tres tratamientos _____ 81

Figura 25. Gráficos de dispersión: (a) Tratamiento 3 y 1, (b) Tratamiento 3 y 2 y (c) Tratamiento 2 y 1. _____ 82

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Diseño del Mufle de Adsorción. _____	97
Anexo 2. Panel fotográfico de la construcción del mofle _____	99
Anexo 3. Ficha técnica de la Bentonita Natural _____	100
Anexo 4. Panel Fotográfico de la obtención de la montmorillonita (arcilla purificada) _	102
Anexo 5. Ficha técnica del carbón activado _____	103
Anexo 6. Ficha técnica del Hidróxido de Sodio _____	104
Anexo 7. Ficha técnica Carbonato de calcio _____	110
Anexo 8. Panel Fotográfico de las mediciones pre y post tratamiento de la emisión vehicular _____	111
Anexo 9. Formato de campo _____	113
Anexo 10. Verificación de servicio _____	114
Anexo 11. Certificado de calibración del equipo _____	115
Anexo 12. Resultados del analizador de gases Testo 340 _____	121
Anexo 13. Análisis estadístico de correlación entre tratamientos _____	124

SIMBOLOS

MAPF : Mofle de adsorción por filtros

MINAM : Ministerio del Ambiente

DRX: Difracción RayosX

MEB: Microscopía Electrónica de Barredura

EPA: Agencia estadounidense de Protección Ambiental

MMT Na: Montmorillonita Sódica

CO: Monóxido de carbono

CO₂: Dióxido de carbono

NO: Monóxido de nitrógeno

NO_x: Óxidos de nitrógeno

SO₂: Dióxido de azufre

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar la reducción de concentración de emisiones vehiculares el diseño del mofle de adsorción con filtros (MAPF) de montmorillonita sódica en vehículos de gasolina. En esta investigación el equipo utilizado para determinar la concentración antes y después de gases en la emisión vehicular fue el analizador de gases Testo 340. El prototipo MAPF tuvo un tamaño de 57 cm de largo y 20 cm de ancho, en su interior contenía mallas metálicas y placas en forma de serpentín con el objetivo de reducir la velocidad de emisión de gases, así mismos filtros de carbón activado (eliminación de CO, CO₂), carbonato de calcio (eliminación de SO₂), montmorillonita sódica (eliminación de NO_x, CO y CO₂) e hidróxido de sodio (eliminación de SO₂). El análisis de emisión vehiculares se realizó en el centro de revisiones técnicas vehiculares a un vehículo Toyota modelo Corolla (2008) que utilizaba la gasolina como fuente de energía. Los resultados obtenidos en las winchas (nueve pres y nueve post), en tres tratamientos: tratamiento 1 (2000 km/h a 30 rpm), tratamiento 2 (3000 km/h a 75 rpm) y tratamiento 3 (4000 km/h a 120 rpm), en el que el MAPF redujo las emisiones vehiculares en los tres tratamientos, no obstante, se tuvo una mayor eficiencia de en el tratamiento 3 (mayor velocidad y rpm). Finalmente se logró deducir la efectividad de reducción del MAPF a un 99.91%, realizando la comparación de las variables dependientes del pre y post.

Palabras claves: Emisiones, mofle, tratamientos, reducción, diseño y medición.

ABSTRACT

The objective of the present investigation is to determine the reduction of the concentration of vehicular emissions, the design of the adsorption muffler with filters (MAPF) of sodium montmorillonite in gasoline vehicles. In this investigation the equipment used to determine the concentration before and after gases in the vehicular emission was the Testo 340 gas analyzer. The MAPF prototype had a size of 57 cm long and 20 cm wide, inside it contained metallic meshes and plates in the form of a coil with the aim of reducing the rate of emission of gases, likewise activated carbon filters (elimination of CO, CO₂), calcium carbonate (elimination of SO₂), sodium montmorillonite (elimination of NO_x, CO and CO₂) and sodium hydroxide (elimination of SO₂). The vehicle emission analysis was carried out at the center of vehicle technical inspections of a Corolla Toyota model vehicle (2008) that used gasoline as an energy source. The results obtained in winchas (nine pres and nine post), in three treatments: treatment 1 (2000 km / h at 30 rpm), treatment 2 (3000 km / h at 75 rpm) and treatment 3 (4000 km / h at 120 rpm) , in which the MAPF reduced vehicle emissions in the three treatments, however, there was a greater efficiency in treatment 3 (higher speed and rpm). Finally, it was possible to deduce the effectiveness of the MAPF reduction at 99.91%, making the comparison of the dependent variables of the pre- and post.

Keywords: Emissions, muffler, treatments, reduction, measurement design.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental en el mundo se encuentra en unos de los problemas más críticos que afectan a los seres vivos que lo habitan, todo es generado por el excesivo crecimiento automotriz que causa efectos adversos en todos los seres vivos o materiales expuestos a dosis que sobrepasen los niveles aceptables en la naturaleza.

La contaminación atmosférica es un problema ambiental que afecta la salud pública de los centros urbanos en los países en vías desarrollo y desarrollados (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2014). Estudios desarrollados en el 2012 por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016) indican que se produjo un total de 3.3 millones de muerte relacionados con la contaminación de aire en interiores y 2.6 millones vinculadas con la contaminación atmosférica; siendo los más afectados y vulnerables los niños menores de 5 años.

Según *Clean Air Institute* (2014) menciona que Salvador (El Salvador) Cochabamba (Bolivia), Monterrey, Guadalajara y el Distrito Federal (México), Lima (Perú), Bogotá y Medellín (Colombia), Santiago (Chile), Montevideo (Uruguay) y San Salvador (El Salvador) son las diez ciudades de Latinoamérica que tienen altos niveles de contaminación atmosférica superando los estándares de la OMS. Por ejemplo, en México los vehículos son la fuente principal de contaminación, contribuyendo a la formación del ozono troposférico causando graves enfermedades cardiopulmonares.

En el Perú, la contaminación atmosférica se genera por diversas actividades industriales (Minería o Pesca) y por el creciente parque automotor, PISA (2002), alude que las unidades vehiculares son respónsables del 90% de la

contaminación del aire, el 10% son fuentes estacionarias. La gerencia de transporte en el 2008 estimó que en Lima se generaban cerca de 10 millones de viajes al día correspondiente al transporte público, y hasta el 2015 se estimó en miles un total de 1 544 214 de vehículos en Lima y Callo. La contaminación atmosférica generada ha producido 5 108 muertes en la capital entre 2007 y el 2011, el 80% se produjo por el transporte público, todo ello ocasionando pérdidas superiores a los 728 millos de soles.

Además, en un estudio realizado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) manifiesta como hallazgo, que el aire que se respira en la ciudad de Lima contiene altas cantidades de dióxido de azufre (SO₂), la cual es un gas contaminante procedente en mayor cantidad del parque automotor.

Según Inchi (2001) menciona que las emisiones generadas por vehículos automotores, trae consigo una gama de gases contaminantes, que depende según el tipo de combustible que se utiliza para su funcionamiento, donde los principales gases emitidos son: Óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), material particulado (PTS, PM₁₀ y PM_{2,5}), compuestos orgánicos volátiles (COV), plomo y especies reductoras de visibilidad; teniendo estos efectos negativos en la salud sea a largo plazo y concentraciones elevadas, siendo los más afectados las mujeres gestantes, niños, ancianos y enfermos (Defensoría del Pueblo, 2006).

La cantidad y calidad de emisiones producidas por vehículos automotores en funcionamiento depende de distintas variables como: la antigüedad del vehículo, la calidad y tipo de combustible, el recorrido que realiza, la tecnología con que fue fabricada, etc; así también la emisión de gases que produce los vehículos empeora cuando existe una congestión vehicular, dado que

las velocidades se reducen considerablemente y permanecen en funcionamiento mayor tiempo. Para considerar herramientas o medidas de control y reducir los actuales niveles de riesgo en la salud de la población de Lima metropolitana y otros lugares, es necesario conocer la relación y funcionamiento de estas variables con las emisiones atmosféricas, y así conseguir una reducción sostenible en las emisiones vehiculares (La Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Vehiculares, 2007).

En la actualidad no existen prototipos de bajo costo para el tratamiento de emisiones vehiculares, pues estas contaminan en grandes niveles, dependiendo del combustible y el mantenimiento, no obstante, en el Perú no se tiene un control adecuado, y no se invierte en el diseño de mecanismos que ayuden a disminuir esta contaminación.

El diseño realizado del mofle de adsorción por filtros es una alternativa de solución inmediata ya que actúa directamente en la fuente, reduciendo las concentraciones de los gases vehiculares. Además de ello, para el funcionamiento del mofle precisa de filtros, generando el reaprovechamiento de los compuestos utilizados ya que en su mayoría son arrojados a contenedores sin fin alguno.

En un estudio realizado en Estados Unidos - Cambridge por expertos del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) con financiación de la Agencia estadounidense de Protección Ambiental (EPA), determino que el cambio de energías sucias a limpias y sobre todo renovables, traería consigo beneficio y ahorro en gastos de salud ocasionadas por la contaminación atmosférica; siendo un estudio detallado de valoración específica de la política climática sobre la economía energética (Environmental Protection Agency [EPA], 2016).

Un aire libre de contaminación puede indemnizar el coste de políticas en la reducción de carbono. Por lo cual los expertos de la MIT pusieron toda la

atención en como una aplicación de una determinada política, trae consigo mejoras en la calidad local y regional del aire, así generando cambios en las emisiones. El precio de tener aire limpio se sitúa entre costos de otros políticos, trayendo beneficios a la salud superando costos de 247 000 millones de dólares en comparación con 208 000 millones (Organismo de las Naciones Unidas [ONU], 2017).

Además, en la Constitución Política del Perú en el artículo 2 inciso 22, establece los derechos fundamentales de la persona, “*Que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida*” eso es cuanto al cuidado del medio ambiente, asimismo en el tema de investigación en el artículo 14, en el que se indica “*Que es deber del Estado promover el desarrollo científico y tecnológico del país*” (Agenda de Investigación Ambiental al 2021 [MINAM], 2016)

De igual forma en el Perú existen políticas del estado que establece el desarrollo de la ciencia y la tecnología: con el fin de utilizar y generar lo conocimientos tecnológicos y científicos, para mejorar la gestión de recursos naturales desarrollando los recursos humanos. Por ello se estableció ejes temáticos de investigación como “Gestión integral de la calidad ambiental”, en el cual se encuentra la calidad de aire con el control de emisiones.

Con el empleo del mofle de adsorción por filtros se recudirá la contaminación atmosférica y por ende se disminuirá los millones de muertes en el mundo.

PRESUNCIÓN FILOSÓFICA

“Un persona puede vivir días y semanas sin comer ni beber, pero sin aire no se puede vivir, en la actualidad la contaminación atmosférica a alcanzado sus niveles más altos generando gran pánico a nivel global, ya que se ha incrementado la morbilidad y mortandad causada por este fenómeno, con esta investigación se pretende reducir la contaminación atmosférica, minimizando todos los efectos que puede causar y así dejar un mundo sostenible a las generaciones venideras, puesto que Dios confió en nosotros y nos entregó esta tierra sin macha de contaminación y nuestro deber es restaurarla y generar un ambiente adecuado de vida. Teniendo en cuenta que ante la constancia y la perseverancia lo imposible se rinde, puesto que en la vida existen obstáculos que harán desistir en lo que se piensa, no obstante, seamos consecuentes en las decisiones, y nunca, pero nunca desistamos de nuestros principios, ser firmes hasta el final siguiendo nuestros sueños y materializándolos”

1.1. Objetivos

1.1.1. *Objetivo general*

Reducción de concentración de emisiones vehiculares empleando un mofle de adsorción con filtros de montmorillonita sódica en vehículo de gasolina.

1.1.2. *Objetivos específicos*

- Determinar las características fisicoquímicas de los gases de las emisiones vehiculares.
- Diseñar el MAPF y extraer los filtros a partir del carbón activado, montmorillonita sódica, carbonato de calcio e hidróxido de sodio.
- Obtener y caracterizar las propiedades de difracción de rayos x (DRX) y Microscopia electrónica de barradura (MEB) de la montmorillonita sódica.
- Determinar la eficiencia de remoción del mofle en el tratamiento de los gases de las emisiones vehiculares.
- Aplicar el mofle diseñado al vehículo de muestra para el tratamiento de los gases de las emisiones vehiculares, aplicando el diseño estadístico de T de muestras dependientes, independientes y matriz de correlación.

CAPÍTULO II.

REVISIÓN BIBLIGRÁFICA

2.1. Contaminación atmosférica

Es la presencia de formas de tipos de energía o materias, que causan daños, molestias graves y riesgos a las personas y sus diferentes bienes, (Martínez y Díaz, 2004).

Un problema alarmante y urgente en el mundo, es la contaminación atmosférica que afecta a distintas ciudades del mundo como en las ciudades de países en vías de desarrollo y desarrollados (Atamayo, 2012).

Según Gonzáles, Gómez, Rojas, Acevedo, y Aristazábal (2016) menciona que la contaminación atmosférica es especialmente grave en ciudades de desarrollo, países; donde hay un rápido aumento continuo de la población, la urbanización, el tráfico, la industrialización, el consumo y el uso de energía. Además, los estudios referentes al tema en América del Sur se han centrado en las grandes ciudades como Santiago de Chile, Bogotá, Buenos Aires, Lima y Sao Paulo.

En Colombia, la polución del aire urbano es uno de los problemas más costosos asociados a la degradación del medio ambiente, debido principalmente al aumento de la morbilidad y mortalidad (Gonzáles et al., 2016).

La siguiente Figura 1 muestra el sistema de contaminación atmosférica:

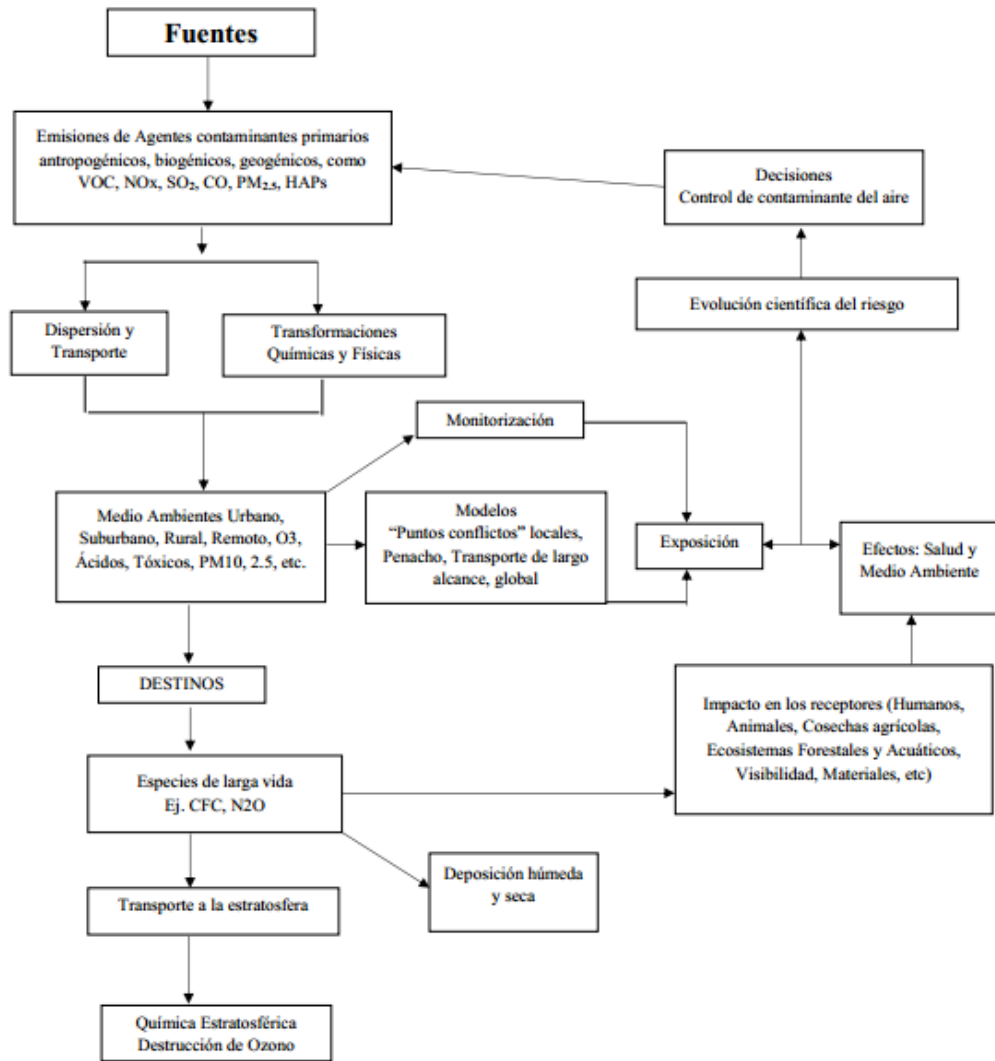


Figura 1. Sistema de contaminación atmosférica (Gallego et al, 2012)

En la capital del Perú (Lima), la polución en el aire incrementó en gran cantidad, debido a que el SO₂ que se respira es cinco veces más que hace un par de años atrás, lo cual es generada en mayor proporción por el parque automotor existente en Lima; este incremento que se viene dando desde el 2010 manifiesta que el cambio de combustible “petróleo” a diésel no está funcionando adecuadamente para la reducción de azufre (García, 2013).

2.2. Clasificación de los contaminantes atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos pueden clasificarse desde su formación, como el carbono (C) que se halla en los combustibles utilizados por los carros, que a su vez reacciona junto con el nitrógeno (N) presente en el aire en una combustión formando dióxido de carbono (CO₂), el cual es un gas no tóxico, pero con efectos indirectos en la salud y medio ambiente, porque es un contribuyente en el calentamiento global (Wunderlich, 2005).

Así también existen otros contaminantes que provienen del combustible y materia prima que son los óxidos de azufre, el material particulado, compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno, etc (Aránguez et al, 1999).

Según Lapuerta (2004) señala que en Europa la contaminación atmosférica es evidente desde los años 1996, ya que hay distintos sectores que son agente contaminante; en la Tabla 1 se muestra un reparto de la responsabilidad de cada sector correspondiente a la contaminación atmosférica.

Tabla 1. Contaminantes atmosféricos y sus fuentes (Lapuerta, 2004)

Compuestos	Transporte	Industria	Generación de energía	Calefacción, agricultura y residuos
CO (%)	68	12	1	19
CO ₂ (%)	18	19	25	38
SO _x (%)	6	24	61	9
NO _x (%)	50	9	15	26
HC (%)	62	26	1	11
Partículas (%)	30	25	16	29

En el Tabla 1 se puede observar que los óxidos de nitrógeno (NO_x) son importantes en el transporte debido a los motores diésel, así también las partículas se producen en mayor proporción en el transporte, en la industria y en la

calefacción, y los óxidos de azufre (SOx) en mayor proporción se encuentran en la producción de energía mas no en el transporte.

Además, estos principales compuestos contaminantes pueden clasificarse de acuerdo al alcance que tienen, en el siguiente cuadro se muestra el alcance de cada contaminante.

Tabla 2. Alcance de contaminantes (Lapuerta, 2004).

Tipo de Impacto	Contaminante	Alcance Global	Regional	Local
Fisicoquímico	CO ₂	X		
	CO			X
	SOx		X	X
	NOx		X	
	HC		X	
	Smog fotoquímico		X	
	Partículas		X	X
	Vapor de agua	X		X
	Lluvia ácida		X	X

2.2.1. *Procesos de contaminación atmosférica*

Los medios de contaminación atmosférica según Spiegel y Maystre (2001) son de tres tipos:

- a. **Móviles:** Donde se encuentran todo el parque automotor, ejemplos: vehículos ligeros, pesados, motocicletas, aviones con distinto uso de combustible para su funcionamiento como gasolina, diésel.
- b. **Estáticas:** Dentro de ello se puede encontrar a las fuentes localizadas y zonales, ejemplo. Fábricas de productos químicos, minerales no metálicos, generación de energías; así también fuentes zonales como la agricultura, minas y canteras; por último fuentes municipales como: plantas de tratamiento

de aguas residuales (PTAR), incinerados de RRSS, servicios de lavandería y calefacción de viviendas.

c. Fuentes naturales: Ejemplo, los volcanes, cantidades de polen, esporas o virus.

2.2.2. Principales contaminantes atmosféricos

Según Aránguez et al. (1999) menciona que las partículas y el dióxido de azufre (SO_2) son los principales contaminantes atmosféricos y los más estudiados en el mundo y en el Perú. Así mismo existen otros contaminantes como el Anhídrido carbonoso (CO), ozono (O_3), Óxido de nitrógeno [IV] (NO_2), que forman parte de la polución.

Los contaminantes atmosféricos en su mayoría se clasifican usualmente en olores, contaminantes gaseosos (gases y vapores) y partículas en suspensión (humos, polvo y niebla).

Según Lapuerta, (2004) a continuación se indican algunos de los contaminantes más frecuentes:

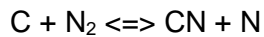
2.2.2.1. Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Existen gran cantidad de este gas, principalmente son los NO y NO_2 con cantidad mayores a los otros; y en una combustión principalmente se observa la presencia del NO y en pocas cantidades el NO_2 cuando la temperatura es baja.

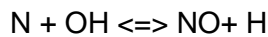
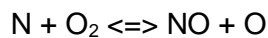
La formación de NO_x se realiza por cuatro mecanismos:

a) Mecanismo Súbito (prompt): En este mecanismo se observa principalmente en la combustión de hidrocarburos. Cuando existe una mayor cantidad de fuego y producción de O y OH “radicales” existe una formación rápida de NO.

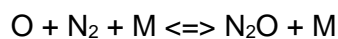
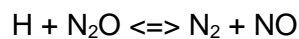
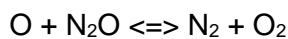
La formación de este gas mediante este mecanismo es por la existencia de los radicales, ya que estas reaccionan con el oxígeno molecular formando aminas y compuestos de "CN o HCN", los cuales sirven como intermediadores para la formación de NO. Este mecanismo se expresa en la siguiente fórmula:



b) Mecanismo térmico: Conocido como mecanismo dominante en temperaturas altas. Su formación es mediante una reacción en cadena, inicia con la separación de moléculas de O₂ para así después reaccionar con las moléculas de nitrógeno. Expresado en la siguiente fórmula.

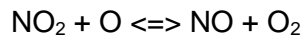
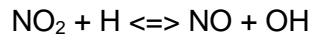
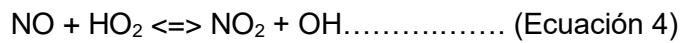


c) Mecanismo vía N₂O: Es un mecanismo importante en mezclas pobres, para elevadas presiones y bajas temperaturas. Donde la existencia de agua en el combustible u oxidante sea significativo. Las reacciones que intervienen son:

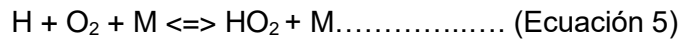


d) Mecanismo vía combustible. Mecanismo no muy importante en las reacciones pre mezcladas donde los combustibles usados generan poca cantidad de nitrógeno, en esta ocasión la formación de NO_x es mediante la

reacción directa del nitrógeno existente en el combustible con el oxígeno del aire. En las siguientes reacciones se expresa la formación del NOx.



Donde la formación del HO₂ (radical) es en bajas temperaturas, mediante la siguiente reacción:



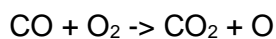
2.2.2.2. Monóxido de carbono (CO)

La formación del CO se realiza a temperatura media y relación combustible aire, donde que la mayor parte de CO se oxida a CO₂ y quedando poca cantidad, pero muy importante en la contaminación atmosférica. La génesis del CO se da en mezcla rica (motores de gasolina) o mezclas heterogéneas (motores diésel).

La génesis del CO se puede resumir en la siguiente reacción:



El proceso de oxidación del CO a CO₂ es lento, pero si hay presencia de radicales OH aumenta la capacidad de oxidación, las dos vías de oxidación son:



2.2.2.3. Óxidos de azufre (SO_x)

En el combustible se encuentra azufre como SO₂ y SO₃; el carbón y el fuel-oil aumentan el alto contenido de azufre y las gasolinas poca cantidad.

En los gases de escape (motores de combustión interna), frecuentemente se encuentra el H₂SO₄ debido a la existencia permanente de H₂O y SO₃.

2.2.2.4. Partículas

Se le conoce como partículas a la materia existente en los gases de salida sea en estado líquido o sólido en condiciones ambientales.

En un sistema de combustión el tamaño de las partículas es variable, en diésel se encuentra entre 0.005 μm y 30 μm; en donde el tamaño llega a aumentar a lo largo de su formación hasta llegar a la atmósfera, mediante la aglomeración.

En una combustión el tipo de partícula emitida depende del tipo de combustible utilizado, tipo de sistema y condiciones de funcionamiento.

En la Figura 2, se muestra la secuencia de procesos de las partículas

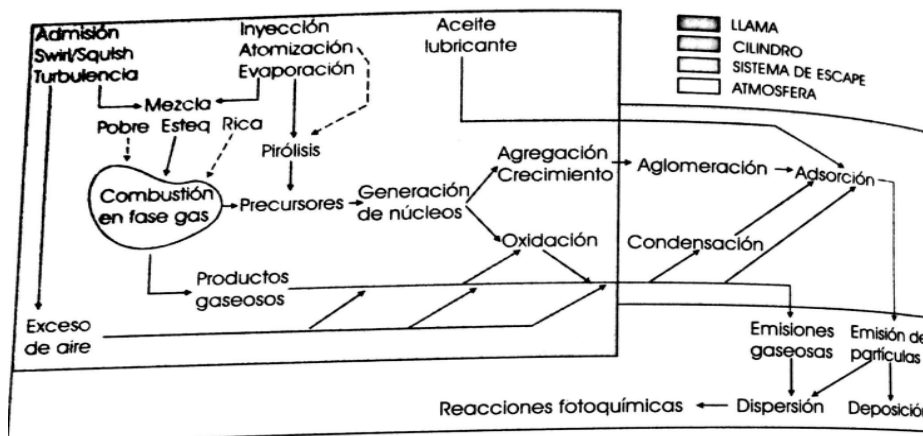


Figura 2. Procesos que sufre la partícula (Lapuerta, 2004)

Es muy importante el estudio del tamaño de las partículas, por la peligrosidad para la salud humana, porque cuanto menor sea el tamaño es difícil ser captada por los filtros y fácilmente inhalada por las personas.

2.3. Emisiones atmosféricas por vehículos

Es considerado como parque automotor a todos aquellos vehículos como taxis, camiones, motocicletas, buses, automóviles, que son diseñados para la circulación en las carretas públicas. En algunas áreas urbanas, la aglomeración de vehículos es una fuente de emisiones de CO, NOx, SOx, PTS, compuestos orgánicos volátiles (COV), y plomo (Inche, 2001).

Según Lents, Davis, Nikkila y Osses (2004) mencionan que el 40 a 50 % de las emisiones vienen a ser de los vehículos.

Además en China por tener un desarrollo de economía rápida, se reflejó en el aumentó el total de vehículos, los cuales llegan a ser fuentes de contaminación atmosférica. Esta alta contaminación tiene consecuencias como: la visibilidad regional, aceleración de neblina y una contaminación fotoquímica (Tang, Chao, Wang, y Chen, 2016).

2.3.1. *Procesos de emisión atmosférica de vehículos que transitan por carretera*

Así como las emisiones industriales también las emisiones vehiculares son una gran fuente de contaminación, las emisiones comunes que se encuentran en los vehículos son las del escape, origina por la combustión y son emitidos por el tubo de escape (Miranda, 2016).

Según Miranda (2016) existen procesos que se desarrollan, como:

- 1. Emisiones evaporativas durante el funcionamiento:** Es generada cuando el motor se encuentra en operación, y las emisiones son provenientes de fugas de combustibles vapor o líquidos.
- 2. Emisiones diurnas:** Son emisiones producidas por la presión de vapor y el por el incremento de temperatura en el tanque de combustible. Las emisiones se producen por el acceso de calor que se refleja de la superficie de la carretera o por el incremento de temperatura del calor en el sistema de escape del vehículo.
- 3. Emisiones por hot soak o “remojo en caliente”:** Se origina después del apagado del motor, donde en el sistema de distribución el combustible llega a volatilizarse.
- 4. Emisiones durante la recarga del combustible:** Se originan cuando el vehículo se encuentra en reposo, cabe resaltar que este hecho sucede en lugares llamados grifos; donde hay existencia de emisiones evaporativas a la hora de recarga que son direccionados desde el tanque de combustible.
- 5. Emisiones en reposo:** Se producen estas emisiones cuando el vehículo se encuentra en reposo (motor sin funcionamiento) donde existe fugas de combustible y permeación de vapor en las líneas del combustible.



Figura 3. Emisiones en vehículos automotores (Universidad de Chile, 2001).

2.3.2. Emisiones atmosféricas por fuentes vehiculares e impactos en la salud y en el medio ambiente

Según Tandra y Christian (2017) menciona que los principales constituyentes de los contaminantes vehiculares incluyen compuestos de hidrocarburos, monóxido de carbono (CO), óxidos nitrosos (NOx), dióxido de carbono (CO₂) y material particulado con unidad de medidas de micrómetros.

Según Castellanos (2017) menciona que los principales contaminantes generados por los vehículos se clasifican en cuatro tipos:

2.3.2.1. Dióxido de Carbono (CO₂)

Según Spiegel y Maystre (2001) menciona que es el contaminante generado por uso de combustibles fósiles (gasolina, diésel, gas), así también por combustible renovables (biodiesel y bioetanol), teniendo en este caso que cero es el balance en la atmosfera.

Este contaminante es de impacto global, ya que su tiempo de vida es larga y ayuda a que el CO₂ llegue a mezclarse de manera completa en el aire. Eso quiere decir que no importa donde se genere el contaminante ya que el efecto será para todos los seres humanos (Requia, et al., 2017).



Figura 4. Emisiones de los vehículos (Castellanos, 2017)

2.3.2.2. El material particulado (MP)

La emisión de partículas de gases de escape de vehículos representa una mezcla de fino, ultra fino como aquellos con tamaños por debajo de 100 nm, y las partículas gruesas como aquellos por encima de 1000 nm (Oberdorfer et al. 2005).

Según Castellanos (2017) indica que el material particulado es generado por una combustión incompleta, y se percibe en los vehículos de motor diésel como humo. El MP se clasifican en cuanto a su medida teniendo como unidad el ppm (partículas por millón) las cuales son:

- a. PM₁₀ y PM₅.**- Partículas de 10 y 5 micras medidas en “ppm”
- b. PM_{2.5}.**- Son partículas de 2.5 micras, medidos en “ppm”, estas son de mucho cuidado ya que su precipitación no es por gravedad, manteniéndose en la atmósfera y formando aerosoles. A su vez causa daño a la salud, porque al ser respiradas llegan hasta los alveolos pulmonares originando cáncer ya que no son filtradas por el tracto respiratorio.

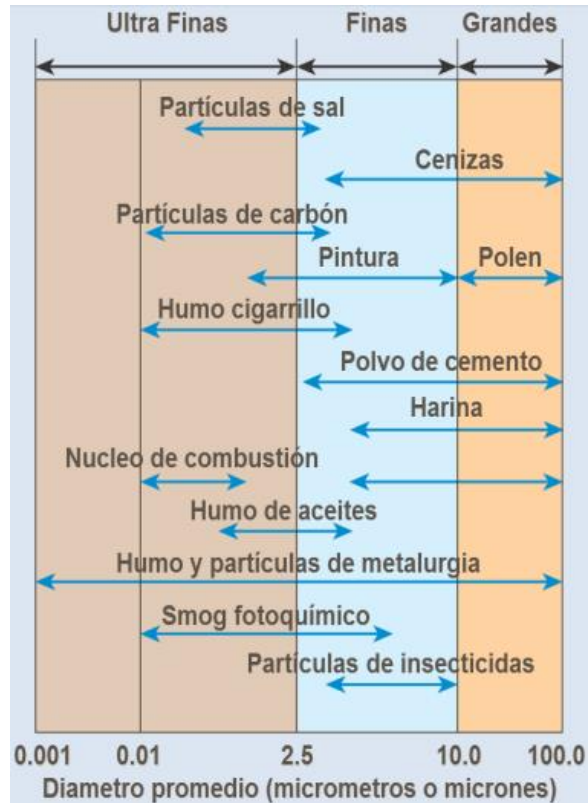


Figura 5. Diámetro del material particulado (Castellanos, 2017)

2.3.2.3. *Los compuestos que resultan en smog*

Estos compuestos son resultados de la combinación de O₂ y N de la atmósfera, entre ellos algunos compuestos son: los óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos no quemados (HC). Que se oxidan mediante la liberación de aire, convirtiéndose en gotas microscópicas de ácido nítrico y orgánico respectivamente (Castellanos, 2017). Este compuesto a alta concentración genera problemas respiratorios serios.

2.3.2.4. *Otros gases tóxicos*

Según Castellanos (2017) menciona que en la serie de otros gases tóxicos se encuentra el anhídrido carbonoso (CO), resultado de la oxidación del hidrocarburo. En la salud es muy venenoso ya que sustituye el oxígeno de la sangre.

2.4. Emisiones vehiculares en Lima - Perú

Según Protransporte (2005) menciona que en la ciudad de Lima el sector dominante en emisiones atmosféricas es el sector transporte. El recorrido de los vehículos en un mismo tramo puede tener consecuencias en emitir contaminantes al aire, ya que según Lents et al. (2004) señala que estos vehículos pueden producir emisiones que son 300 veces diferentes entre sí.

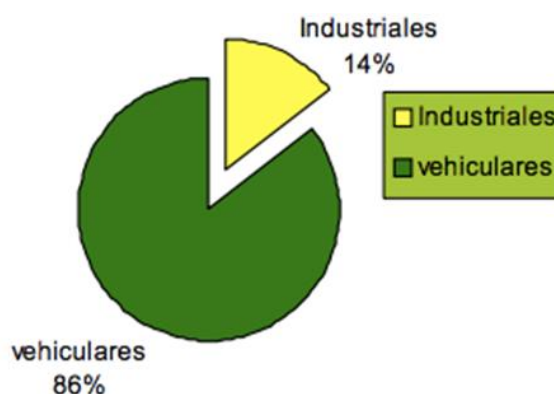


Figura 6. Porcentaje de fuentes de emisiones atmosféricas (Swisscontact – Infras 2000)

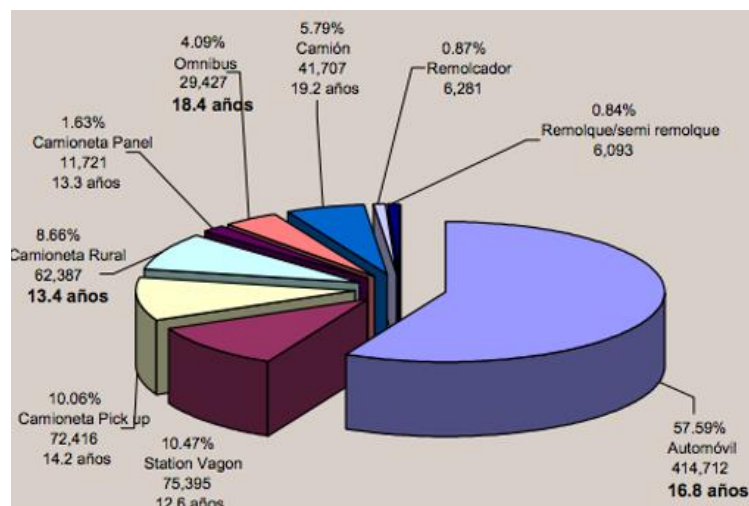


Figura 7. Porcentaje de antigüedad del parque automotor en Lima (Protransporte 2005)

Tabla 3. Distribuciones observadas según la clase de vehículos en Lima, Perú (Lents et al, 2004)

Tipo de Vehículo	Viaje Observado (%)
Coches con pasajeros	52
Taxi	25
Motocicleta	1
Autobús	17
Camión	5
Total	100

Según Lents et al. (2004) señala que la gran cantidad de vehículos son los coches de pasajeros con un 52 %, y con menos cantidad son las motocicletas con un 1%.

Además, en una encuesta realizada se determinó la tecnología y el motor de control de emisiones del tipo de vehículo de pasajeros, donde más de la mitad de estos no tienen ningún catalizador y aproximadamente el 40 % tiene tres catalizadores, a su vez la mayoría de estos vehículos son de gasolina con carburador (Lents et al, 2004).

2.4.1. Factores que afectan la contaminación vehicular

Lima en comparación con diferentes países tiene un número de arranques vehiculares y kilómetros de recorrido ligeramente menor.

Los factores mencionados a continuación son muy importantes porque contribuyen en tener un gran impacto en el inventario de emisiones de las fuentes móviles (Lents et al., 2004):

2.4.1.1. Las velocidades

En Lima, Perú las velocidades más rápidas y bajas se producen en las carreteras, las velocidades altas son suscitadas durante la mañana y velocidad más bajas muy temprano en la mitad del día.

2.4.1.2. Arranque del vehículo

Los promedios de arranques de los vehículos se inician 5.6 veces por día.

2.4.1.3. Periodo de remojo

El periodo de remojo ocasiona un aumento de las emisiones en la hora de arranque de los vehículos. En la Tabla 4 muestra las características de los vehículos en el departamento de Lima.

Tabla 4. Características generales de los vehículos en Lima, Perú (Lents et al, 2004)

Tipo de Combustible	Sistema de aire acondicionado	Tipo de Transmisión	Catalizador (CC)
72% de gasolina	71% con A/C	74% Mechanic Trans.	58% sin CC
26% Diésel	29% sin A/C	26%Automatic Trans.	42% con CC
2% GLP y gasolina (motores duales)			

2.4.2. Emisiones emitidas por vehículos en Lima – Perú

Según Lents et al. (2004) indica las emisiones y la cantidad de estos:

2.4.2.1. Monóxido de Carbono (CO)

El CO emitido por los vehículos en Lima con un total de 3 524 toneladas métricas emitido por día en el aire, con una tasa media diaria de 50 gramos/kilómetros de recorrido.

2.4.2.2. **Compuestos orgánicos volátiles (COV)**

Un total de 294 toneladas métricas de COV son emitido por día al aire en la ciudad de Lima, con un promedio diario total de 4 gramos/kilómetros incluyendo la partida, el correr y las emisiones evaporativas.

2.4.2.3. **Óxidos de nitrógeno (NOx)**

El NOx emitido por los vehículos en Lima son un total de 367 toneladas métricas emitido por día en el aire, con una tasa de emisión media diaria total de 5 gramos/kilómetros de recorrido.

2.4.2.4. **Material Particulado (MP)**

Un total de 22 toneladas métricas de PM son emitidas por día al aire en la ciudad de Lima, con una tasa de emisión diaria de 0.30 gramos/kilómetros de recorrido.

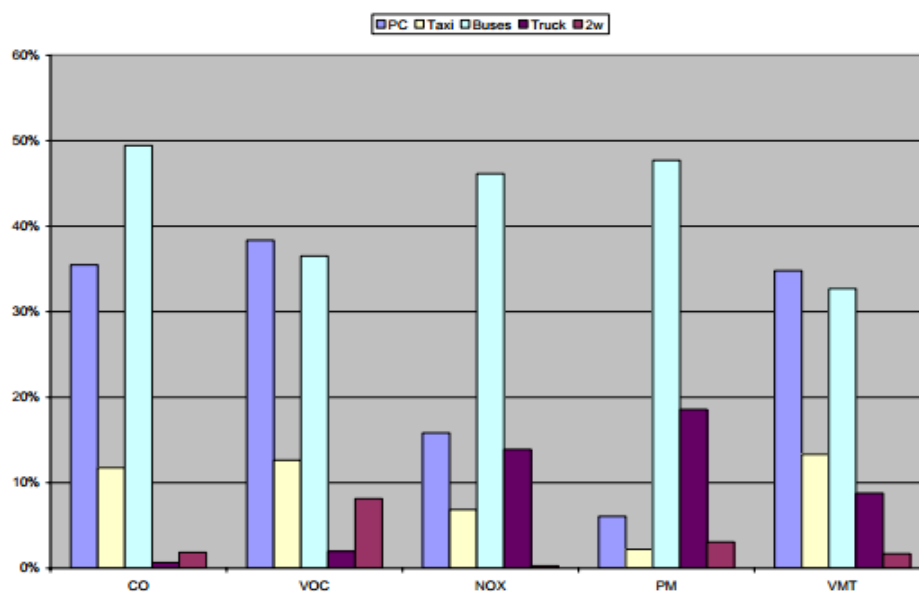


Figura 8. Emisiones por cada tipo de vehículo en Lima, Perú (Lents et al. 2004)

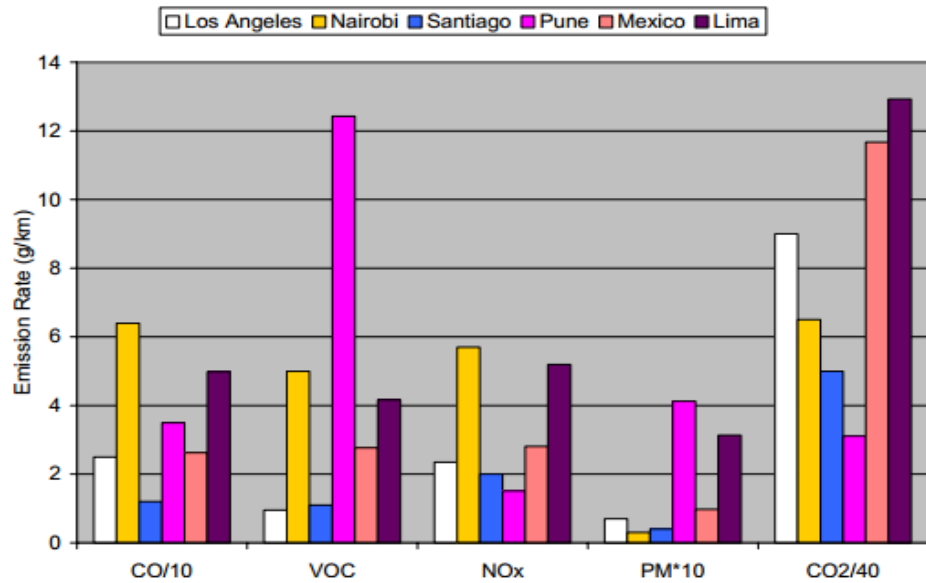


Figura 9. Comparaciones de promedios de emisión de Lima, Perú con los países estudiados (Lents et al. 2004)

En comparación de otros países la ciudad de Lima – Perú tiene las segundas mayores emisiones vehiculares de CO₂ en comparación de los NO_x y el PM, además es un productor moderado de CO y VOC, como se ilustra en la figura anterior (Lents et al., 2004).

2.5. Tecnología de control y reducción de la contaminación atmosférica

2.5.1. Absorción

Según De Nevers (2000) señala que la absorción es la acción de colocar un gas contaminado en contacto con un líquido y el funcionamiento que lleva es como se indica.

Los gases contaminados son mezclas de componentes gaseosos, con una mayor solubilidad diferente en una fase líquida determinada, aunque la mayor parte es insoluble.

En las interfaces entre el gas y el líquido, el gradiente de concentración hace de fuerza impulsora para la eliminación del contaminante. El proceso es

favorecido cuando se aumenta la superficie de contacto en las interfaces, el tiempo de contacto, el coeficiente de difusión de las sustancias y la turbulencia.

Por ello las unidades de adsorción se diseñan para tener grandes superficies del líquido con una caída mínima de presión del gas.

Son muy importantes las condiciones de temperatura y presión. La solubilidad del gas disminuye al aumentar la temperatura y aumenta al incrementar la presión (Ubilla, 2017).

2.5.1.1. Torres de pulverización

En la torre de pulverización, se encuentran las bombillas de aspersión que producen un vapor de agua, la cual hace contacto con el aire con material particulado todo este efecto originado en una cámara. Las torres se clasifican por el flujo de gas residual sea en trayectoria vertical y horizontal. El vapor de agua de las bombillas puede dirigirse perpendicularmente o en contra del flujo de gas, este flujo ingresa al fondo de la torre y fluye hacia arriba; existen bombillas que se encuentran montadas al centro y en las paredes de la torre, por el cual el agua es asperjada hacia abajo. Estas pequeñas gotas cumplen la función de atrapar en el flujo de gas las partículas suspendidas, por acción de intercepción, impacto y difusión. En el proceso existen gotas que permanecen en el flujo de gas las cuales son recolectadas por un eliminador de rocío, y otras gotas de mayor tamaño que caen por gravedad (Davis, 2000).

La eficacia es limitada ya que las gotas tienden a acumularse a medida que asciende por la torre, por lo que solo son eficientes cuando el gas tiene una alta solubilidad en el líquido o cuando no se requiere una eliminación grande. Por otra parte, son sistemas sencillos y económicos, permiten tratar caudales

elevados y también eliminar partículas. Consiguen eficacias de eliminación entre 59 y 90 % y unas pérdidas de carga de 1,3 a 7,6 cm de agua (Mussatti, 2002).

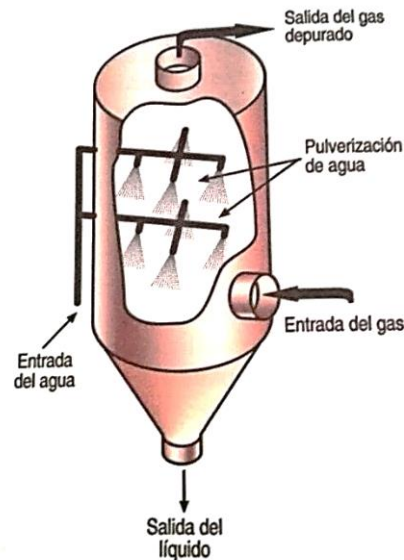


Figura 10. Torre de Pulverización (Gallego et al, 2012)

2.5.1.2. Lavadores Venturi

Los lavadores Venturi tienen un canal de flujo “convergente y divergente”, y que la sección transversal del canal se reduce y aumenta a lo largo de este. La “garganta” es el área más angosta que posee estos lavadores Venturi. El aumento de la turbulencia de gas residual y velocidad es ocasionado por la disminución del área en la sección convergente. Además en la torre de limpieza es inyectado corriente arriba en la sección de la garganta, un líquido de limpieza. El movimiento en la sección divergente desacelera la mezcla gas – líquido, causando aglomeración de gotas e impactos. En la sección de arrastre las corriente de gas es separada de las gotas del líquido conocido como eliminador de rocío y separador ciclónico (Woodard, 1998).

El tiempo de contacto entre líquido y gas es corto, por lo que tiene una eficacia de eliminación limitada y hace que se utilicen para tratar bajos caudales de gases. Además considérense como ventaja la eliminación simultanea de

partículas. Las cuales oscilan entre el 30 y el 60% con grandes pérdidas de carga normalmente entre 15 y 250 cm.

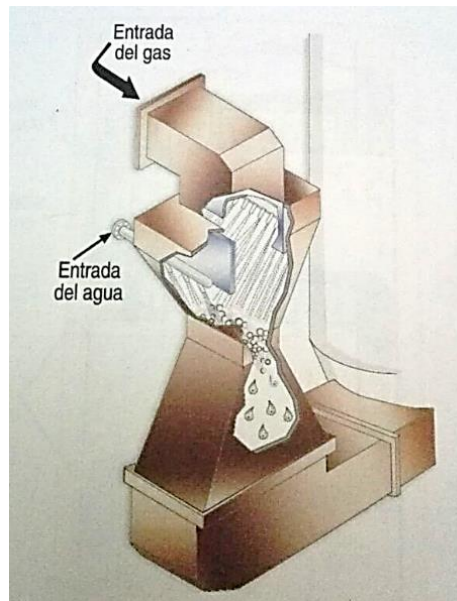


Figura 11. Lavador Venturi (Gallego et al, 2012)

2.5.1.3. Torres de plato

Las torres de plato integran superficies planas las cuales dividen la columna en niveles. Las cuales retienen cantidad de líquido, en donde el vapor que asciende de la caldera es burbujeado, y así conseguir una relación de vapor – líquido. La caída del líquido de un plato a otro es por rebosadero que se encuentra en la parte extrema del piso. El vapor y líquido no están en equilibrio ya que el primero llega al plato y el segundo por encima. En el plato se produce la transferencia de materia. Además existen una diferencia entre las corrientes en equilibrio y las que llegan al plato conocida como la fuerza impulsora. El equilibrio entre el líquido y vapor que abandonan el plato, no se llega alcanzar en las columnas. Son caras y difíciles de operar por lo que tiene poca aplicación (Avellán, 2011).

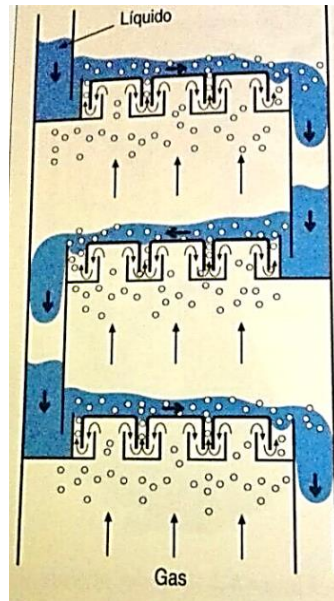


Figura 12. Torre de Plato (Gallego et al, 2012)

2.5.1.4. Torres de relleno

Esta tecnología está repleta de elementos sólidos inertes a las fases circulantes y vapor que son distribuidos ordenadamente o al azar. La dispersión de la corriente del líquido es mediante el rebalzo, el cual se pone en contacto con la circulación de vapor en sentido contrario. En una sección de la columna existe el desequilibrio porque el vapor asciende y el líquido desciende, en donde se transferirán los compuestos más volátiles y menos volátiles. No existe un equilibrio porque el tiempo de contacto en cada sección es corto. A lo largo de la columna la única fuerza que actúa es la fuerza impulsora (Avellán, 2011).

Presentan un inconveniente con los atascamientos debido a que no pueden contener partículas y ello provoca esos problemas. Otro problema que presenta es la forma de caminos preferenciales en el flujo, que son más frecuentes en rellenos ordenados que en los dispuestos al azar. El porcentaje de eliminación es alta, del 99% y con unas pérdidas de carga de 2 a 8,5 cm por metro de columna (Gallego et al., 2012).

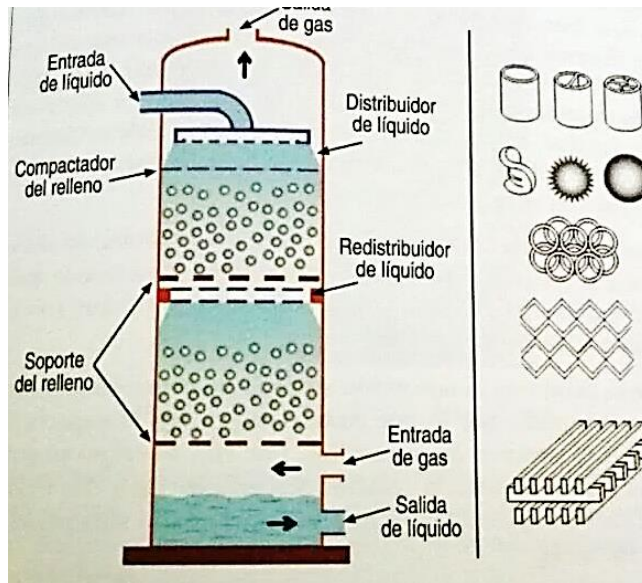


Figura 13. Torre de Relleno (Gallego et al, 2012)

2.5.1.5. Adsorción

Según De Nevers (2000) señala que es un proceso de retención selectiva de sustancias, desde la fase líquida o fase gaseosa a la superficie de un sólido. La sustancia adsorbato es la que se va a eliminar y adsorbente es el sólido.

Se puede producir una adsorción de tipo físico entre el adsorbente y el adsorbato por fuerzas intermoleculares denominadas fuerzas dispersivas de London (Fuerzas de tipo Van der Waals). Se libera energía que lleva adsorbato en un proceso exotérmico. Si las moléculas del adsorbato y adsorbente tienen la misma polaridad el tipo de fuerza anterior son intensas.

El proceso generado en la adsorción permite regenerar el adsorbente y recuperar la sustancia ya que es un proceso reversible, aumentando la temperatura, sin alterar su composición química (desorción).

Si se produce una adsorción de tipo químico, la molécula del contaminante se une a la superficie del adsorbente mediante un enlace químico.

La unión libera mucha energía y es mucho más fuerte que lo mencionado anterior, siendo normalmente irreversible.

Una adsorción adecuada se logrará mediante el contacto de gas con el sólido, porque mayor proceso de adsorción se llevará cuando mayor sea la superficie de contacto. Por ello se emplean sustancias muy porosas, con una elevada relación superficie/ peso (Kiely, 1999).

Los factores para controlar la capacidad de un proceso de adsorción son: Temperatura (al aumentar disminuye la capacidad), presión (al aumentar aumenta la capacidad), velocidad del gas (al disminuir aumenta la capacidad) y el contenido en partículas sólidas (reducen la eficacia de la adsorción) (Davis, 2000).

2.5.1.6. Carbón activado

Se obtiene a partir de subproductos del petróleo, cascara de coco, huesos de fruta o madera, primero mediante pirolisis y después activarla mediante vapor o aire caliente. Poseen una superficie de adsorción mayor, normalmente entre 600 y 1600 m²/g, pudiendo alcanzar hasta 3000 m²/g, es utilizado periódicamente para la reducción o retención de sustancias orgánicas (Masters, 1998).

2.5.1.7. Silica gel

Se obtiene a partir de sodio tratado con ácido sulfúrico, se usa para eliminar la humedad del aire, el uso de este es limitado a temperaturas menores a 250°C. Asimismo posee una superficie de adsorción entre 300 y 900 m²/g (Masters, 1998).

2.5.1.8. Alúmina activada

Es un óxido de aluminio que se activa por calentamiento entre 175 y 325 °C. Se utiliza para eliminar agua y otros compuestos polares. La superficie de adsorción oscila entre los 200 y 400 m²/g (Masters, 1998).

2.5.1.9. Zeolita

Según Parker (1983) menciona que son silicatos de aluminio cristalinos, con lo que se consiguen tamaños de poro muy pequeños y regulares. Variando las condiciones operatorias para la formación y la composición de las disoluciones, es posible sintetizar las zeolitas de diferentes estructuras o la misma zeolita con diferentes composiciones químicas, pudiendo separar selectivamente las moléculas gaseosas en función de su tamaño o por su composición. Se les denomina tamices moleculares. La superficie de adsorción oscila entre 600 y 700 m²/g.

Según De Nevers (2000) señala la siguiente clasificación:

2.5.1.9.1. Lecho Fijo

Se hace pasar el flujo del gas a través de un lecho con el material adsorbente. Normalmente el gas se pasa antes por un sistema de filtración para eliminar las partículas, ya que disminuyen mucho el rendimiento de eliminación. Cuando el lecho se satura hay que regenerar el adsorbente, pudiéndose realizar mediante los siguientes procedimientos: aumentando la temperatura, disminuyendo la presión, utilizando un gas inerte y con vapor de agua (Peavy, 1985).

2.5.1.9.2. Lecho fluidificado

El gas pasa a través del adsorbente que se mantiene en suspensión por el propio flujo del gas o por otros mecanismos. Parte del adsorbente se extrae, se regenera y se vuelve a introducir al sistema (De Nevers, 2000).

2.5.1.9.3. Arcilla bentonita

Los minerales de arcilla están constituidos por pequeñas partículas cristalinas con láminas tetraédricas de sílice-oxígeno y una lámina octaédrica de aluminio o magnesio, donde un ion de aluminio o magnesio se coordina octaédralmente con seis oxígenos o hidroxilos (Salam, Kosa y Al-Beladi, 2017). La bentonita es un importante mineral comercial compuesto principalmente por un grupo de esmectitas de minerales de arcilla. Tiene amplias áreas de aplicación tales como lodo de perforación o gel de perforación, arena de moldeo por fundición, industria de granulación de alimentos, sellado de estanques de agua dulce, remoción de emisiones, aguas residuales y lagunas de agua industrial, fungicidas, aerosoles, limpiadores, abrillantadores, materiales cerámicos, papel, cosméticos y medicamentos, y aplicaciones donde se requieran sus propiedades únicas de adhesión, suspensión o gelificante (Uskarci, 2006).

2.5.1.10. Montmorillonita sódica (MMT Na)

Según Poole (2007) indica que la montmorillonita es una estructura 2:1 de filosilicatos, este posee una lámina octahedral central de alúmina cuyo espesor es de 1 nm aproximadamente con dimensiones laterales de 30 nm y distancia de capas 95, está encontrándose entre dos hojas tetrahédricas silíceas externas.

Montmorillonita es la más común esmectita, principal componente de la bentonita, derivado de la intemperie de la ceniza volcánica. Las montmorillonitas

son materiales consistentes en silicatos minerales de capas en dimensión nanométrica, que son baratos, no peligrosos, y se caracterizan por una alta reactividad superficial y estabilidad debido a su gran superficie (Salam, Kosa y Al-Beladi, 2017).

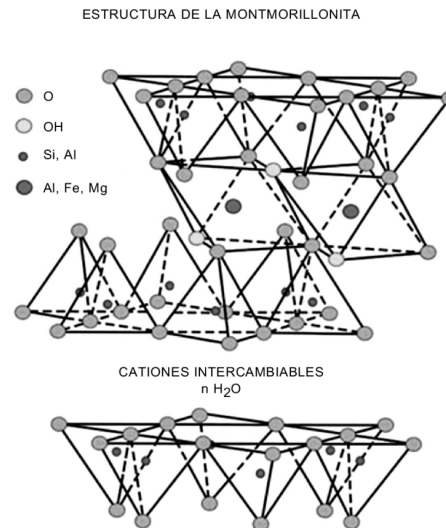


Figura 14. Estructura cristalina de la montmorillonita (Fernández, 2011)

Según Bailey et al (1999) menciona que la montmorillonita tiene el proceso de adsorción de este mineral está favorecido por su área superficial por encima de $800 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ y es uno de los minerales más utilizados en estudios de adsorción por sus área superficial y cristales pequeños.

2.5.1.10.1. Caracterización de las Montmorillonita

a) Difracción de rayos X (XRD)

La difracción de rayos X y su relación con el medio cristalino de la montmorillonita en que se produce son determinadas por la ley de Bragg, lo cual determina un valor único y exacto del ángulo de incidencia para el que tiene lugar la reflexión del haz. El físico inglés Bragg (Bragg, 1969) dio una explicación al fenómeno de la difracción de rayos X por un sólido cristalino que, aunque a priori

pueda parecer artificiosa, proporciona una visión muy simple e intuitiva (Sanz, 1995).

La ley de Bragg es representado por la siguiente expresión,

$$2d \text{ Sen } \theta_g = n \lambda \dots\dots\dots \text{ (Ecuación 8)}$$

Donde θ_g es el ángulo de Bragg, n se denomina orden de la reflexión y 2d la distancia que hay de un plano a otro.

b) Microscopía electrónica de barrido (MEB)

La estructura del plástico se encuentra ligadas con la composición y proceso de formación de los materiales, siendo estas las principales determinantes de sus propiedades. La metodología más empleada en la caracterización de materiales es la microscopía electrónica de barrido, debido a sus características permite el estudio de estructuras superficiales o internas. Las imágenes tienen alta profundidad de enfoque, que significa la obtención de diferentes relieves de la superficie, imágenes tridimensionales, por lo tanto, más fácil de interpretar que las imágenes de proyección de la microscopía de transmisión; imágenes de alta resolución (Canevarolo, 2003; Martins De Sousa, 2012).

2.5.2. Incineración

2.5.2.1. Eliminación de óxidos de azufre

Según Seinfeld (1997) indica que los óxidos de azufre son unos de los contaminantes que se emiten en mayores cantidades a la atmosfera y se producen especialmente en las tecnologías en que se emplean combustibles fósiles. El azufre es un componente del petróleo y del carbón, en una proporción que varía entre el 0,1 y el 5%.

Para reducir emisiones, la utilización del gas natural como combustible debido a su contenido en azufre (S) bajo, o la previa eliminación del azufre de los combustibles utilizados, es una de las alternativas que se tiene. En el caso del carbón, del 30 al 40% del S está se encuentra en piritita y puede ser eliminada mediante métodos fisicoquímicos, que son económicamente viables, mientras que el caso de que el S forme parte de compuestos naturaleza orgánica sería necesario recurrir a la hidrogenación catalítica, que conlleva costos elevados (Mussatti, 2008).

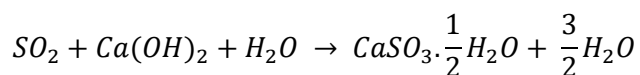
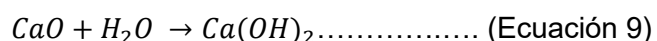
Al ser compuestos de carácter ácido, los métodos para su eliminación se basan en el uso de compuestos de compuestos alcalinos. Principalmente se utilizan procesos húmicos o secos.

2.5.2.2. **Procesos Húmedos**

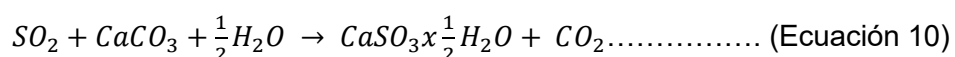
Según Wark (2004) indica que los gases ingresan a una solución con contracorrientes, finamente dividida del adsorbente, las cuales son:

- **Desulfuración con cal o caliza:** Se prepara una disolución lechada o acuosa, y reacciona la caliza generando cantidades superiores de despojos que contienen sulfito y sulfato cálcicos. Las reacciones son las siguientes.

Cal:



Caliza:



Se consiguen eficacias de eliminación del 60% y 90%, pero hay que tener en cuenta los problemas de formación de costras y corrosión de las torres.

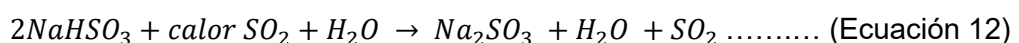
Para solventar estos problemas, se puede emplear caliza húmeda modificada con sulfatos de magnesio, que tienen una mayor capacidad absorbente del SO₂ y que reduce formación de costra en el depurador ya que es más soluble. Posteriormente en un tanque se regenera el MgSO₃ en presencia de carbonato de calcio (Kiely, 1999).

- **Desulfuración con óxido de magnesio (MgO):** Es un procedimiento afín al de la lechada de cal, pero ahora se trabaja con MgO en vez del CaO. Además una de sus ventajas es la fácil calcinación de sulfato o sulfito de magnesio; donde es este proceso se regenera el MgO y el SO₂ que se pueden ser utilizados para otros propósitos. Se requiere energía en el proceso de regeneración, pero también produce pocos residuos.
- **Desulfuración con lejías:** Se puede utilizar una disolución de hidróxido sódico o carbonato sódico para absorber SO₂, obteniéndose dos sulfatos solubles, que se pueden recoger en balsas de evaporación.

Desulfuración con sulfito de sodio: Se tiene como reacción:

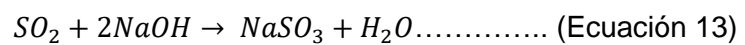


Posterior el bisulfito se genera en un cristalizador evaporador, produciéndose a la vez, SO₂ concentrado (90%), sulfito sódico y vapor de agua.

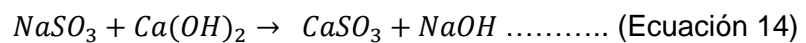


Este método no traza problemas de incrustaciones, pues los productos generados son muy solubles. El reactivo utilizado en el proceso de obtención de material puro es un problema fundamental, por eso constantemente se emplea en calderas industriales pequeñas. El SO₂ existente puede oxidarse a ácido sulfúrico o reducirse a azufre (Wark, 2004).

- **Desulfuración con doble álcali:** Se realizará la formación de sulfito de sodio para realizar el primer tratamiento con sosa caustica.



Posteriormente el producto originado se mezcla con lechada de cal y así precipitar el sulfito de calcio para conseguir regenerar la sosa.



Presenta poca formación de costras y altos rendimientos.

2.5.2.3. Procesos Secos

Según De Nevers (2000) señala que en este proceso se utiliza el absorbente mediante la atomización en partículas finas. Se pueden utilizar caliza, cal, dolomita, donde las reacciones generadas son las mismas de los procesos húmedos.

En un reactor de lecho fluidizado y en la atomización en partículas finas del gas a tratar se utiliza el absorbente en seco. Se pueden utilizar caliza, cal o dolomita y las reacciones originadas son igual a los procesos húmedos. Los subproductos tienen que eliminarse mediante un sistema de eliminación de partículas (Filtros, precipitadores electrostáticos).

2.5.3. *Eliminación de Óxidos de Nitrógeno (NOx).*

Según Ubilla (2017) menciona que los óxidos de nitrógeno se originan por el consumo de combustibles, aproximadamente la mitad de estos compuestos se generan en fuentes fijas y la otra en fuentes móviles.

Una de las formas de evitar su formación es la de controlar la combustión, ya que estos compuestos se pueden formar con el nitrógeno y el oxígeno atmosférico a altas temperaturas. Aunque la forma mayoritaria en la atmosfera es el NO₂, y la forma de NO en los gases de los procesos de combustión bajo, el cual es termodinámicamente inestable y se forma rápidamente.

De acuerdo al tipo de combustible se puede alertar de forma significativa la tasa de emisión, ya que algunos pueden contener nitrógeno (piridina, quinolina) donde el carbón es de mayor emisión y el gas natural de menor.

Según Gallego et al. (2012) indica que para la reducción de NOx se pueden asumir las siguientes medidas:

- a. **Disminución de temperatura de precalentamiento del aire:** eleva el gasto energético, pero reduce la formación de NOx, ya que no se forman a baja temperatura.
- b. **Bajo nivel de exceso de oxígeno:** Mediante esta medida se trata de evitar el COV y CO, por ende el exceso de O₂ hace que funcione los quemadores.
- c. **Re-circulación de los gases de salida:** Para disminuir la temperatura y el O₂ es que cierta parte de gases de salida sea inyectada nuevamente en la zona de ignición. Aumenta el costo de la combustión.
- d. **Combustión en etapas:** Se puede realizar de dos maneras: mediante la separación de la aportación de combustible o la aportación de aire.

- Con el primer proceso de la aportación de aire, se produce una reducción de O_2 en la combustión, bajando la concentración de NO_x , es generado por el aumento de cantidad de reductores. Cuando la temperatura baja lo suficiente no hay formación de NO_x .
- En el segundo proceso de separación mediante la aportación de combustible, se buscará reducir la suma de NO_x , este se realizará mediante la recombinación de radicales libre de hidrocarburos en la segunda llama, produciendo N_2 y CO_2 . Este proceso es empleado en calderas que requieren de elevadas temperaturas en la primera zona.

La reducción de los NO_x en los gases de salida se puede abordar de varias formas:

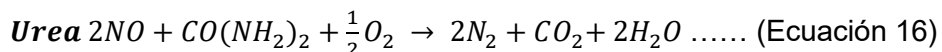
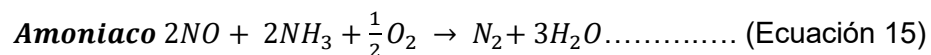
2.5.3.1. Reducción Selectiva

Según Environmental Protection Agency (US – EPA, 2012) menciona que la eliminación de NO_x de los gases de salida es mediante reacción químicas con “sustancias reductoras” para así obtener vapor de agua y N_2 .

En este proceso existe una diferencia que es de acuerdo al uso de un catalizador o no. El uso de uno de estos, poseen una temperatura baja a diferencia del que, si se usa catalizadores, sin embargo, tiene un precio mayor.

- **Sin catalizador:** Se introduce el amoníaco o la urea, los cuales reacción con los muchos compuestos de gases de salida. Controlando la temperatura (entre 800 y 850 °C con amonio y de 500 a 900 °C en la urea); el contenido de O_2 generado ayuda a la reacción con el NO_x (Tandra y Christian, 2017).

Según Gallego et al. (2012) menciona que las reacciones en esta reducción son:



De esta reacción se encuentra también un subproducto que es el óxido nitroso (N_2O), que forma parte de gases de efecto invernadero, y causando daños a la capa de ozono (O_3), el rendimiento generado es entre el 30 % al 80%.

- **Con catalizador:** Se emplean los mismos reductores. La elección del catalizador depende de la temperatura del gas y de sustancias que puedan envenenar los catalizadores. Se consiguen rendimientos de eliminación superiores al 90% (Gallego, et al., 2012). Lo catalizadores utilizados son:
 - Metales nobles: Platino o paladio sobre partículas de aluminio. Operan a bajas temperaturas a (200 – 300 °C) pero se ven afectados por el SO_2 y las partículas.
 - Óxidos metálicos: Óxidos de vanadio, titanio, wolframio y molibdeno. Funcionan a temperaturas que van de 350 – 400°C y sobre todo el V_2O_5 resistencia a los componentes.
 - Zeolitas: Trabajan a temperaturas que se encuentran entre 400 – 500 °C, necesitando mayor proporción de reducción.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de Ejecución

Constó de tres etapas las cuales se dividieron en: diseño y construcción del mofle; monitoreo y análisis de los parámetros analizados, la primera fase se desarrolló en gabinete, las otras dos en los laboratorios de la Universidad Peruana Unión y una estación de revisiones vehiculares.

3.2. Materiales y equipos

Los materiales utilizados para la producción de Montmorillonita Sódica fueron:

- Bentonita sódica
- Agua destilada
- Probeta de 2 L
- Pipeta graduada
- Centrifugadora
- Estufa

Se realizó el diseño del Mofle de adsorción por filtros mediante el apoyo del software AUTOCAD 2017 – English, para lo cual se empleó:

- Laptop
- Lapicero
- Calculadora
- Cuaderno de apuntes

Definido el diseño del sistema se construyó el mofle de adsorción por filtros utilizando los siguientes materiales e insumos.

- Placas de acero de 40 cm
- Mallas metálicas finas
- Tuberías metálicas de 2.4"
- Adaptadores de caucho
- Cilindro metálico de 2" x 40 cm
- Wincha
- Equipo de soldadura.
- Llaves de ajuste
- Cierra eléctrica
- Perno coche, tuercas y arandelas

Insumos:

- Arcilla purificada a partir de bentonita
- Carbón activado
- Carbonato de calcio
- Hidróxido de sodio

La construcción se realizó siguiendo los siguientes pasos:

3.3. Descripción vehicular

Se empleó un vehículo de marca Toyota COROLLA, que utiliza Gasolina como fuente de energía. En la Tabla 5 se muestra las características generales del vehículo:

Tabla 5. Características del vehículo utilizado en la investigación

Características del vehículo	
Marca	Toyota
Serie y modelo	Corolla
Año	2008
Carrocería	sedán
Combustible	Gasolina
Asientos/puertas	5/4
N° ejes/N° ruedas	2/4
Largo/Ancho/Alto (m)	4.54/1.76/1.48
Peso	1266 kg
Fabricante del motor	Toyota
Código del motor	1ZZ-FE
Cilindrada / Desplazamiento / Capacidad del motor	~ 1.8 L
Número de cilindros y válvulas por cilindro	4
Disposición de cilindros	en línea
Diámetro del cilindro	79.00 mm
Sistema de combustión	Inyección de combustible en secuencia
Convertidor catalítico / Catalizador	disponible
Potencia máxima	128 hp
Revoluciones (potencia máxima)	6000 rpm
Revoluciones (par máximo)	4200 rpm
Volumen / capacidad de depósito /tanque	50.00 L

3.4. Caracterización de las emisiones de los vehículos

La caracterización de los gases de la emisión vehicular se realizó empleando el equipo analizador de gases “Testo 340” en el vehículo de muestra, en el que se midió los siguientes parámetros en distintas velocidades y revoluciones por minuto (rpm): concentraciones de monóxido de carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), monóxido de nitrógeno (NO), óxidos de nitrógeno

(NO_x), Dióxido de Azufre (SO₂), temperatura stack (T stack) y temperatura ambiente (ambient temp), porcentaje de oxígeno (% oxygen).

3.5. Materiales y Métodos en el Sistema de Tratamiento de emisiones atmosféricas mediante el Mofle de Adsorción

3.5.1. Muestreo y análisis de pre tratamiento

El análisis del pre tratamiento constó de tres (03) mediciones al vehículo de muestra en diferentes velocidades y revoluciones por minuto (rpm), empleando el Equipo Analizador de Gases midiendo y analizando los siguientes parámetros:

- Monóxido de Carbono (CO)
- Dióxido de carbono (CO₂)
- Óxido de Nitrógeno (NO)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- Dióxido de Azufre (SO₂)
- Temperatura stack (T stack)
- Temperatura ambiente (ambient temp).
- Porcentaje de Oxígeno (%Oxigen)

En la medición Pre se insertó la sonda del Testo 340 en el mofle del vehículo, después se obtuvo resultados con valores determinados en el muestreo.

3.5.2. Diseño y Construcción del Mofle de adsorción por filtros (MAPF)

3.5.2.1. Diseño

- a) Se cortó por la mitad el cilindro para que este en forma de compuerta, las cuales ambos lados se aseguraron con caucho y posterior se cerró con 3

pernos coche, tuercas y arandelas en ambos extremos con la finalidad de mantener una presión interna y no exista fugas.

- b) En el cilindro se soldaron las dos tuberías metálicas de 6 cm de diámetro y longitud de 7 cm, una para el ingreso y otra para la salida de la emisión, la tubería de ingreso facilito el acople con el tubo de escape del automóvil.

La parte interna del mofle estuvo construida y dividida en tres zonas las cuales son:

3.5.2.1.1. Zona de tratamiento con filtros:

- a) Se colocó una malla metálica de diámetro de 13 cm entre el tubo metálico y la entrada del cilindro, cuya función fue realizar el filtro de partículas.
- b) Posterior se instaló tres placas metálicas consecutivas, conteniendo en su interior un componente químico: carbón activado, arcilla purificada, carbonato de calcio e hidróxido de sodio respectivamente.

3.5.2.1.2. Zona de disminución de Velocidad

- a) En el centro del diseño se soldó 3 paredes circulares internas intercaladamente equidistantes, para que existe una circulación en forma de serpentín disminuyendo la velocidad de la emisión.

3.5.2.1.3. Zona de tratamiento con filtros

- a) Posterior a la zona de disminución de la velocidad se volvió a colocar el mismo sistema anterior que consistía en: tres placas metálicas consecutivas conteniendo en su interior un componente químico: carbón activado, arcilla purificada, carbonato de calcio e hidróxido de sodio respectivamente.

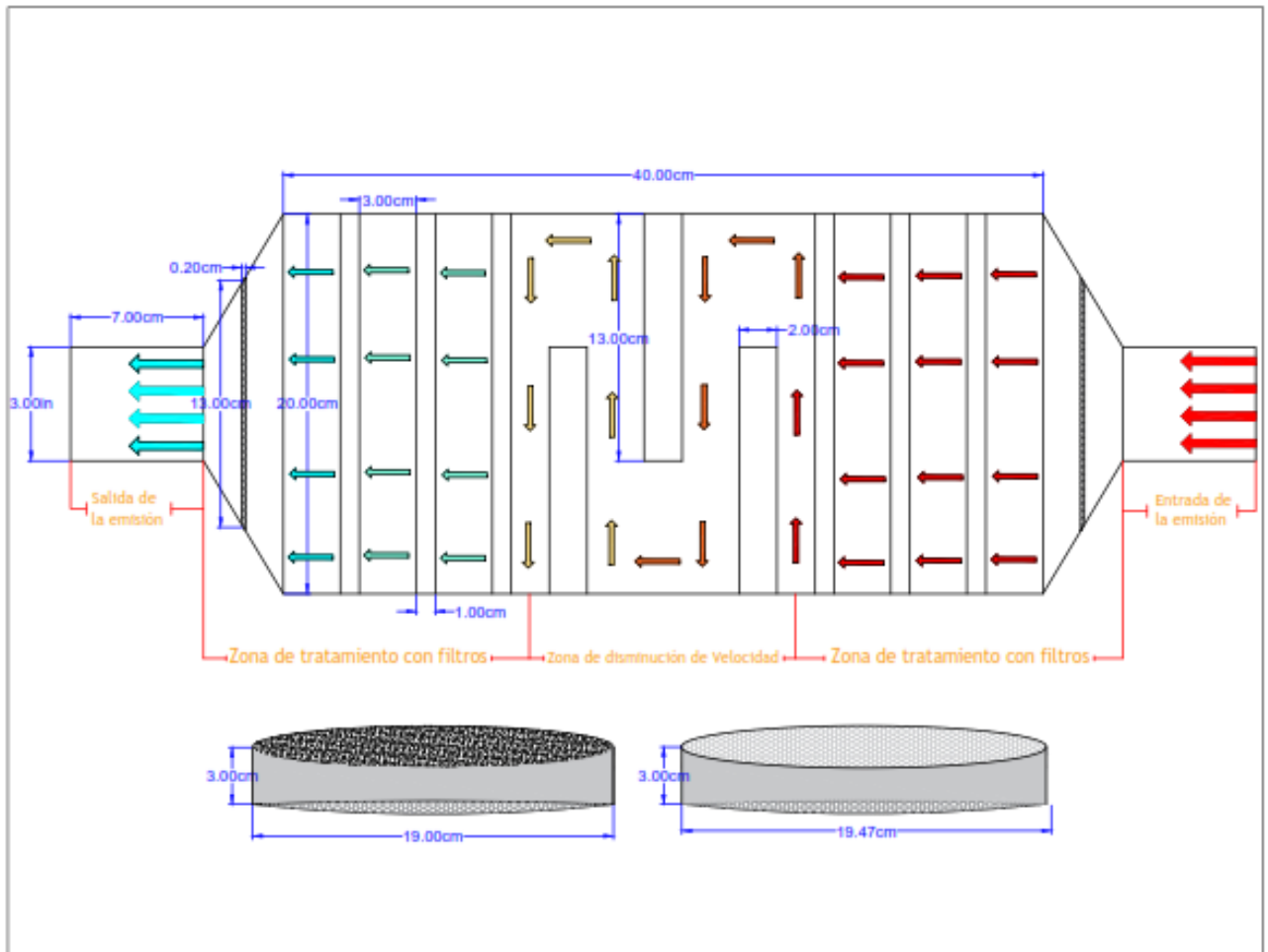


Figura 15. Diseño del MAPF

3.5.3. Obtención de montmorillonita sódica

Para la obtención de montmorillonita sódica se utilizó los ambientes del laboratorio de Monitoreo Ambiental de la E.P. Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión; empleando la metodología y sus modificaciones de:

Shirzad-Siboni et al, 2015; Bahari A. et al. (201); Arriola y Rojas, 2016; Lee J.Y. y Lee H.K. (2004); Vineeta N. (2004).

- a) En una probeta graduada de 2L se colocó 100 g de bentonita sódica previamente secada, se adicionó 1400 mL de agua destilada y se agitó vigorosamente durante 10 minutos, se aforó y se dejó en reposo por 20 minutos.
- b) Se extrajo la solución sobrenadante hasta una profundidad de 25 cm (Separación de solución concentrada) con la pipeta y se descartó el sobrante.
- c) Se centrifugó a 3000 RPM por 5 minutos y se separó el líquido de la solución.
- d) Se procedió al secado la montmorillonita obtenida a 100 °C por 24 h.
- e) Se pulverizó y almacenó la montmorillonita sódica hasta su empleo.

3.5.3.1. Caracterización de Difracción de rayos X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barredura (MEB) para la montmorillonita sódica

DRX: Para la caracterización de la montmorillonita se utilizó el difractómetro, 40 Kv de tensión y corriente de 30 mA. Se recogieron los datos en un rango angular de 5 a 70 ° (2θ), a una velocidad de exploración de 1.2 °/min. La cristalinidad relativa (%) de la película se estimará cuantitativamente como la relación del área cristalina al área total (Nara y Komiya, 1983).

Se utilizó la ley de Bragg para determinar los picos cristalinos.

$$2d \text{ Sen } \theta_g = n \lambda \dots\dots\dots \text{ (Ecuación 17)}$$

Donde θ_g es el ángulo de Bragg, n se denomina orden de la reflexión y 2d la distancia que hay de un plano a otro.

MEB: Las muestras de montmorillonita se fijaron en tiras de aluminio con cintas de doble cara (cinta conductora de carbono). Finalmente se observaron

en el microscopio electrónico de barrido en un Zeiss (modelo EVO MA10), la nano y microestructura de la montmorillonita.

3.5.4. Muestreo y análisis de los parámetros post tratamiento

El análisis post tratamiento constó de tres mediciones realizados por el Equipo Analizador de Gases en la salida del MAPF en diferentes velocidades y rpm.

3.5.4.1. Metodología de Post tratamiento

El método consistió en la toma de muestras y análisis in situ, haciendo uso de un equipo Analizador de Gases que consta de las siguientes partes:

- Sistema de absorción
- Sistema de acondicionamiento
- Analizador
- Registrador
- Impresora

Reporte de registros:

- Monóxido de Carbono (CO)
- Dióxido de carbono (CO₂)
- Óxido de Nitrógeno (NO)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- Dióxido de Azufre (SO₂)
- Temperatura stack (T stack)
- Temperatura ambiente (ambient temp).

➤ Porcentaje de Oxígeno (%Oxigen)

Tabla 6. Especificaciones Técnicas TESTO 340

PARÁMETRO	EQUIPO	RANGO	PRECISIÓN
Monóxido de Carbono		0 – 10 000 ppm	± 10 ppm o ± 10% del v.m. (de 0 a 200 ppm CO). ± 20 ppm o ± 5% del v.m. (de 201 a 2000 ppm CO). ± 10% del v.m. (de 2001 a 10000 ppm de CO).
Monóxido de Nitrógeno	Analizador de gases de combustión	0 – 4000 ppm	50 ppm
Dióxido de Carbono	TESTO 340		Cálculo a partir de O ₂ (%)
Oxígeno		0 – 25 Vol%	± 0.2Vol%
Óxidos de Nitrógeno		0 – 3 000 ppm	± 5 ppm (de 0 a 99 ppm). ± 5% del v.m. (de 100 a 1 999 ppm). ± 10% del v.m. (de 2 000 a 3 000 ppm).
Temperatura		- 40 a 1 200 °C	+/- 5°C (de 0.0 a 99 °C). ± 5% del v.m. (resto de rango).
Dióxido de Azufre		0 – 5000 ppm	± 10 ppm (de 0 a 99 ppm) ± 10% del v.m. (resto de rango)

3.6. Determinación de eficiencia.

Para la determinación de eficiencia del mofle de adsorción por filtros se utilizó la siguiente fórmula:

$$Eficiencia = 100\% - \left[\left(\frac{Datos\ Pre}{Datos\ Post} \right) * 100\% \right] \dots\dots (Ecuación 18)$$

3.6.1. *Diseño y análisis estadístico*

Es una investigación experimental y descriptiva que constó de pruebas paramétricas y emparejadas (pre y post) para determinar los efectos de las variables al diseño del mofle de absorción mediante filtros.

Este diseño consistió en emplear mediciones de parámetros fisicoquímicos de los gases de emisión vehicular del automóvil seleccionado, estas mediciones se realizaron antes y después de instalar el MAPF en el tubo de escape del automóvil.

Se identificó las diferentes variables en el funcionamiento del MAPF para realizar el T. test muestras dependientes y T.test en muestras independientes mediante cálculos estadísticos.

Las variables independientes que fueron determinadas en el diseño del mofle de absorción son:

- Revoluciones por minuto (rpm)
- Velocidad del automóvil (km/h)

Las variables dependientes que fueron determinadas en el diseño del mofle de absorción son:

- Monóxido de Carbono (CO)
- Dióxido de carbono (CO₂)
- Óxido de Nitrógeno (NO)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- Dióxido de Azufre (SO₂)
- Temperatura stack (T stack)

- Temperatura ambiente (ambient temp).
- Porcentaje de Oxígeno (%Oxígeno)

Los niveles de las variables independientes (revolución y velocidad) fueron considerados a un modelo lineal en caja de cambio para actuar sobre el cambio de un motor (Figura 16).

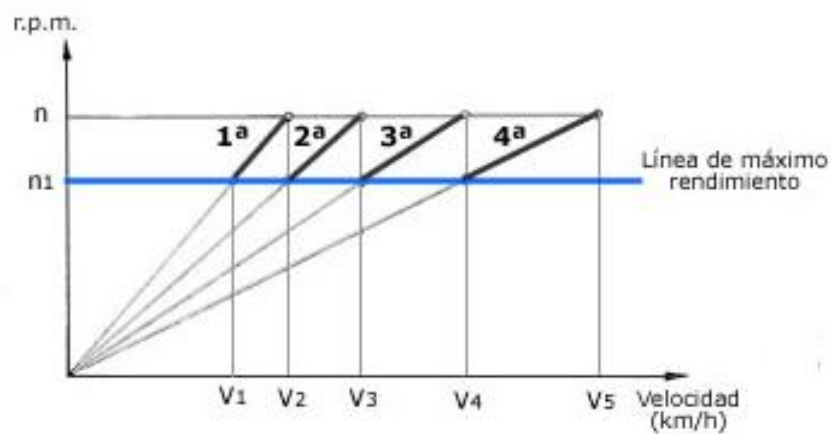


Figura 16. Cálculo de velocidades en la caja de cambios

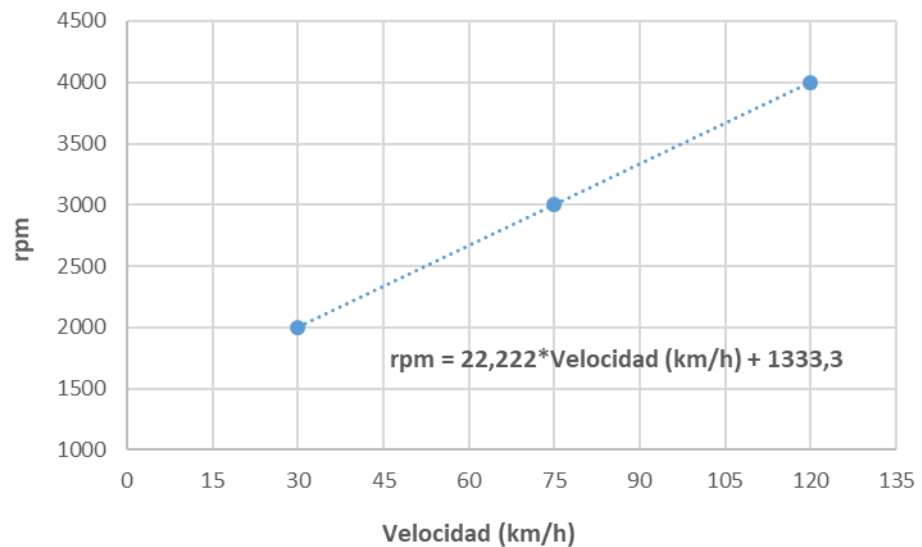


Figura 17. Tratamientos de una relación lineal de la rpm y velocidad (km/h)

En la Tabla 7 se muestra los 3 tratamientos realizados cada uno de ellos con sus respectivas revoluciones por minuto (rpm) y velocidad (km/h).

Tabla 7. Factores y tratamientos

Tratamientos	Velocidad (rpm)	Velocidad (km/h)
1	2000	30
2	3000	75
3	4000	120

3.6.1.1. Prueba "t" para muestras relacionadas

En la investigación se utilizó el método estadístico de la prueba "t" que es una prueba paramétrica que realiza la comparación de dos muestras relacionadas (variables dependientes), para así determinar que la diferencia no se deba al azar (que las diferencia sea estadísticamente significativa).

3.6.1.2. Prueba "t" para muestras independientes

En la investigación también se utilizó este análisis estadístico, la cual es para comprar muestras independientes. Estas comparaciones pueden realizarse por métodos gráficos, así como también mediante tests estadísticos (test de Shapiro-Wilks, según la cantidad de muestras que se tenga).

3.6.1.2.1. Correlación matricial de remoción

La correlación mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente.

El coeficiente de correlación de Pearson puede tomar valores entre -1 y 1, la correlación de una variable con ella misma continuamente es igual a 1, el valor 0 indica ausencia de covariación lineal.

Para el desarrollo de un estudio correlacional, debe existir información previa de conceptos que permitan obtener información, que pueda ser utilizada para ver el comportamiento de los conceptos de alguna variable, mediante la

observación de otras variables relacionadas, intentando predecir un valor aproximado de relación entre ellas.

3.6.2. *Análisis estadístico*

Para las pruebas paramétricas se utilizó métodos estadísticos de t student de muestras relacionadas e independientes, se analizó la normalidad a un intervalo de confianza de 80, 90 y 95 % ($\alpha=0.2, 0,1$ y 0.05). Para la correlación todos los análisis estadísticos fueron realizados usando el software TIBCO Statistica versión 13.4.0.14.

. CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados del DRX y MEB de la montmorillonita

La montmorillonita fue caracterizada por propiedades de DRX y MEB que se presenta en la figura 18, identificando picos principales y secundarios

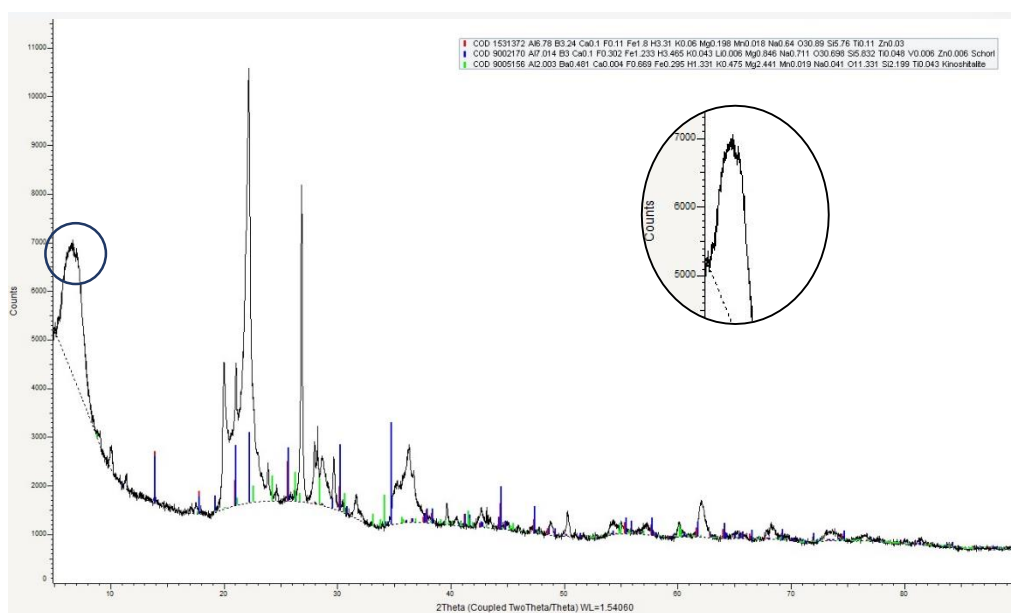


Figura 18. DRX de la montmorillonita sódica

El perfil de difracción obtenido fue tratado con la ley de Bragg, el pico a determinar fue encontrado en 7°.

$$2d \operatorname{sen} \theta_g = n \lambda$$

$$d = \frac{0,9 \times 1,716}{2 \operatorname{sen} \left(\frac{7}{2}\right)}$$

$$d = 12,65 \text{ \AA} \approx 1,265 \text{ nm}$$

La Figura 18 muestra un pico en $2\theta = 7^\circ$ ($d_{001} = 12,65\text{\AA}$ o 1,265 nm), que corresponde al plano (001) de la montmorillonita sódica el pico de

caracterización se desplazó en forma vertical hasta llegar a un punto donde de la MMT Na formo ángulos inferiores.

Los montmorillonita sódica presenta un pico principal alrededor de $2\theta = 6,5^\circ$, $d_{001} = 13,6 \text{ \AA}$, Los picos secundarios presentados por esta arcilla son característicos del mismo.

Asi también la Figura 19 muestra la morfología de la arcilla después de sufrir los procesos de modificación físicas. La micrografía de la arcilla sódica (Figura 19a y 19b) muestra agregados de granos con superficie relativamente lisa.

Ademas la montmorillonita en el análisis de MEB presenta estructura en formas de hojuelas apiladas observadas a detalle en la Figura. 19b.

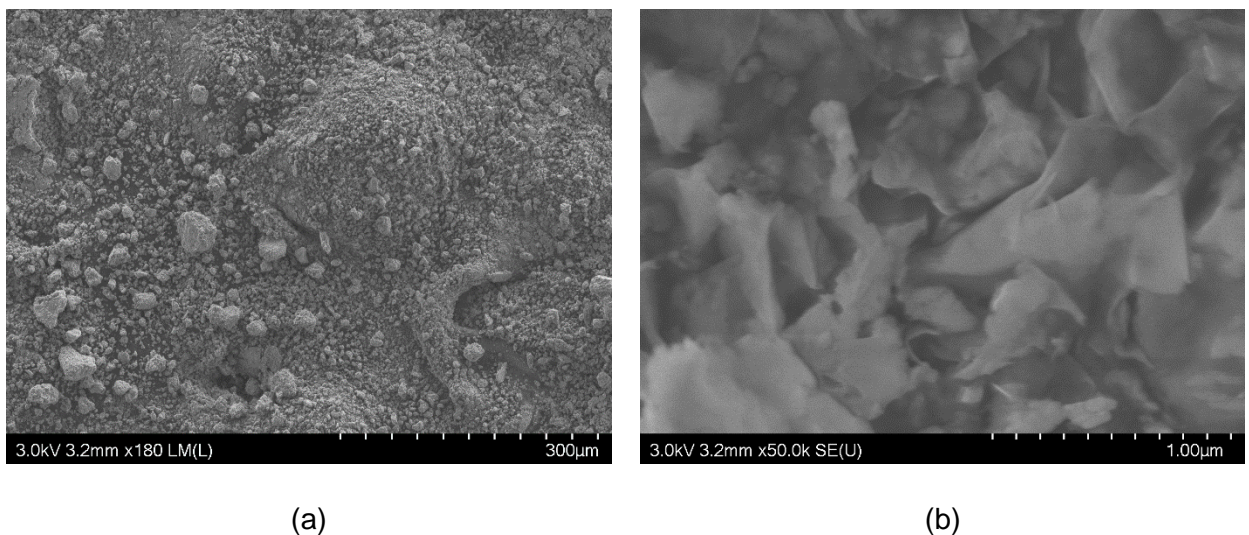


Figura 19. Micrografías de montmorillonita Sódica: (a) escala 300um, (b) escala

1 um

4.2. Resultados para muestras dependientes

En la siguiente Tabla 8 muestra los resultados pre y post del análisis de las concentraciones de emisión vehicular, empleando el mofle de adsorción, donde se observa una reducción significativa

Tabla 8. Resultados de análisis de emisiones vehiculares con variables dependientes e independientes

RPM	VELOCIDAD (km/h)	T STACK (°C)		T AMBIENTE (°C)		OXÍGENO (%)		CO (ppm)		CO ₂ (%)		NO (ppm)		NO _x (ppm)		SO ₂ (ppm)	
		Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
2000	30	115.5	38.2	22.7	25.1	19.98	20.01	1192	9	0.67	0	8	0	8	0	2	0
		119.6	30.9	20.9	24.4	19.63	20.96	1343	7	0.92	0	14	0	14	0	2	0
		116.8	37.6	22.2	24.4	19.87	20.74	1095	7	0.76	0	25	0	25	0	0	0
3000	75	65.9	42.5	23.5	22.2	13.22	21.06	1165	6	5.7	0	155	0	155	0	39	0
		87.8	43.2	24.4	23	10.72	21.04	678	6	7.59	0	205	0	205	0	33	0
		75.3	44.1	23.1	22.1	14.95	21.04	482	2	4.46	0	143	0	143	0	24	0
4000	120	131.1	49.7	24.3	22.8	0.64	21.05	5153	6	14.76	0	1773	0	1773	0	250	0
		113.6	50.7	24.7	22.8	0.62	20.82	5465	5	14.75	0	1404	0	1004	0	196	0
		95.3	49.3	23	22.2	0.84	21	7203	4	14.47	0	1420	0	1420	0	213	0

4.3. Análisis de comparación de los resultados de variables dependientes

4.3.1. Tratamiento T1 (2000/30)

Tabla 9. Prueba de variables dependientes para el tratamiento

T₁(2000/30)

	Tratamientos	Media	S.D.	N	Dif	S.D. Dif	t	df	P	C -95%	C+95%
a	Pre – T Stack (°C)	117.300	2.095								
	Post – T Stack (°C)	35.566	4.052	3	81.733	6.107	23.178	2	0.0018	66.5	96.9
b	Pre – T Amb(°C)	117.300	2.095								
	Post – T Amb (°C)	35.566	4.052	3	81.733	6.107	23.178	2	0.0018	66.5	96.9
c*	Pre – O ₂ (%)	19.826	0.178								
	Post – O ₂ (%)	20.57	0.497	3	-0.743	0.659	-1.953	2	0.1900	-1.460	-0.025
d	Pre – CO (ppm)	1210	124.9								
	Post – CO (ppm)	7.666	1.154	3	1202.3	125.12	16.643	2	0.0035	891.504	1513.16
e	Pre – CO ₂ (%)	0.783	0.126								
	Post – CO ₂ (%)	0	0	3	0.783	0.126	10.715	2	0.0085	0.468	1.097
f**	Pre – NO (ppm)	15.666	8.621								
	Post – NO (ppm)	0	0	3	15.666	8.621	3.147	2	0.0878	1.131	30.201
g**	Pre – NOX (ppm)	15.666	8.621								
	Post – NOX (ppm)	0	0	3	15.666	8.621	3.147	2	0.0878	1.131	30.201
h*	Pre – SO ₂ (%)	1.333	1.154								
	Post – SO ₂ (%)	0	0	3	1.333	1.154	2	2	0.1835	0.076	2.590

Términos significativos ($p \leq 0.05$, $p \leq 0.1^{**}$, $p \leq 0.2^{*}$).

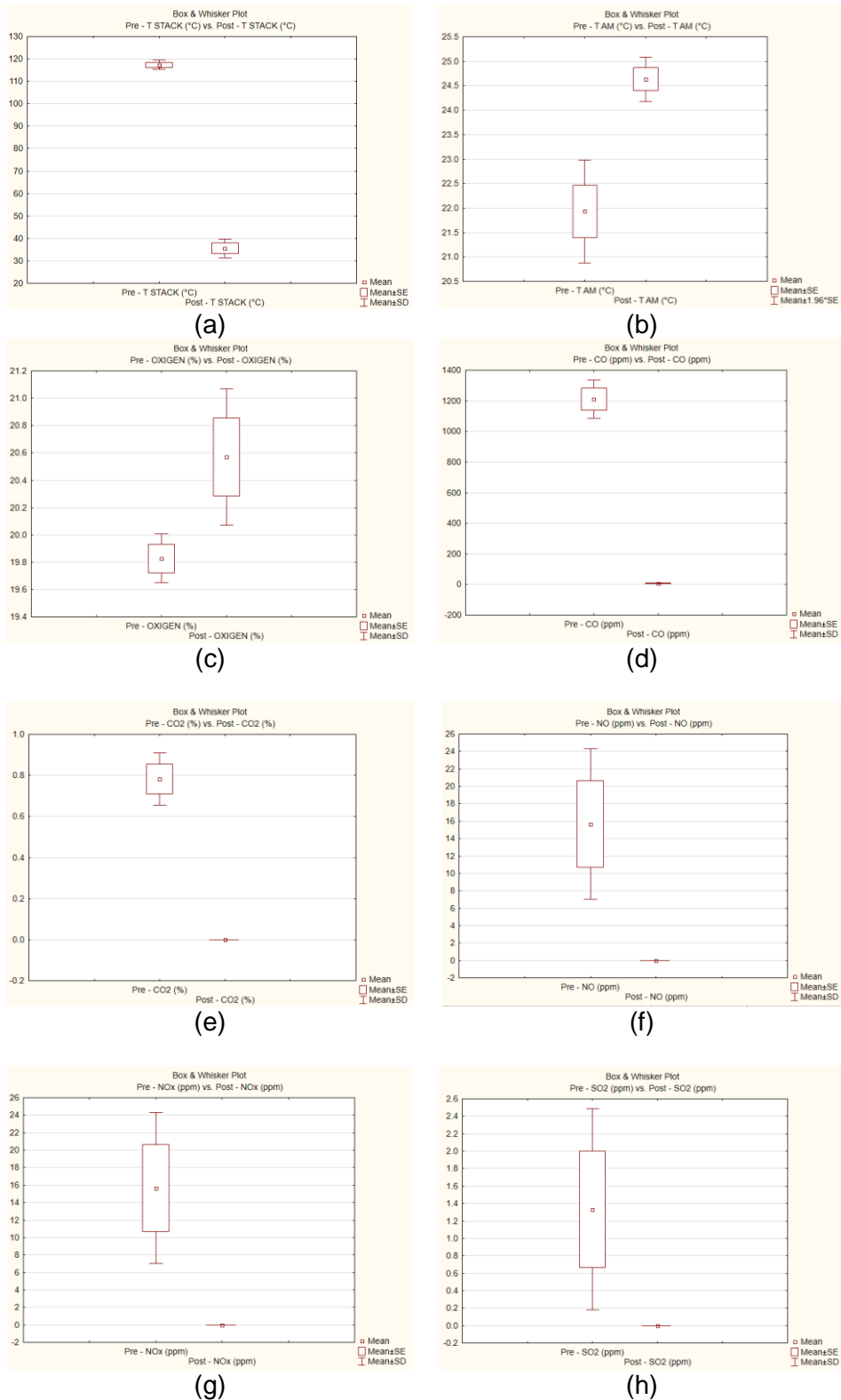


Figura 20. Diagrama de cajas para el $T_1(2000/30)$ entre el pre y post:
a) Temperatura Stack, b) Temperatura Ambiente, c) Oxígeno (%), d) Monóxido de carbono, e) Dióxido de carbono (%), f) Monóxido de nitrógeno, g) Óxidos de nitrógeno y h) Dióxido de azufre.

En la Tabla 9 muestra el análisis de prueba T entre los datos de Pre y Post de las ocho variables dependientes para conocer la efectividad de reducción de estas variables.

En las filas **a**, **b**, **d** y **e** se observa las variables T stack, T ambiente, CO y CO₂ cuyo valor de p es 0.0018, 0.0018, 0.0035 y 0.0085 respectivamente, las cuales son menores a 0.05 (<0.05). EL cual indica que existió efectividad de reducción del Pre al Post (acoplado el MAPF en el tubo de escape del vehículo) en las variables de estudio a un nivel de significancia de 95%.

En las filas **f** y **g** se aprecia las variables NO y NO_x, donde el valor de p es 0.0878 y 0.0878 respectivamente, las cuales son menores a 0.10 (<0.10). Donde indica que existió efectividad de reducción del Pre al Post (acoplado el MAPF en el tubo de escape del vehículo) en las variables de estudio a un nivel de significancia de 90%.

En las filas **c** y **h** se aprecia las variables % oxígeno y SO₂ donde su valor de p es 0.1900 y 0.1835 respectivamente, cuyas cifras son menores a 0.20 (<0.20). La cual muestra que existió efectividad de reducción del Pre al Post (acoplado el MAPF en el tubo de escape del vehículo) en las variables de estudio a un nivel de significancia de 80%.

4.3.2. Tratamiento T2 (3000/75)

Tabla 10. Prueba de variables dependientes para el tratamiento

T₂(3000/75)

	Tratamientos	Media	S.D.	N	Dif	S.D. Dif	t	df	P	C -95%	C+95%
a	Pre – T Stack (°C)	76.333	10.98								
	Post – T Stack (°C)	43.266	0.802	3	33.066	10.722	5.341	2	0.0333	6.430	59.702
b	Pre – T Amb(°C)	23.666	0.665								
	Post – T Amb (°C)	22.433	0.493	3	1.233	0.208	10.261	2	0.0093	0.716	1.750
c	Pre – O ₂ (%)	12.963	2.126								
	Post – O ₂ (%)	21.046	0.011	3	-8.083	2.125	-6.587	2	0.0222	13.363	2.803
d*	Pre – CO (ppm)	775	351.6								
	Post – CO (ppm)	4.666	2.309	3	770.33	350.01	3.811	2	0.0624	180.254	1360.41
e	Pre – CO ₂ (%)	5.916	1.576								
	Post – CO ₂ (%)	0	0	3	5.916	1.576	6.501	2	0.0228	2.001	9.832
f	Pre – NO (ppm)	167.666									
	Post – NO (ppm)	0	0	3	167.66	32.883	8.831	2	0.0125	85.979	249.35
g	Pre – NOX (ppm)	167.666	32.88								
	Post – NOX (ppm)	0	0	3	167.66	32.883	8.831	2	0.0125	85.979	249.35
h	Pre – SO ₂ (%)	32.000	7.549								
	Post – SO ₂ (%)	0	0	3	32.00	7.549	7.341	2	0.0180	13.245	50.754

Términos significativos ($p \leq 0.05$, $p \leq 0.1^*$).

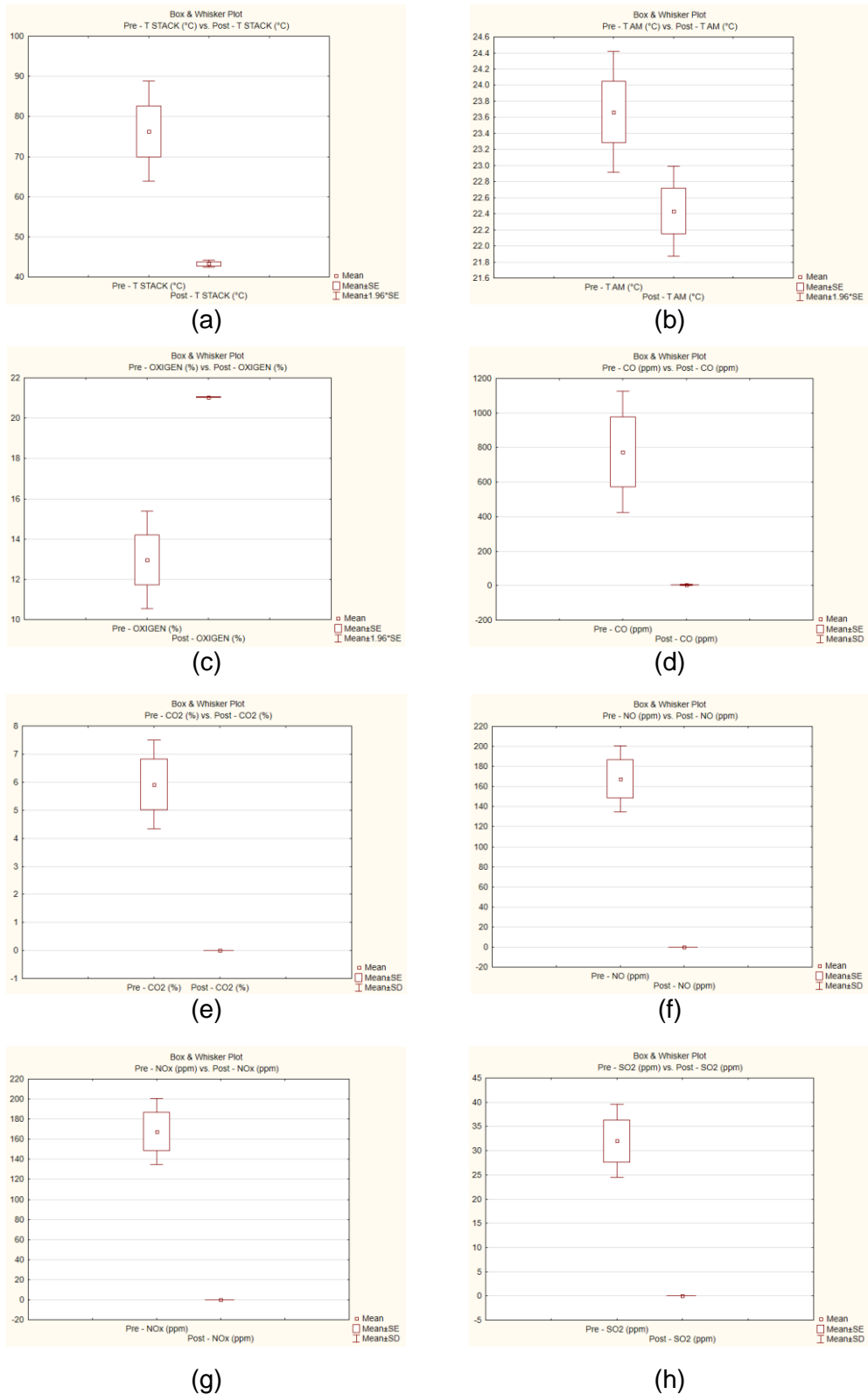


Figura 21. Diagrama de cajas para el $T_1(2000/30)$ entre el pre y post: a) Temperatura Stack, b) Temperatura Ambiente, c) Oxígeno (%), d) Monóxido de carbono, e) Dióxido de carbono, f) Monóxido de nitrógeno, g) Óxidos de nitrógeno y h) Dióxido de azufre.

La Tabla 10 muestra el análisis de prueba T para el tratamiento 2 para conocer la efectividad de reducción de estas variables. En las filas **a, b, c, e, f, g** y **h** se observa las variables T stack, T ambiente, % oxígeno, CO₂, NO, NOx y SO₂ cuyo valor de p es 0.0333, 0.0093, 0.022, 0.0228, 0.0125, 0.0125 y 0.0180 respectivamente, las cuales son menores a 0.05 (<0.05). Estos datos indican que existió efectividad de reducción de gases en las emisiones vehiculares del Pre al Post en las variables de estudio a un nivel de significancia de 95%.

En la fila **d** se observa la variable CO que tiene como valor p de 0.0624 la cual indica que es menor a 0.10 (<0.10). Esto muestra que existió reducción de la emisión vehicular del Pre al Post a un nivel de significancia de 90%.

4.3.3. Tratamiento T3 (4000/120)

Tabla 11. Prueba de variables dependientes para el tratamiento T₃(4000/120)

	Tratamientos	Media	S.D.	N	Dif	S.D. Dif	t	df	P	C -95%	C+95%
a	Pre – T Stack (°C)	113.333	17.90								
	Post – T Stack (°C)	49.9	0.721	3	63.433	17.706	6.205	2	0.0250	19.44	107.41
b	Pre – T Amb(°C)	24	0.888								
	Post – T Amb (°C)	22.6	0.346	3	1.4	0.556	4.355	2	0.0488	0.016	2.783
c	Pre – O ₂ (%)	0.7	0.121								
	Post – O ₂ (%)	20.956	0.120	3	-	0.134	-	2	0.00001	-20.59	-19.923
d	Pre – CO (ppm)	5940.33	1104.5								
	Post – CO (ppm)	5	1	3	5935.3	1105.5	9.299	2	0.0113	3189.11	8681.54
e	Pre – CO ₂ (%)	14.66	0.164								
	Post – CO ₂ (%)	0	0	3	14.66	0.164	154.24	2	0.00004	14.251	15.068
f	Pre – NO (ppm)	1532.33	208.5								
	Post – NO (ppm)	0	0	3	1532.3	208.57	12.724	2	0.0061	1014.19	2050.46
g	Pre – NOX (ppm)	1399	384.9								
	Post – NOX (ppm)	0	0	3	1399	384.92	6.295	2	0.0243	442.78	2355.21
h	Pre – SO ₂ (%)	219.666	27.61								
	Post – SO ₂ (%)	0	0	3	219.66	27.610	13.780	2	0.0052	151.07	288.25

Términos significativos ($p \leq 0.05^*$).

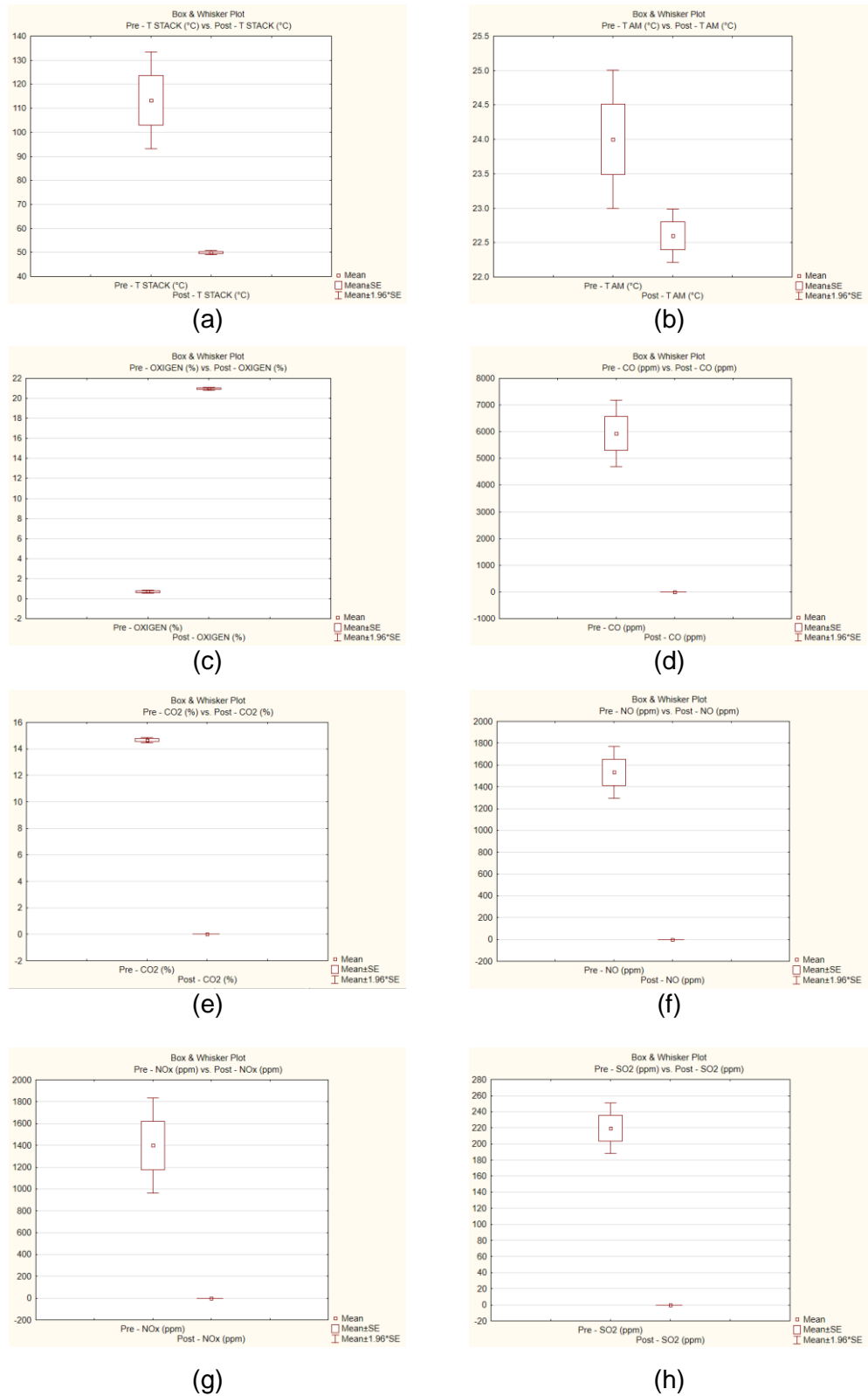


Figura 22. Diagrama de cajas para el $T_3(4000/120)$ entre el pre y post: a) Temperatura Stack, b) Temperatura Ambiente, c) Oxígeno (%), d) Monóxido de carbono, e) Dióxido de carbono (%), f) Monóxido de nitrógeno, g) Óxidos de nitrógeno y h) Dióxido de azufre.

En las tablas antepuestas del tratamiento 3 muestran el análisis de prueba T entre los datos de Pre y Post de las ocho variables dependientes y conocer la efectividad de reducción de estas variables.

En la tabla 11 se observa que en las variables T stack, T ambiente, % oxígeno, CO, CO₂ NO, NO_x y SO₂ su valor de p es de 0.025001, 0.0488872913, 0.0000146490428, 0.011367166, 0.000042029354, 0.00611933295, 0.0243184432 y 0.00522493846 respectivamente, cuyas cifras son menores a 0.05 (<0.05). Estas indican que existió una reducción del Pre al Post (acoplado el mofle de adsorción en el tubo de escape del vehículo) en las variables de estudio a un nivel de significancia de 95%.

4.3.4. **Eficiencia, comparación y correlación entre los tratamientos**

Utilizando la fórmula ya expuesta se calculó la eficiencia del MAPF por cada variable dependiente, obteniendo como eficiencia general un 99.91 %, es decir que el dispositivo diseñado y utilizado logro reducir hasta un 99.91% de las concentraciones de la emisión vehicular.

Tabla 12. Eficiencia de remoción del MAPF.

Revoluciones (rpm)	Velocidad (km)	Eficiencia de remoción (MAPF) (%)				
		CO	CO ₂	NO	NO _x	SO ₂
2000	30	99.24	99.9	99.9	99.9	99.9
		99.48	99.9	99.9	99.9	99.9
		99.36	99.9	99.9	99.9	99.9
3000	75	99.48	99.9	99.9	99.9	99.9
		99.12	99.9	99.9	99.9	99.9
		99.59	99.9	99.9	99.9	99.9
4000	120	99.88	99.9	99.9	99.9	99.9
		99.91	99.9	99.9	99.9	99.9
		99.94	99.9	99.9	99.9	99.9

En la Tabla 12 al igual que la Figura 23 se muestra el análisis de la prueba de T-test para muestras (tratamientos), indica que en todos los tratamientos existe una reducción de emisiones vehiculas del pre a post aplicando el MAPF, no obstante, se observa que a mayor revolución y velocidad mayor será la reducción de las concentraciones de las emisiones vehiculares

Tabla 13. Comparación de efectividad de remoción entre tratamientos.

Tratamientos	Mean	Std. DV	N	Std. Error	Reference Constant	t-value	df	p
2000/30	99.8722984	0.268034782	15	0.0692062832	0	1443.11028	14	0.00
3000/75	99.8790057	0.267391194	15	0.0690401094	0	1446.68087	14	0.00
4000/120	99.9824359	0.0381581785	15	0.00985239933	0	10148.0292	14	0.00

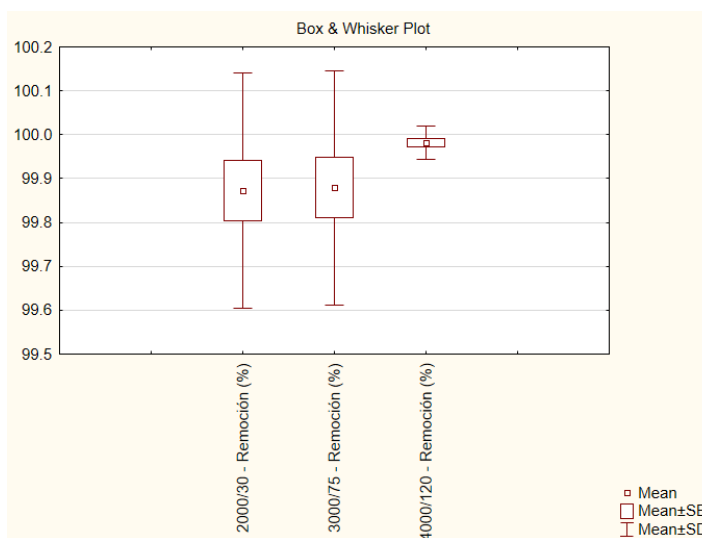


Figura 23. Diagrama de cajas de comparación de efectividad de remoción entre tratamientos.

4.3.4.1. Correlación de Eficiencia del MAPF

Tabla 14. Correlaciones a una significancia de $p < 0.05$.

Variable	Media	S. D	2000/30/Remoción (%)	3000/75/Remoción (%)	4000/120/Remoción (%)
2000/30/Remoción (%)	99.872	0.268	1.000	0.880	0.959
3000/75/Remoción (%)	99.879	0.267	0.880	1.000	0.924
4000/120/Remoción (%)	99.982	0.038	0.959	0.924	1.000

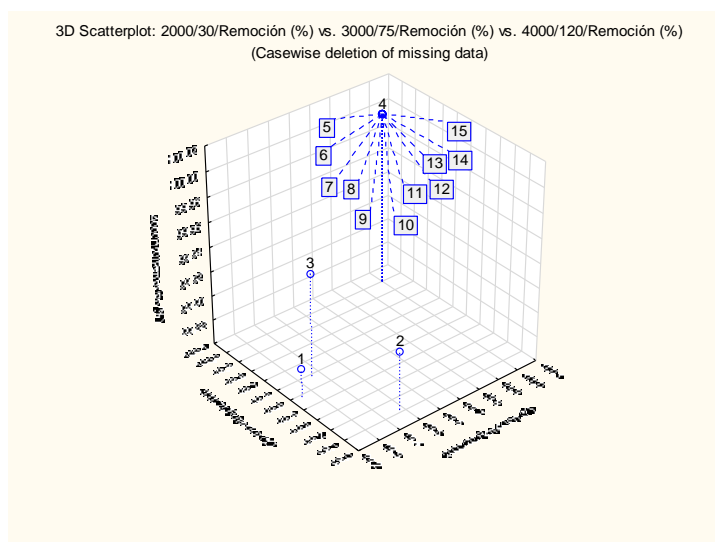
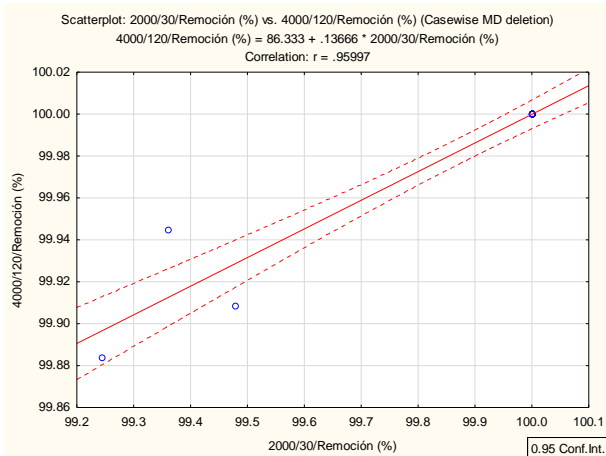
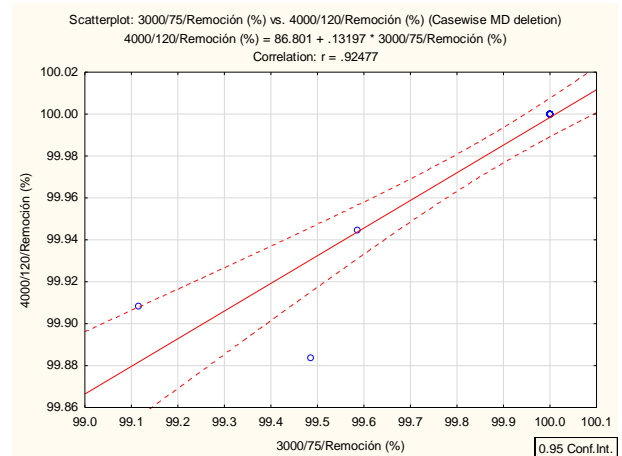


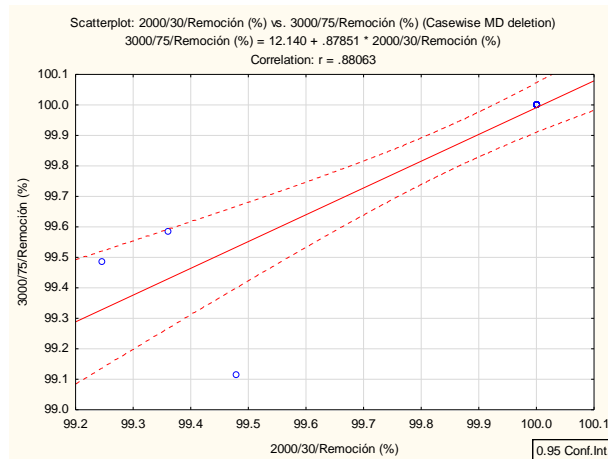
Figura 24. Gráficos de dispersión en 3D entre los tres tratamientos



(a)



(b)



(c)

Figura 25. Gráficos de dispersión: (a) Tratamiento 3 y 1, (b) Tratamiento 3 y 2 y (c) Tratamiento 2 y 1.

La correlación generada entre los tratamientos es considerada fuerte y directa, ya que el valor de r es muy cercano a la unidad (1) positiva y la nube de puntos en la figura 25 es estrecha y alargada. Además se verificó que existe una mejor correlación entre el tratamiento 3 y 1 ya que el valor de r es 0.95997.

En la figura 24 nos muestra el grafico de dispersión de los tres tratamientos con 15 datos cada uno de ellos, los números 1, 2 y 3 son correspondientes al CO por tratamiento respectivamente, verificando que el punto 3 hubo una mejor eficiencia.

A partir del número 4 al 15 son correspondientes a los gases contaminantes del CO₂, NO, NO_x y SO₂ para los tres tratamientos a una eficiencia de 99.9%, verificando que existe una correlación entre los tratamientos. Además, la correlación fue significativa ($\alpha \leq 0,05$).

4.4. Discusiones

Se observa que el tratamiento de las emisiones vehiculares realizado mediante el MAPF obtuvo eficientes resultados, debido al diseño y a los adsorbentes empleados.

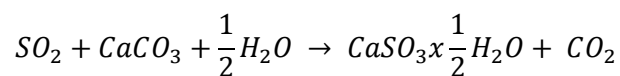
Según Davis (2000) los factores para controlar la capacidad de un proceso de adsorción son: temperatura (al aumentar disminuye la capacidad), presión (al aumentar aumenta la capacidad), velocidad del gas (al disminuir aumenta la capacidad) y el contenido en partículas sólidas (reducen la eficacia de la adsorción).

Por esta razón para el diseño se tomó en consideración lo mencionado por Davis (2000), para aumentar la presión se redujo el área por donde transcurría la emisión, a la vez se generaron pantallas y un recorrido en forma de serpentín. Al realizar este recorrido la velocidad del gas se reduce, concerniente para las partículas sólidas se colocaron filtros metálicos a la entrada y salida de la emisión.

Es por esto que en el MAPF se empleó el carbón activado, debido a su gran porosidad logra adsorber gran parte de los contaminantes, entre ellos el CO, CO₂, COVs. Por esta razón se observa una gran reducción de estos contaminantes al aplicar el MAPF.

Por otra parte, al aplicar el adsorbente carbonato de calcio (CaCO₃) se genera la eliminación del SO₂ porque al producirse una combustión incompleta en

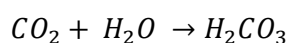
el vehículo se genera agua (H₂O), esto conlleva a que se produzca la siguiente ecuación mencionada por WarK (2004).



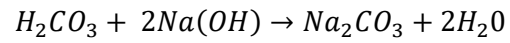
En esta ecuación se observa la eliminación completa del SO₂, no obstante se genera CO₂, este será eliminado con el carbón activado y la montmorillonita, este último es el encargado de la eliminación de mayor cantidad de contaminantes en este caso el NO_x, CO y CO₂.

En la Figura 18 y 19 muestra las características MEB y XRD de la montmorillonita sódica que indica existencia de 1.265 nm de espaciamiento entre capas, el cual fue responsable de la adsorción y disminución de los gases de las emisiones del vehículo, ayudando a tener mejor efectividad el MAPF. Además según Uskarci (2006) indica que una de sus características de esta arcilla es la disminución de emisiones, también Salam, Kosa y Al-Beladi (2017) menciona que la MMT tiene una alta capacidad de adsorción y estabilidad en su superficie, ya que es una de las características que favorece la efectividad que tuvo el MAPF y adsorber los gases contaminantes del vehículo. Asimismo en la Figura 18 se observa la composición química de la MMT Na, una de estas composiciones es el Ti (titanium) y según Chegini, Borghe, & Parskahi, (2016) menciona que este elemento disminuye daños y contaminación de CO, CO₂ y NO_x, por tanto la MMT Na se encargó de la disminución de estos gases contaminantes aumentando la efectividad del prototipo diseñado.

También se consideró la generación del ácido carbónico, producto del CO₂ este al ponerse en contacto con el agua (H₂O) la cual se produce por la combustión incompleta, tal cual se muestra en la siguiente ecuación.



Para poder neutralizar este ácido se adiciona Hidróxido de Sodio (NaOH) tal como se muestra en la ecuación.



Cabe mencionar que el agua que se produce en la ecuación favorece para poder eliminar el SO₂ como anteriormente se mencionó.

Con todo ello se observa que posterior al tratamiento se produjo la reducción de los gases de las emisiones de todos los contaminantes antes mencionados.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusión

Se logró evaluar la reducción de las emisiones vehiculares: CO en un 99.56% y CO₂, NO, NO_x, y SO₂, en un 99.9%, aplicando el mofle de adsorción con filtros de montmorillonita sódica en el vehículo de gasolina.

Durante las mediciones de los gases de las emisiones del vehículo se alcanzó determinar las características fisicoquímicas como CO, CO₂, NO, NO_x, SO₂, T stack, T ambient y %Oxigen.

Se consiguió diseñar el MAPF para la efectividad de la remoción, el cual estuvo dividido de la siguiente manera: dos zonas de tratamiento por filtros (entrada y salida de las emisiones) las cuales contenían filtros de carbón activado, montmorillonita, carbonato de calcio e hidróxido de sodio con una misma proporción en ambas zonas, así mismo en el centro del MAPF se habilitó una zona de disminución de velocidad mediante placas metálicas.

En las propiedades de difracción de rayos x (DRX) y microscopia electrónica de barradura (MEB) de la montmorillonita sódica, mostraron estructuras funcionales donde el perfil de difracción obtenida fue de $d = 12.65 \text{ \AA}$ o 1.265 nm, el cual indica el espaciamiento que existe entre placa y placa de MMT Na facilitando a la adsorción de las emisiones vehiculares.

Al analizar las concentraciones de los gases emitidas por el vehículo de muestra se concluye que la eficiencia de remoción del MAPF en el tratamiento de emisiones vehiculares es de 99.91%.

Hubo mayor eficiencia en el tratamiento 3; así también se aplicó una matriz de correlación para verificar y corroborar la efectividad del MAPF determinando existencia de correlación entre los tratamientos mediante una línea de tendencia recta, siendo "r" muy cercano a la unidad (1) positiva y una nube de puntos estrecha y alargada generando una correlación fuerte y directa.

5.2. Recomendaciones

Para tener características como el COV, lambda, partículas, HC, caudal y velocidad de salida del gas se recomienda usar equipos como: anemómetro testo, analizador de CH, analizador de NO y dinamómetro amortiguador freno de agua.

Realizar más investigaciones con un MAPF de menor tamaño para facilitar la manipulación y disminución de uso de los filtros.

Se recomienda terminar el proceso de obtención de montmorillonita a nanoarcilla, para poseer una mayor efectividad de adsorción de gases ya que el espaciamiento de placa y placa es mayor, además sería importante realizar una investigación con otro tipo de arcilla ya que en el mercado existen arcillas que poseen una efectividad mayor de adsorción.

Se aconseja aplicar otro tipo de diseño estadístico para evaluar la efectividad de MAPF.

Se recomienda para futuras investigaciones monitorear el nivel de partículas generadas, con un equipo isocinético, ya que para la presente investigación se colocaron filtros metálicos que se encargaban de impedir el paso de las partículas. Cabe de mencionar para hacer la medición de este parámetro se tiene que rediseñar el mofle ya que la metodología de este equipo exige que se monitoree a diferentes distancias dentro del mofle.

Cuando los filtros se colmaten se recomienda introducir vapor de agua, ya que este produce un incremento de temperatura lo que ocasionara que el adsorbente se regenere y los contaminantes se unirán con el vapor de agua, lo que generara que esto se convierta en un líquido, una vez obtenido este se llevara a una PTAR para su tratamiento respectivo.

Según los cálculos se ha determinado que el mufle retiene 2 g concentraciones de contaminantes en 30 segundos de emisión. Es decir, para que se colmate los filtros el vehículo ha de recorrer 1200 km. Cada este kilometraje se recomienda hacer el lavado de los filtros mediante el vapor de agua.

Se recomienda realizar fututas investigaciones y determinar la eficiencia de adsorción de cada filtro.

REFERENCIAS

- Aguilar, J., Echániz, G. y Sandoval, P. (2007). Guía Metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas. *Instituto Nacional de Ecología*, 100 (x). Recuperado de http://www.inecc.gob.mx/descargas/calair/2007_guia_moviles.pdf.
- Albers, A. P. F., Melchades, F. G., Machado, R., Baldo, J. B., & Boschi, A. O. (2002). Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. *Cerâmica*, 48(305), 34–37.
- Alexandre, M., & Dubois, P. (2000). Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials. *ScienceDirect*, (28), 1 - 2, [https://doi.org/10.1016/S0927-796X\(00\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0927-796X(00)00012-7)
- Apolo, A., Paredes, C., Cornejo, M. y Rigail, A. (2015). Optimización de una metodología para la obtención de nanoarcillas a partir de arcillas pertenecientes a la Península de Santa Elena (PSE). *ResearchGate*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/28796254_Optimizacion_De_Una_Metodologia_Para_La_Obtencion_De_Nanoarcillas_A_Partir_De_Arcillas_Pertenecientes_A_La_Peninsula_De_Santa_Elena_Pse.
- Aramayo, A. (2012). *Percepción de la contaminación atmosférica en Lima: contraste entre la avenida Abancay y El Olivar de San Isidro*. *Instituto de Investigación (RIIGEO)*, 15 (30) .
- Aránguez, E., Ordóñez, J., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández, R., Gandarillas, A. y Galán, I. (1999). Contaminantes Atmosféricos y su vigilancia. *SCIELO*, 73, 124-125. Recuperado de http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v73n2/contam_atmos.pdf.

- Avellán, M. R. (2011). *Estudio de la extracción y tratamiento*. Madrid: Universidad Carlos III.
- Bailey, S.E., Olin, T.J., Bricka, R.M., Adrian, D.D. (1999). A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. *Water Research*, 33(11), 2469-2479, [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00475-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00475-8).
- Canevarolo, J. (2003). *Técnicas de Caracterização de Polímeros*. São Paulo: Artiber.
- Castellanos, E. (2017). Contaminación por emisiones de vehículos automotores. *Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático*, 11, 1-2. Recuperado de http://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2017/05/11.-Emisiones-Vehiculos_05may17-2.pdf.
- Chegini, H., Borghe, A.M., & Parskahi, M.G. (2016). Designing and Constructing Nano Filter for Absorption the Pollutants Exhaust from Tractor Diesel Motors. *Science PG*, 5, (5) 134 – 138, <http://10.11648.j.ajep.20160505.15.html>
- Davis, W. (2000). *Air Pollution Engineering Manual (2nd Edition)*. New York, Estados Unidos.
- De Nevers, N. (2000). *Air Pollution Control Engineering (2nd Edition)*. Boston: MacGraw: Wavelan Press, Inc.
- Environmental Protection Agency (US – EPA). (2012). *Air Pollution Technology Fact Sheets*. New York, Estados Unidos: EPA.
- Fernández, R (2011). Barreras de ingeniería para el aislamiento de residuos radiactivos. *Consejo superior de investigaciones científicas*, 61(303), 485 – 492, doi: 10.3989/mc.2011.55909.

- Gallego, A., González, I., Sánchez, B., Fernández, P., Garcinuño, R., Bravo, J., Pradana, J. García, A. y Durand, J. (2012). *Contaminacion Atmosferica*. Madrid, España: Universidad Nacional de Educacion a Distancia.
- García, L. (2013). La contaminación en Lima aumentó 5 veces en 3 años. *El Comercio*. Recuperado de http://archivo.elcomercio.pe/sociedad/Lima/contaminacion-Lima-aumento-veces-anos_1-noticia-1674872.
- Gonzáles, C.M., Gómez, C.D., Rojas, N.Y., Acevedo, H. & Aristazábal, B.H. (2016). Relative impact of on-road vehicular and point-source industrial emissions of air pollutants in a medium-sized Andean city. *Atmospheric Environment*. 152, 279-289. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223101631024X>.
- Inche, J. (2001). Estimación de emisiones en vehículos en circulación. *Industrial Data*, 4, 11-16. Recuperado de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v04_n1/estimacion.htm.
- Iskender, E. (2016). Evaluation of mechanical properties of nano-clay modified asphalt mixtures. *ScienceDirect*, 93, 359 – 371, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.07.045>.
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Madrid, España: MacGraw.
- Lapuerta, M. (2002). Impacto Medio Ambiental en Procesos de combustión. En E. Martínez y. Díaz. (2004), *Contaminación Atmosférica*, 203-226. La Mancha, España: Universidad de Castilla – La Mancha.

- Lents, J., Davis, N., Nikkila, N. & Osses, M. (2003). Lima Vehicle Activity Study. *International Sustainable Systems Research (LSSRC)*. Recuperado de <http://issrc.org/>.
- Martínez, S. (2015). *Desarrollo y caracterización mecánica, térmica y estructural de nanocompuestos de almidón reforzados con nanopartículas de almidón*. (Tesis para Ingeniero). Pontificia Universidad Católica del Perú. 1-11.
- Masters, G. (1998). *Introduction to environmental engineering and science*. New York: Prentice Hall.
- MINAM – Ministerio del Ambiente (2014). *Estudio de morbilidad por efectos de la contaminación del aire en la salud de las personas*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- MINAM - Ministerio del Ambiente (2016). *Agenda de Investigación Ambiental al 2021*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Miranda, J.J. (2006). *Impacto económico en la salud por contaminación del aire en Lima Metropolitana*. Lima: CIES. Recuperado de: <http://old.cies.org.pe/files/documents/investigaciones/salud/impacto-economico-en-la-salud-por-contaminacion-del-aire-en-lima-metropolitana.pdf>.
- Muhammad Shahid, N., Muhammad Haafiz, M., Lagnamayee, M., Mazhar Amjad, G., Muhammad Rafi, R. y Khaliq, M. (2016). Characteristic Properties of Nanoclays and Characterization of Nanoparticulates and Nanocomposites. *Springer Link*. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-1953-1_2.
- Mussatti, D. C. (2002). *Controles de Materia Particulada*. Durham: Environmental Protection Agency.

- Oberdörster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J., Ausman, K., Carter, J., Karn, B., Kreyling, W., Lai, D., Olin, S., Riviere, N.M., Warheit, D. & Yang, H., (2005). *Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy*. 2 (8), Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104217303537>.
- Parker, A. (1983). *Contaminación del aire por la industria*. Barcelona, España: Reverte.
- Peavy, H. (1985). *Environmental Engineering*. New York, Estados Unidos: MacGraw Hill.
- Poole, C, Owens, F, (2007). *Introducción a la nanotecnología*. Reverte; 2007. Madrid, España.
- PROTRANSPORTE (2005). *PROTRANSPORTE – Instituto metropolitano Protransporte de Lima*. Lima: Municipalidad metropolitana de Lima. Recuperado de <http://www.protransporte.gob.pe/index.php/biblioteca-virtual/14-biblioteca-2005/154-estudio-linea-de-base-ambiental-cosac-i-deuman-international-y-walsh-ingenieros-y-cientificos-consultores>.
- Requia, W.J., Adams, M. D., Arain, Altaf., Koutrakis, P., Lee, Wan-Chen. & Ferguson, M. R. (2017). Spatio-temporal analysis of particulate matter intake fractions for vehicular emissions: Hourly variation by micro-environments in the Greater Toronto and Hamilton Area, Canada. *EISEVIER*, 599 - 600 1813 - 1822. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.134>.
- Rodrigues, M. I., & Iemma, A. F. (2014). *Experimental Design and Process Optimization*. CRC Press.

- Sanz, A. (1995). *Desarrollo de un modelo teórico para interpretación de difractogramas de Rayos X de alta resolución*. (Tesis de Doctorado). Universidad Politécnica de Madrid.
- Salam, M. A., Kosa, S. A., Al-Beladi, A. (2017). Application of nanoclay for the adsorptive removal of Orange G dye from aqueous solution. *Journal of Molecular Liquids*, 241, 469–477.
- Seinfeld, J. (1997). *Atmospheric Chemistry and physics*. New York, Estados Unidos: Wiley&Sons.
- Spiegel, J. y Maystre, L. (2001). Control de la contaminación ambiental. *El medio ambiente*, 55, 55.2-55.52. Recuperado de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/55.pdf>.
- Tandra, B., Christian, R.A. (2017). A review on nanoparticle dispersion from vehicular exhaust: Assessment of Indian urban environment. *EISEVIER*. Recuperado de: <http://www.elsevier.com/locate/apr>.
- Tang, G., Chao, N., Wang, Y. & Chen, J. (2016). Vehicular emissions in China in 2006 and 2010. *JES (Journal of Enviromental Sciences)*, 48, 179-192. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074216301383>.
- Ubilla, C. (2017). *Contaminación atmosférica*. Condes, Salamanca. 111-118.
- Uskarci, T. (2006). *Behaviour of bentonite suspensions in non-aqueous media*. (Tesis de postgrado). Middle east technical university.
- Wark, K. (2004). *Contaminación del Aire. Origen y Control*. Mexico, Mexico: Limusa.

Woodard, K. (1998). *Stationary Source Control Techniques Document for Fine Particulate Matter*. North Carolina: Environmental Protection Agency.

Wunderlinch, M. (2005). *Análisis de la Contaminación Atmosférica Provocada por Buques en base a las Exigencias del Anexo VI del MARPOL 73/78*.

Recuperado de

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfciw965a/doc/bmfciw965a.pdf>.

ANEXOS

Anexo 1.

Diseño del Mufle de Adsorción.

Anexo 2. Panel fotográfico de la construcción del mofle



Figura 1. Mofle de adsorción – vista 1

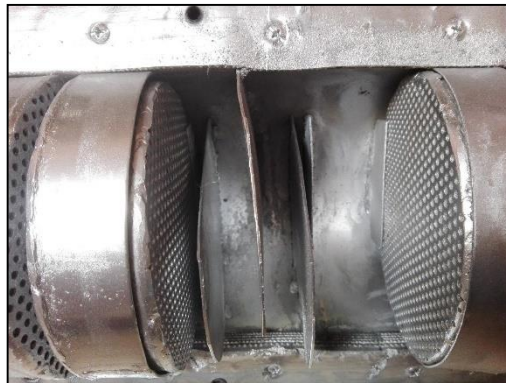


Figura 2. Mofle de adsorción – vista 2



Figura 3. Mofle de adsorción– vista 3

Anexo 3. Ficha técnica de la Bentonita Natural



FICHA TECNICA BENTONITA SODICA



Marca	:NN
Producto	:Bentonita Sódica
Partida Arancelaria	: 2508100000 Bentonita
Granulación	: Mesh 200
Color	:Blanco

INFORMACION QUIMICA		
PARAMETRO	UNIDAD	ESPECIFICACION
Silice (SiO ₂)	%	62,86
Alúmina (Al ₂ O ₃)	%	14,23
Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	%	1,10
Oxido de Calcio (CaO)	%	0,98
Oxido de Magnesio (MgO)	%	1,31
Oxido de Sodio (Na ₂ O)	%	2,80
Oxido de Potasio (K ₂ O)	%	0,33
Pérdida por Calcinación	%	9,95

Av. De Los Ingenieros 145 Dpto. 102 Urb. Valle Hermoso
Santiago de Surco, Lima 33 – Perú
Telefax: (+511) 344 - 3449
ventas@nutrientesnaturales.com
www.nutrientesnaturales.com



NUTRIENTES NATURALES S.A.C.

INFORMACION FISICA		
PARAMETRO	UNIDAD	ESPECIFICACION
Contenido de Montmorillonita	%	70.00 Min.
Gravedad Especifica		2,5
Capacidad de Intercambio Cationico	meq/100g	65.00 Min.
Hinchamiento	cc	16.00 Min.
Retenido Tamiz 200 (75u)	%	2.00 Máx.
Humedad (105 °C 1 Hora)	%	10.00 Máx.
Densidad Aparente	Kg/m ³	675 - 700
Viscosidad Fann Lec 600 rpm	cP	18
Viscosidad Plástica	cP	10
Filtrado API	cc	13
Rendimiento	bbl/tm	70.00 Min.

Envase : Saco de 30 Kg. Polipropileno con saco de papel interior.
Embalaje : Paletas enzunchadas

Usos:

Se utiliza básicamente para la puesta a tierra debido a su gran poder absorbente de humedad ayudando a estabilizar la impedancia del electrodo.

Dosificación:

50 Kg. De Bentonita por M3 de excavación.

Av. De Los Ingenieros 145 Dpto. 102 Urb. Valle Hermoso
Santiago de Surco, Lima 33 – Perú
Telefax: (+511) 344 - 3449
ventas@nutrientesnaturales.com
www.nutrientesnaturales.com

Anexo 4. Panel Fotográfico de la obtención de la montmorillonita (arcilla purificada)



Figura 1. Primer paso de la obtención de la arcilla purificada



Figura 2. Centrifugado de la muestra



Figura 3. Obtención del sólido previamente centrifugado



Figura 4. Preparado para el secado de la montmorillonita.

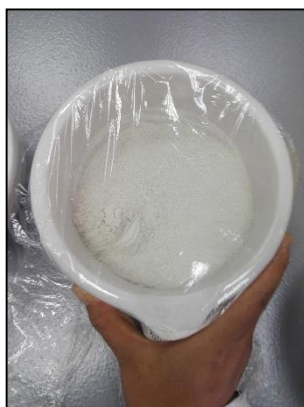


Figura 5. Montmorillonita pulverizada.

Anexo 5. Ficha técnica del carbón activado



AGRO FORESTAL
INDUSTRIAS S.R.L.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PRODUCTO	: CARBON ACTIVADO VEGETAL F-23
DERIVADO	: DE MATERIAS CELULOSICAS, ACTIVACION QUÍMICO TERMICO.
MARCA	: CARGOLD F - 23
LOTE	: C-720112

CARACTERISTICAS

MALLA	: 200 Polvo Fino
P.H.	: 6.5 %
INDICE DE ACTIVIDAD AL YODO	: 950 % / 12 Gramos
ACTIVIDAD AL AZUCAR:	95 %
SOLUBLES	: 0.01 %
FIERRO	: 0.002 %
CENIZAS	: 2.07 %
HUMEDAD	: 5 %
DENSIDAD	: 0.40 % G/M3

ENVASES

Bolsas de Papel con Polietileno interior
Peso Neto, Bolsas x 25 y 50 Kg.

FECHA DE FABRICACIÓN	: 07/2015
FECHA DE VENCIMIENTO	: 07/2019

Anexo 6. Ficha técnica del Hidróxido de Sodio



Los Alfareros # 116 - 126 Urb. El Artesano - Ate, Lima - Perú Telfs. (511) 437-1173 437-0252 Fax. (511) 437-9797
E-mail : ventas@maquimsaperu.com Website : www.maquimsaperu.com

HOJA DE SEGURIDAD

HIDROXIDO DE SODIO

1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

Nombre comercial:	Soda Cáustica
Sinónimos:	Hidróxido de sodio
Fabricante/ Proveedor:	MAQUIMSA S.A.
Dirección:	Los Alfareros 116, Urb. El Artesano, Ate.
Teléfonos:	437-1173 / 437- 0252 / 434-0206
En casos de emergencia llamar a :	Central de Bomberos de Lima: 222-0222 Incendios: 116

2. COMPOSICION

Descripción:	Soda cáustica en microperlas o escamas
Formula química:	NaOH
Nº CAS:	1310-73-2

3. IDENTIFICACION DE PELIGROS

Salud:	3 – Severo (venenoso)
Inflamabilidad:	0 – Ninguno
Reactividad:	2 – Moderado
Contacto:	4 – Extremo (Corrosivo)

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Tras inhalación	Retirar al afectado a un lugar fresco. Despojarse de la ropa contaminada. Si ha dejado de respirar aplicar respiración artificial de inmediato. Si la respiración es dificultosa aplicar oxígeno. Llamar al médico.
------------------------	---



MAQUIMSA S.A.

Los Alfareros # 116 - 126 Urb. El Artesano - Ate, Lima - Perú Telfs. (511) 437-1173 437-0252 Fax. (511) 437-9797
E-mail : ventas@maquimsaperu.com Website : www.maquimsaperu.com

Tras contacto con la piel	Lavar inmediatamente con abundantes cantidades de agua por un lapso de 15 minutos. Despojarse de la ropa contaminada y lavarla antes de reutilizarla. Llamar al médico
Tras contacto con los ojos	Lavar con abundante agua, manteniendo los párpados abiertos (por lo menos 10 min.), avisar inmediatamente al oftalmólogo.
Tras ingestión	No inducir al vómito. Beber grandes cantidades de agua o leche si está disponible. Nunca administre nada por la boca a una persona inconsciente. Buscar atención médica inmediatamente.

5. MEDIDAS CONTRA INCENDIOS

El producto es :	No inflamable
Medios de extinción adecuados :	Adaptables a los materiales del entorno. Agregar agua a una solución cáustica genera grandes cantidades de calor.
Riesgo de incendio en presencia de :	Caliente o fundido puede reaccionar violentamente con agua. Puede reaccionar con ciertos metales como aluminio, al generar gas hidrógeno inflamable.
Equipo de protección especial :	En caso de incendio use la ropa protectora adecuada y un respirador autónomo.

6. MEDIDAS CONTRA DERRAMES

Medidas relativas a las personas :	Ventilar el área de limpieza. Retirar del área a las personas sin protección. El personal debe contar con el equipo protector adecuado especificado en la sección 8.
Protección del medio ambiente :	No lanzar por el desagüe.
Recojo/limpieza :	Los residuos de limpieza pueden ser diluidos con agua, neutralizados con ácido diluido

	como acético, clorhídrico o sulfúrico. Absorba los residuos con arcilla, u otra sustancia inerte y deposite en los contenedores convenientes para su disposición.
--	---

7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Manipulación :	<ul style="list-style-type: none"> Mantener en un contenedor fuertemente cerrado. Proteger del daño físico. Siempre añada la soda cáustica al agua, nunca al revés.
Almacenamiento :	<ul style="list-style-type: none"> Almacenar en lugar fresco y seco, en un área ventilada y lejos de fuentes de calor humedad y sustancias incompatibles. No almacenar con aluminio o magnesio, ni mezclar con ácidos o materiales orgánicos.

8. CONTROL DE EXPOSICION / PROTECCION PERSONAL

Protección personal:

Los tipos de protección para el cuerpo deben elegirse de acuerdo al grado de exposición a la sustancia.

Protección respiratoria:	Si los límites de exposición son excedidos, es recomendable usar un respirador con filtro para partículas
Protección de los ojos:	Lentes de seguridad o máscara de cara completa.
Protección de las manos y cuerpo:	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Guantes de goma o neopreno ❖ Botas de goma o PVC ❖ Mandil de plástico
Otras medidas:	Ropa protectora correspondiente.

Medidas de higiene particulares:	Sustituir la ropa contaminada y sumergir en agua. Es recomendable una protección preventiva de la piel. Lavar las manos y cara al término del trabajo.
Controles de Ingeniería:	Un sistema de ventilación de gases tóxicos es recomendado para mantener la exposición del personal por debajo de los límites.

9. PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS

Estado físico	Perlas o escamas.
Color	Bianco
Olor	Inodoro.
Valor pH (20°C)	13 - 14
Punto de fusión	318 C (604 F)
Punto de ebullición	1390 C (2534 F)
Peso molecular	40.00
% volátiles por volumen	0
Gravedad específica	2.13
Presión de vapor (20°C)	No aplicable
Solubilidad en agua (20°C)	111 g/100g de agua.

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	Estable es condiciones adecuadas de uso y almacenamiento. Muy higroscópico. Puede absorber lentamente la humedad del aire y reaccionar con el dióxido de carbono del aire formando carbonato de sodio.
Productos en descomposición	Oxido de sodio. Se descompone en reacción con ciertas liberaciones de metales inflamables y gas hidrógeno explosivo.
Condiciones a evitar	Humedad, polvo e incompatibles.
Materiales a evitar	El Hidróxido de sodio en contacto con ácidos y compuestos orgánicos halógenos, especialmente tricloroetileno, puede causar reacciones violentas. Aún en soluciones diluidas reacciona fácilmente con azúcares produciendo monóxido de carbono.



MAQUIMSA S.A.

Los Alfareros # 116 - 126 Urb. El Artesano - Ate, Lima - Perú Telfs. (511) 437-1173 437-0252 Fax. (511) 437-9797
E-mail : ventas@maquimsaperu.com Website : www.maquimsaperu.com

11. INFORMACION TOXICOLOGICA

Toxicidad	Aguda
Tras Inhalación	Causa irritaciones que van desde leves a severas del tracto respiratorio. Los síntomas pueden incluir estornudos, dolor de garganta, congestión nasal. Puede ocurrir neumonitis severa.
Tras contacto con la piel	En contacto con la piel puede causar irritación o daño y quemaduras en mayor exposición. La exposición prolongada puede tener efectos destructivos en los tejidos.
Tras contacto con los ojos	Corrosivo, causa irritación a los ojos, y con grandes exposiciones puede causar quemaduras que pueden resultar en daño permanente de la visión, hasta ceguera.
Tras ingestión	Corrosivo, puede causar severas quemaduras en la boca, garganta y estómago. Puede ocurrir severo daño de tejido y muerte. Síntomas pueden incluir sangrado, vómito, diarrea, caída de presión arterial. Los daños pueden aparecer días después de la exposición.

12. INFORMACION AMBIENTAL

No se ha encontrado información sobre efectos tóxicos al medio ambiente.

13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACION

La disposición final debe hacerse siguiendo las regulaciones ambientales locales y nacionales vigentes.

14. INFORMACION SOBRE EL TRANSPORTE

Transporte Local:

Código	Land, D.O.T.
---------------	--------------

N° ONU	1823
Clase de riesgo:	Clase 8 – Sustancias Corrosivas
Grupo de embalaje:	Grupo de embalaje/ Envase : II

Transportación Internacional:

Código	Water, I.M.O.
N° ONU	1823
Clase de riesgo:	Clase 8 – Sustancias Corrosivas
Grupo de embalaje:	Grupo de embalaje/ Envase : II

15. INFORMACION REGULATORIA:

NFPA Ratings:

Azul:	Salud
Rojo:	Inflamabilidad
Amarillo:	Reactividad
Bianco:	Notas especiales



0 = Mínimo
1 = Leve
2 = Moderado
3 = Serio
4 = Severo

Etiqueta de advertencia de riesgo:

VENENOSO! PELIGROSO! CORROSIVO. PUEDE SER FATAL SI ES INGERIDO. DAÑINO SI ES INHALADO. CAUSA QUEMADURAS EN CUALQUIER AREA DE CONTACTO. REACCIONA CON AGUA, ACIDOS Y OTROS MATERIALES.

Anexo 7. Ficha técnica Carbonato de calcio



Sulfatos Naturales Ocucaje S.A.C.

CALCYMAX "S" - Carbonato de Calcio

FICHA TÉCNICA

Fórmula	:	CaCO ₃
Presentación	:	Polvo Blancos
Nombre Común	:	Tiza cruda - carbonato de calcio Calcite (CaCO ₃)
Pureza	:	99%
pH	:	8.71

Análisis Típico:

Cont. de Calcio expresado como CaCO ₃	:	97.60 - 98.10%
Cont. de Calcio expresado como CaO	:	54.66 - 54.94%
Cont. de Calcio expresado como Ca	:	39.04 - 39.24%
Contenido de Mg expresado como MgO	:	0.66 - 1.08%
Cont. de Sílice expresado como SiO ₂	:	max. 0.15%
Contenido de Hierro expresado como Fe ₂ O ₃	:	max. 0.035%
Humedad	:	3.80 - 8.60%



Peso Específico	:	2.7 gr/cc
Fusión	:	A 825 °C pierde la primera molécula de agua.
Solubilidad	:	1.3 mg /100g @180°C
Empaque	:	Sacos de 50 Kgs de polipropileno laminado.

Almacenaje : Producto natural, mantenerse a la sombra en lugar fresco y seco

Calle Los Seibos i - 55 La Capullana - Surco Lima 33- Perú
Telf: (511) 271-5912 / Nextel: 831*3640 Fax: (511) 448-1653

**Anexo 8. Panel Fotográfico de las mediciones pre y post tratamiento de la
emisión vehicular**



Figura 1. Equipo Analizador de Gases Testo 340.



Figura 2. Prueba de impresión de la wincha.



Figura 3. Vehículo de muestra de medición.



Figura 4. Medición del vehículo .



Figura 5. Medición del vehículo con el mofle



Figura 6. Filtro de Carbón activado

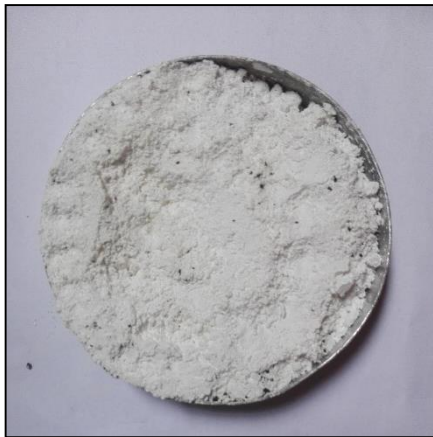


Figura 6. Filtro de carbonato de calcio



Figura 7. Filtro de montmorillonita



Figura 8. Mofle después de la medición

Anexo 9. Formato de campo

Formato de campo

Monitorista: Carlos Saez Delgado
 Nombre del lugar de monitoreo: Ate Lima - Revisiones Técnicas Vehiculares
 Coordenadas UTM: E: 293782 N: 8670035
 Tipo de instrumento: Analizador de gases "Testo 840"
 Temperatura ambiente (°C): 23°C

Fecha	Puntos de monitoreo	Velocidad del vehículo	Revoluciones por minuto	Año del vehículo
10/11/18	t ₁ (tratamiento 1)	30 km/h	2000	2008
10/11/18	t ₂ (tratamiento 2)	75 km/h	3000	2008
10/11/18	t ₃ (tratamiento 3)	120 km/h	4000	2008

Observaciones:

Firma del encargado del muestreo:  Fecha y hora de término de la toma de muestra: 10/11/18 - 15:05 hr.

Anexo 10. Verificación de servicio

Verificación de servicio

Encargado: Carlos Saez Delgado
Cargo del encargado: Monitorista
Fecha: 10/11/2018
Hora: 12:15 horas
Lugar del monitoreo: Ate Lima Revisiones técnicas vehiculares

Descripción:

Se realizó el servicio en condiciones adecuadas, con el equipo calibrado, el vehículo demuestra en condiciones óptimas ya que fue utilizado por el mismo propietario del automóvil. Se realizó 3
tratamientos cada uno en distintas velocidades y RPM,
teniendo un total de 18 unidades tanto pre y post.



Monitorista:
DNI: 42684390

Cliente 1: Jhoanna Torres
DNI: 7001242

Cliente 2: Miriam Carhuaz
DNI: 70603780

Anexo 11 – Certificado de calibración del equipo



Certificado de Calibración

G-0074-18

Cliente:	ENVIROPROYECT S.R.LTDA.	Instruments Lab S.A.C. cuenta con un laboratorio de calibración que trabaja bajo el sistema de gestión NTP ISO/IEC 17025:2006. Los patrones usados en las calibraciones son calibrados regularmente y son trazables a estándares nacionales e internacionales. Los documentos que se han generado como resultado del presente certificado de calibración, son estrictamente confidenciales y por ninguna causa serán exhibidos ni divulgados por el personal de Instruments Lab S.A.C., obligándose a guardar la confidencialidad de la información que se genere o desarrolle. El servicio de calibración es trazable al Sistema Internacional de Unidades de medida (SI).
Dirección de Cliente:	Pj. Manuel Gonzales Prada Nro. 108 Urb. Chacarilla de Otero (Alt.Cdra.5 de Av.Proceres de la	
Instrumento:	Analizador de Gases	
Fabricante:	Testo SE & Co. KGaA	
Modelo:	Testo 340	
N° de serie:	02524071	
Código Cliente:	No Indica	
Alcance de medición:	Ver especificaciones del instrumento (*)	
Resolución:	Ver especificaciones del instrumento (*)	
Exactitud:	Ver especificaciones del instrumento (*)	
N° de Orden de trabajo:	OT18-0052C	
Fecha de Calibración:	2018-07-10	
Lugar de Calibración:	Instruments Lab S.A.C.	
Emisión Certificado:	2018-07-10	

(*) Las especificaciones del instrumento se encuentran detalladas en las hojas de resultados por cada parámetro.

Incertidumbre de la medición

La incertidumbre expandida de la medición, fue calculada de acuerdo a las regulaciones de la GUM, con un factor de cobertura k=2, la cual contiene los procedimientos de incertidumbre de la medición y la incertidumbre del sistema de medición.

Procedimiento de Calibración

IL-PCG-001: "Procedimiento de calibración de analizadores de gases".

Método de Calibración

Comparación directa con un Material de Referencia Certificado.

Este certificado de calibración no puede ser reproducido total ni parcialmente, excepto con la autorización del Laboratorio. Los certificados de calibración sin firma ni sello no son válidos.

Condiciones Ambientales

Temperatura 19,5 °C **Humedad** 76,5 %HR

Sello



Supervisor

Percy López

Técnico

Pedro Fernández

INSTRUMENTS LAB S.A.C.
IL-FCG-001

Pasaje Colonial N° 800
Urb. Los Pinos – Lima 01

+51 1 3803085
+51 1 3803086

www.instrumentslab.com.pe
info@instrumentslab.com.pe

Página
1 de 6

Patrón de referencia

Material de referencia	Concentración %	Incertidumbre del MRC (k=2) %	N° Cilindro	Fecha de exp. Cilindro
Oxígeno	20,97	0,1	CC507159	2025-08-01

Especificaciones del instrumento

Parámetro	Alcance de medición %	Resolución %	Exactitud %
Oxígeno	0 a 25	0,01	0,2

Resultados

Parámetro	Valor de referencia %	Valor del instrumento (*) %	Corrección %	Incertidumbre de la medición (k=2) %
O ₂	20,97	21,17	-0,20	0,42

(*) Promedio de 3 mediciones

_____ Hasta aquí los resultados del parámetro de Oxígeno _____

Patrón de referencia

Material de referencia	Concentración ppm	Incertidumbre del MRC (k=2) ppm	N° Cilindro	Fecha de exp. Cilindro
Monóxido de Carbono	1034	12	CC507159	2025-08-01

Especificaciones del instrumento

Parámetro	Alcance de medición ppm	Resolución ppm	Exactitud ppm
Monóxido de Carbono	0 a 10000	1	50

Resultados

Parámetro	Valor de referencia ppm	Valor del instrumento (*) ppm	Corrección ppm	Incertidumbre de la medición (k=2) ppm
CO	1034,0	1032	2,0	20,7

(*) Promedio de 3 mediciones

————— Hasta aquí los resultados del parámetro de Monóxido de Carbono —————

Patrón de referencia

Material de referencia	Concentración ppm	Incertidumbre del MRC (k=2) ppm	N° Cilindro	Fecha de exp. Cilindro
Monóxido de Nitrógeno	986,6	8,9	LL180137	2025-08-14

Especificaciones del Instrumento

Parámetro	Alcance de medición ppm	Resolución ppm	Exactitud ppm
Monóxido de Nitrógeno	0 a 4000	1	50

Resultados

Parámetro	Valor de referencia ppm	Valor del instrumento (*) ppm	Corrección ppm	Incertidumbre de la medición (k=2) ppm
NO	986,6	990	-3,4	29,6

(*) Promedio de 3 mediciones

————— Hasta aquí los resultados del parámetro de Monóxido de Nitrógeno —————

Patrón de referencia

Material de referencia	Concentración ppm	Incertidumbre del MRC (k=2) ppm	N° Cilindro	Fecha de exp. Cilindro
Dióxido de Azufre	998,9	8	LL190636	2025-08-14

Especificaciones del instrumento

Parámetro	Alcance de medición ppm	Resolución ppm	Exactitud ppm
Dióxido de Azufre	0 a 5000	1	50

Resultados

Parámetro	Valor de referencia ppm	Valor del instrumento (*) ppm	Corrección ppm	Incertidumbre de la medición (k=2) ppm
SO ₂	998,9	1003	-4,1	30,0

(*) Promedio de 3 mediciones

————— Hasta aquí los resultados del parámetro de Dióxido de Azufre —————

NOTAS

1. El instrumento fue calibrado cumpliendo los requisitos de la NTP ISO/IEC 17025:2006, bajo un Sistema de Gestión y competencia técnica. El procedimiento de calibración ha sido diseñado en base a las publicaciones técnicas realizadas por el CEM de España vigente en el tiempo en que se realizó la calibración.
2. El presente certificado ampara únicamente al instrumento sometido a calibración. Los resultados presentados son válidos para el instrumento en su estado y bajo las condiciones que prevalecieron en la calibración.
3. Para dar cumplimiento a la NTP ISO/IEC 17025:2006 en la etiqueta del equipo no se coloca la fecha de vencimiento de la calibración.
4. Las recomendaciones, opiniones y/o declaraciones de cumplimiento o incumplimiento a una conformidad son declaradas por el laboratorio previa solicitud por parte del cliente, mediante la consideración de los resultados obtenidos en la medición.
5. Como parte del servicio de atención a los clientes, favor de enviarnos sus comentarios del servicio de calibración, dudas o aclaraciones del certificado al siguiente correo: info@instrumentslab.com.pe.

————— FIN DEL DOCUMENTO —————

Anexo 12. Resultados del analizador de gases Testo 340

1. Resultados Pre

a. Tratamiento 1 (2000/30)

testo 340	
V1.08 02524071/USA	
Enviroproyect Ingenieria Ambiental	
TESIS PRUEBA	
PRUEBA_1	
10/11/2018 12:15:22	
Fuel: Diesel	
O2ref.: 3.0%	
CO2max: 15.6%	
119.6	°C T stack
20.9	°C Ambient temp
19.63	% Oxygen
1343	ppm CO
0.92	% CO2
14	ppm NO
14	ppm NOx
2	ppm SO2
42.8	% EFF
1287	% ExAir
-	mbar Draft
0.60	l/min Pump flow
25.2	°C Instr. temp.
967	mbar Abs. Press
-	m ³ /s Flow
-	m/s Velocity
Smoke number	- - -
Mean :	- - -
Oil derivative	- - -
Heat transf. °F:	- °F

testo 340	
V1.08 02524071/USA	
Enviroproyect Ingenieria Ambiental	
TESIS PRUEBA	
PRUEBA_1	
10/11/2018 12:16:28	
Fuel: Diesel	
O2ref.: 3.0%	
CO2max: 15.6%	
115.5	°C T stack
22.7	°C Ambient temp
19.98	% Oxygen
1192	ppm CO
0.67	% CO2
8	ppm NO
8	ppm NOx
2	ppm SO2
30.0	% EFF
1748	% ExAir
-	mbar Draft
0.60	l/min Pump flow
25.4	°C Instr. temp.
967	mbar Abs. Press
-	m ³ /s Flow
-	m/s Velocity
Smoke number	- - -
Mean :	- - -
Oil derivative	- - -
Heat transf. °F:	- °F

testo 340	
V1.08 02524071/USA	
Enviroproyect Ingenieria Ambiental	
TESIS PRUEBA	
PRUEBA_1	
10/11/2018 12:20:49	
Fuel: Diesel	
O2ref.: 3.0%	
CO2max: 15.6%	
116.8	°C T stack
22.2	°C Ambient temp
19.87	% Oxygen
1095	ppm CO
0.76	% CO2
25	ppm NO
25	ppm NOx
0	ppm SO2
35.4	% EFF
1581	% ExAir
-	mbar Draft
0.60	l/min Pump flow
25.9	°C Instr. temp.
967	mbar Abs. Press
-	m ³ /s Flow
-	m/s Velocity
Smoke number	- - -
Mean :	- - -
Oil derivative	- - -
Heat transf. °F:	- °F

b. Tratamiento 2 (3000/75)

testo 340	
V1.08 02524071/USA	
Enviroproyect Ingenieria Ambiental	
TESIS PRUEBA	
PRUEBA_1	
10/11/2018 13:22:40	
Fuel: Diesel	
O2ref.: 3.0%	
CO2max: 15.6%	
65.9	°C T stack
23.5	°C Ambient temp
13.22	% Oxygen
1165	ppm CO
5.70	% CO2
155	ppm NO
155	ppm NOx
29	ppm SO2
89.2	% EFF
157.4	% ExAir
-	mbar Draft
0.60	l/min Pump flow
29.1	°C Instr. temp.
966	mbar Abs. Press
-	m ³ /s Flow
-	m/s Velocity
Smoke number	- - -
Mean :	- - -
Oil derivative	- - -
Heat transf. °F:	- °F

testo 340	
V1.08 02524071/USA	
Enviroproyect Ingenieria Ambiental	
TESIS PRUEBA	
PRUEBA_1	
10/11/2018 13:31:13	
Fuel: Diesel	
O2ref.: 3.0%	
CO2max: 15.6%	
87.8	°C T stack
24.4	°C Ambient temp
10.72	% Oxygen
678	ppm CO
7.59	% CO2
205	ppm NO
205	ppm NOx
33	ppm SO2
89.0	% EFF
97.0	% ExAir
-	mbar Draft
0.60	l/min Pump flow
28.9	°C Instr. temp.
966	mbar Abs. Press
-	m ³ /s Flow
-	m/s Velocity
Smoke number	- - -
Mean :	- - -
Oil derivative	- - -
Heat transf. °F:	- °F

testo 340	
V1.08 02524071/USA	
Enviroproyect Ingenieria Ambiental	
TESIS PRUEBA	
PRUEBA_1	
10/11/2018 13:33:13	
Fuel: Diesel	
O2ref.: 3.0%	
CO2max: 15.6%	
75.3	°C T stack
23.1	°C Ambient temp
14.95	% Oxygen
482	ppm CO
4.46	% CO2
143	ppm NO
143	ppm NOx
24	ppm SO2
87.5	% EFF
230.2	% ExAir
-	mbar Draft
0.60	l/min Pump flow
28.8	°C Instr. temp.
966	mbar Abs. Press
-	m ³ /s Flow
-	m/s Velocity
Smoke number	- - -
Mean :	- - -
Oil derivative	- - -
Heat transf. °F:	- °F

c. Tratamiento 3 (4000/120)

testo 340	
V1.08	02524071/USA
Enviroproyect Ingeneria Ambiental	
TESIS PRUEBA_1 10/11/2018 12:56:38 Fuel: Diesel O2ref.: 3.0% CO2max: 15.6%	
113.6	°C T stack
24.7	°C Ambient temp
0.62	% Oxygen
5565	ppm CO
14.75	% CO2
1004	ppm NO
1004	ppm NOx
196	ppm SO2
89.1	% EFF
1.6	% ExAir
---	mbar Draft
0.60	l/min Pump flow
28.0	°C Instr. temp.
966	mbar Abs. Press
---	m ³ /s Flow
---	m/s Velocity
Smoke number	---
Mean :	---
Oil derivative	---
Heat transf. °F:	--- °F

testo 340	
V1.08	02524071/USA
Enviroproyect Ingeneria Ambiental	
TESIS PRUEBA_1 10/11/2018 12:57:09 Fuel: Diesel O2ref.: 3.0% CO2max: 15.6%	
136.1	°C T stack
24.3	°C Ambient temp
0.64	% Oxygen
5565	ppm CO
14.76	% CO2
773	ppm NO
773	ppm NOx
250	ppm SO2
88.3	% EFF
1.7	% ExAir
---	mbar Draft
0.61	l/min Pump flow
28.0	°C Instr. temp.
966	mbar Abs. Press
---	m ³ /s Flow
---	m/s Velocity
Smoke number	---
Mean :	---
Oil derivative	---
Heat transf. °F:	--- °F

testo 340	
V1.08	02524071/USA
Enviroproyect Ingeneria Ambiental	
TESIS PRUEBA_1 10/11/2018 12:55:55 Fuel: Diesel O2ref.: 3.0% CO2max: 15.6%	
95.3	°C T stack
23.0	°C Ambient temp
0.84	% Oxygen
5565	ppm CO
14.47	% CO2
1420	ppm NO
1420	ppm NOx
213	ppm SO2
89.3	% EFF
2.2	% ExAir
---	mbar Draft
0.62	l/min Pump flow
27.9	°C Instr. temp.
966	mbar Abs. Press
---	m ³ /s Flow
---	m/s Velocity
Smoke number	---
Mean :	---
Oil derivative	---
Heat transf. °F:	--- °F

2. Resultados Post

a. Tratamiento 1 (2000/30)

testo 340	
V1.08	02524071/USA
Enviroproyect Ingeneria Ambiental	
TESIS PRUEBA_1 10/11/2018 14:00:08 Fuel: Diesel O2ref.: 3.0% CO2max: 15.6%	
38.2	°C T stack
25.1	°C Ambient temp
20.01	% Oxygen
9	ppm CO
---	% CO2
0	ppm NO
0	ppm NOx
0	ppm SO2
---	% EFF
---	% ExAir
---	mbar Draft
0.35	l/min Pump flow
30.1	°C Instr. temp.
966	mbar Abs. Press
---	m ³ /s Flow
---	m/s Velocity
Smoke number	---
Mean :	---
Oil derivative	---
Heat transf. °F:	--- °F

testo 340	
V1.08	02524071/USA
Enviroproyect Ingeneria Ambiental	
TESIS PRUEBA_1 10/11/2018 14:04:21 Fuel: Diesel O2ref.: 3.0% CO2max: 15.6%	
30.9	°C T stack
24.4	°C Ambient temp
20.96	% Oxygen
7	ppm CO
---	% CO2
0	ppm NO
0	ppm NOx
0	ppm SO2
---	% EFF
---	% ExAir
---	mbar Draft
0.35	l/min Pump flow
30.4	°C Instr. temp.
966	mbar Abs. Press
---	m ³ /s Flow
---	m/s Velocity
Smoke number	---
Mean :	---
Oil derivative	---
Heat transf. °F:	--- °F

testo 340	
V1.08	02524071/USA
Enviroproyect Ingeneria Ambiental	
TESIS PRUEBA_1 10/11/2018 14:04:47 Fuel: Diesel O2ref.: 3.0% CO2max: 15.6%	
37.6	°C T stack
24.4	°C Ambient temp
20.74	% Oxygen
7	ppm CO
---	% CO2
0	ppm NO
0	ppm NOx
0	ppm SO2
---	% EFF
---	% ExAir
---	mbar Draft
0.02	l/min Pump flow
30.4	°C Instr. temp.
966	mbar Abs. Press
---	m ³ /s Flow
---	m/s Velocity
Smoke number	---
Mean :	---
Oil derivative	---
Heat transf. °F:	--- °F

b. Tratamiento 2 (3000/75)

testo 340
VI.08 02524071/USA

Enviroproyect
Ingeneria Ambiental

TESIS
PRUEBA_1
10/11/2018 14:35:47
Fuel: Diesel
O2ref.: 3.0%
CO2max: 15.6%

42.5 °C T stack
22.2 °C Ambient temp
21.06 % Oxygen
6 ppm CO
- % CO2
0 ppm NO
0 ppm NOx
0 ppm SO2
- % EFF
- % ExAir
- mbar Draft
0.61 l/min Pump flow
30.3 °C Instr. temp.
966 mbar Abs. Press
- m³/s Flow
- m/s Velocity

Smoke number - - -
Mean : -
Oil derivative -
Heat transf.*F: - *F

testo 340
VI.08 02524071/USA

Enviroproyect
Ingeneria Ambiental

TESIS
PRUEBA_1
10/11/2018 14:39:22
Fuel: Diesel
O2ref.: 3.0%
CO2max: 15.6%

43.2 °C T stack
23.0 °C Ambient temp
21.04 % Oxygen
6 ppm CO
- % CO2
0 ppm NO
0 ppm NOx
0 ppm SO2
- % EFF
- % ExAir
- mbar Draft
0.60 l/min Pump flow
29.6 °C Instr. temp.
966 mbar Abs. Press
- m³/s Flow
- m/s Velocity

Smoke number - - -
Mean : -
Oil derivative -
Heat transf.*F: - *F

testo 340
VI.08 02524071/USA

Enviroproyect
Ingeneria Ambiental

TESIS
PRUEBA_1
10/11/2018 14:55:03
Fuel: Diesel
O2ref.: 3.0%
CO2max: 15.6%

44.1 °C T stack
22.1 °C Ambient temp
21.04 % Oxygen
2 ppm CO
- % CO2
0 ppm NO
0 ppm NOx
0 ppm SO2
- % EFF
- % ExAir
- mbar Draft
0.60 l/min Pump flow
28.8 °C Instr. temp.
966 mbar Abs. Press
- m³/s Flow
- m/s Velocity

Smoke number - - -
Mean : -
Oil derivative -
Heat transf.*F: - *F

c. Tratamiento 3 (4000/120)

testo 340
VI.08 02524071/USA

Enviroproyect
Ingeneria Ambiental

TESIS
PRUEBA_1
10/11/2018 14:17:06
Fuel: Diesel
O2ref.: 3.0%
CO2max: 15.6%

49.7 °C T stack
22.8 °C Ambient temp
21.05 % Oxygen
6 ppm CO
- % CO2
0 ppm NO
0 ppm NOx
0 ppm SO2
- % EFF
- % ExAir
- mbar Draft
0.59 l/min Pump flow
30.4 °C Instr. temp.
966 mbar Abs. Press
- m³/s Flow
- m/s Velocity

Smoke number - - - 7
Mean : -
Oil derivative -
Heat transf.*F: - *F

testo 340
VI.08 02524071/USA

Enviroproyect
Ingeneria Ambiental

TESIS
PRUEBA_1
10/11/2018 14:20:46
Fuel: Diesel
O2ref.: 3.0%
CO2max: 15.6%

50.7 °C T stack
22.8 °C Ambient temp
20.82 % Oxygen
5 ppm CO
- % CO2
0 ppm NO
0 ppm NOx
0 ppm SO2
- % EFF
- % ExAir
- mbar Draft
0.02 l/min Pump flow
29.9 °C Instr. temp.
966 mbar Abs. Press
- m³/s Flow
- m/s Velocity

Smoke number - - -
Mean : -
Oil derivative -
Heat transf.*F: - *F

testo 340
VI.08 02524071/USA

Enviroproyect
Ingeneria Ambiental

TESIS
PRUEBA_1
10/11/2018 15:04:09
Fuel: Diesel
O2ref.: 3.0%
CO2max: 15.6%

49.3 °C T stack
22.2 °C Ambient temp
21.00 % Oxygen
4 ppm CO
- % CO2
0 ppm NO
0 ppm NOx
0 ppm SO2
- % EFF
- % ExAir
- mbar Draft
0.60 l/min Pump flow
28.3 °C Instr. temp.
966 mbar Abs. Press
- m³/s Flow
- m/s Velocity

Smoke number - - -
Mean : -
Oil derivative -
Heat transf.*F: - *F

Anexo 13. Análisis estadístico de correlación entre tratamientos

Tabla 1. Correlaciones a una significancia de $p < 0.05$.

Var. X & Var. Y	Media	S.D.	r (X,Y)	r ²	t	p	N	C. dep: Y	Slope dep: Y	C. dep: X	Slope dep: X
2000/30 Remoción (%)	99.872	0.268									
3000/75 Remoción (%)	99.879	0.267	0.880	0.775	6.701	0.00001	15	12.140	0.878	11.704	0.882
2000/30 Remoción (%)	99.872	0.268									
4000/120 Remoción (%)	99.982	0.038	0.959	0.921	12.357	0.0000	15	86.333	0.136	-574.32	6.743
3000/75 Remoción (%)	99.879	0.267									
2000/30 Remoción (%)	99.872	0.268	0.880	0.775	6.701	0.00001	15	11.704	0.882	12.140	0.878
3000/75 Remoción (%)	99.879	0.267									
4000/120 Remoción (%)	99.982	0.038	0.924	0.855	8.762	0.0000	15	86.801	0.131	-548.03	6.480
4000/120 Remoción (%)	99.982	0.038									
2000/30 Remoción (%)	99.872	0.268	0.959	0.921	12.357	0.0000	15	-574.325	6.743	86.333	0.136
4000/120 Remoción (%)	99.982	0.038									
3000/75 Remoción (%)	99.879	0.267	0.924	0.855	8.762	0.0000	15	-548.037	6.480	86.801	0.131

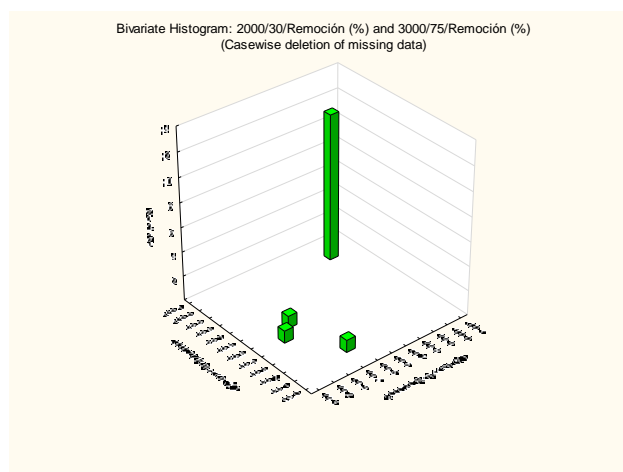


Figura 1. Histograma de correlación entre el tratamiento 1 y 2

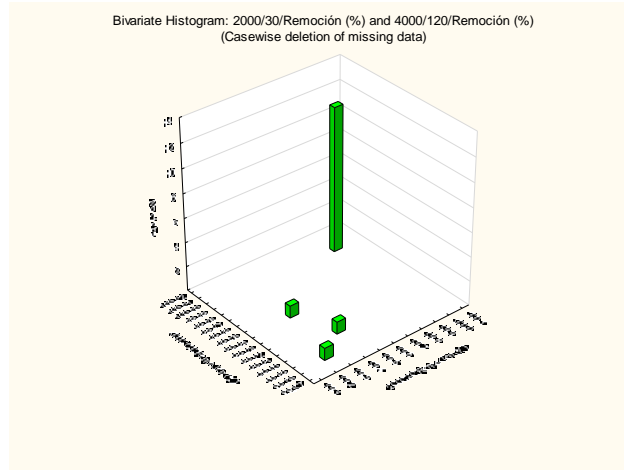


Figura 2. Histograma de correlación entre el tratamiento 1 y 3

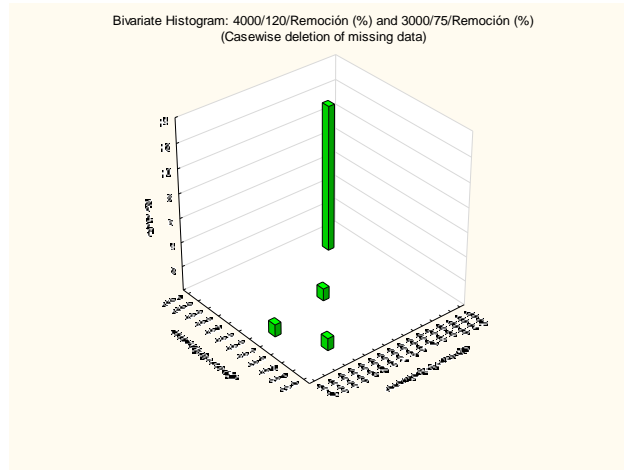


Figura 3. Histograma de correlación entre el tratamiento 3 y 2