



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**INVESTIGACIÓN SOBRE LA CONTAMINACIÓN POR
MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DE LAS
PASTILLAS DE FRENOS DE VEHÍCULOS DENTRO DE LA
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
(ESPOCH).**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR:

MAYRON ALEXANDER MARTÍNEZ HIDALGO

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**INVESTIGACIÓN SOBRE LA CONTAMINACIÓN POR
MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DE LAS
PASTILLAS DE FRENOS DE VEHÍCULOS DENTRO DE LA
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
(ESPOCH).**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: MAYRON ALEXANDER MARTÍNEZ HIDALGO

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS QUINCHUELA PAUCAR

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, **Mayron Alexander Martínez Hidalgo**

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

Yo, Mayron Alexander Martínez Hidalgo, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 02 de julio 2024






Mayron Alexander Martínez Hidalgo

060421520-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **INVESTIGACIÓN SOBRE LA CONTAMINACIÓN POR MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DE LAS PASTILLAS DE FRENOS DE VEHÍCULOS DENTRO DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO (ESPOCH)**, realizado por el señor: **MAYRON ALEXANDER MARTÍNEZ HIDALGO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Javier Milton Solis Santamaria PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-07-02
Ing. Juan Carlos Quinchuela Paucar DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-07-02
Ing. Juan Manuel Martínez Nogales ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-07-02

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo a Dios por proveer salud y vida a mi familia, a mis queridos padres Juan Pablo Martínez y Socorro Hidalgo, por ser el motor de mi vida, mi fuente de inspiración y mi ejemplo de superación, por brindarme su apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica, también se lo dedico a mis hermanos Luis Geraldo, Mishell Alejandra y Juan Pablo, cuya presencia en mi vida ha sido mi mayor tesoro y fuente de fortaleza en mi camino hacia este logro.

Mayron

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por proveer salud y vida a mi familia y por permitirme compartir este logro con mis padres y hermanos. A mis padres les agradezco desde lo más profundo de mi corazón, por el expreso amor incondicional que tienen hacia mí, por el constante apoyo que me brindaron durante mi formación académica y por la confianza que han depositado en mí para alcanzar las metas. A mis hermanos les agradezco por ser mis compañeros de vida y por estar presentes en los buenos y malos momentos. Agradezco también a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a sus docentes por formar profesionales de excelencia que representan con orgullo la institución.

Mayron

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1	Planteamiento del Problema	2
1.2	Objetivos.....	3
1.2.1	Objetivo general	3
1.2.2	Objetivos específicos	3
1.3	Justificación	3
1.4	Hipótesis	4
1.4.1	Hipótesis de investigación	4
1.4.2	Hipótesis nula	4

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	5
2.1	Antecedentes de investigación.....	5
2.2	Referencias teóricas	6
2.2.1	Origen del material particulado	6
2.2.1.1	Origen primario	7
2.2.1.2	Origen secundario.....	7

2.2.2	Definición de material particulado	7
2.2.3	Clasificación de PM según su distribución granulométrica de modas	8
2.2.4	Clasificación de PM según el tamaño del diámetro aerodinámico	9
2.2.5	Fuentes de material particulado	10
2.2.6	Efectos del material particulado sobre la salud	11
2.2.7	Calidad del aire	12
2.2.7.1	Calidad del aire del Ecuador	12
2.2.8	Normativas de calidad del aire	14
2.2.8.1	Norma de calidad de aire por la OMS	15
2.2.8.2	Norma de Calidad del Aire Ambiente Ecuatoriana (NECA).....	15
2.2.9	Método de referencia para la recolección de PM	16
2.2.9.1	Gravimétrico.....	16
2.2.10	Método equivalente para la recolección de PM.....	17
2.2.10.1	Microbalanza electrónica.....	17
2.2.11	Método in-situ para la recolección de PM.....	18
2.2.11.1	Opacimetría.	18
2.2.12	Pastillas de freno.....	18
2.2.13	Materiales de fabricación de las pastillas de freno	19
2.2.14	Composición de las pastillas de freno	20

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.	21
3.1	Enfoque de investigación.....	21
3.2	Métodos de investigación.	21
3.2.1	Método cuantitativo.....	21
3.2.2	Método experimental.....	22
3.2.3	Método inductivo.....	22
3.3	Técnicas de investigación.....	22

3.3.1	Observación.....	22
3.3.2	Recolección de datos.....	22
3.4	Desarrollo de investigación.....	23
3.4.1	Esquema del desarrollo de la investigación.....	23
3.4.2	Metodología para el conteo de vehículos que ingresan a la ESPOCH.....	24
3.4.2.1	Lugares de observación.....	24
3.4.2.2	Técnica para el conteo vehicular.....	24
3.4.2.3	Registro de datos.....	25
3.4.2.4	Transito promedio diario.....	25
3.4.3	Metodología para determinar el ciclo de conducción para la investigación.....	26
3.4.3.1	Recolección de datos.....	26
3.4.3.2	Datos mediante el conector ELM 327.....	26
3.4.3.3	Evaluación del ciclo de conducción.....	27
3.4.4	Metodología para la toma de muestras de material particulado.....	29
3.4.4.1	Técnica de muestreo de material particulado.....	29
3.4.4.2	Características del tipo de vehículos para la toma de muestras.....	29
3.4.4.3	Selección del tipo de pastillas de freno a utilizar.....	30
3.4.4.4	Equipamiento del sistema de muestreo.....	31
3.4.4.5	Esquema de toma de muestras.....	33
3.4.5	Herramientas e instrumentos empleadas.....	33
3.4.5.1	ELM 327.....	33
3.4.5.2	Software Torque Pro.....	34
3.4.5.3	Software Excel.....	34
3.4.5.4	Bomba de muestreo marca Criffer modelo Accura 3 Plus.....	35
3.4.5.5	Casete SC-300.....	35
3.4.5.6	Filtro de membrana de PVC de 5 micras.....	36
3.4.5.7	Ciclón de aluminio CL-700 marca Criffer.....	36
3.4.5.8	Calibrador para bomba marca Criffer modelo CR4.....	37
3.4.5.9	Balanza analítica AS 220.R2 PLUS.....	37

3.4.6	Método gravimétrico para la evaluación del material particulado.....	38
3.4.6.1	Procedimiento de medición de PM.....	38
3.4.6.2	Cálculo de material particulado.....	39
3.4.6.3	Cálculo del factor de emisión del material particulado.....	39
3.4.6.4	Cálculo de la concentración del material particulado.....	40
3.4.6.5	Evaluación de material particulado.....	40

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	41
4.1	Resultados del conteo vehicular en la ESPOCH.....	41
4.2	Resultados del ciclo de conducción.....	46
4.2.1	Comparación del ciclo de conducción general y ciclo representativo.....	49
4.3	Resultados de la evaluación del material particulado de las pastillas de freno.....	50
4.3.1	Resultado del vehículo tipo Hatchback con pastillas de freno semimetálicas.....	51
4.3.2	Resultado del vehículo tipo Hatchback con pastillas de freno orgánicas.....	52
4.3.3	Resultado del vehículo tipo SUV con pastillas de freno semimetálicas.....	53
4.3.4	Resultado del vehículo tipo SUV con pastillas de freno orgánicas.....	54
4.3.5	Análisis comparativo del factor de emisión de pastillas de freno.....	55
4.3.6	Análisis comparativo de la concentración de pastillas de frenos.....	56
4.4	Afecciones que provoca en la salud la exposición al material particulado proveniente de las pastillas de freno.....	57
4.5	Comprobación de la hipótesis.....	60

CONCLUSIONES.....	61
--------------------------	-----------

RECOMENDACIONES.....	63
-----------------------------	-----------

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Principales contaminantes del aire urbano y sus fuentes.....	11
Tabla 2-2: Programas y proyectos del Plan de Calidad del Aire.	14
Tabla 3-2: Parámetros establecidos por la OMS.....	15
Tabla 4-2: Parámetros establecidos por la legislación ecuatoriana.....	16
Tabla 5-2: Composición de las pastillas de freno.	20
Tabla 1-3: Características del vehículo tipo Hatchback.....	30
Tabla 2-3: Características del vehículo tipo SUV.....	30
Tabla 3-3: Características de la bomba de muestreo marca Criffer modelo Accura 3 Plus.....	35
Tabla 4-3: Características del casete SC-300.....	35
Tabla 5-3: Características del filtro de membrana de PVC de 5 micras.	36
Tabla 6-3: Características del ciclón de aluminio CL-700.....	36
Tabla 7-3: Características del calibrador Criffer CR-4.	37
Tabla 8-3: Características de la balanza analítica AS 220.R2 PLUS.....	37
Tabla 1-4: Datos del conteo vehicular de las entradas principales de la ESPOCH.....	43
Tabla 2-4: Registro del tipo de vehículos que ingresan a la ESPOCH.	45
Tabla 3-4: Parámetros característicos del ciclo de conducción general.....	46
Tabla 4-4: Rutas con el menor error relativo.	47
Tabla 5-4: Parámetros característicos del ciclo representativo.	49
Tabla 6-4: Parámetros característicos del ciclo general y ciclo representativo.....	49
Tabla 7-4: Monitoreo de material particulado del sistema de frenado.....	50
Tabla 8-4: Comportamientos de frenado utilizados en el estudio realizado por Gasser.	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Distribución promedio del tamaño de partículas durante el frenado.	5
Ilustración 2-2: Factor de emisión de pastillas de freno convencionales y con geopolímero.	6
Ilustración 3-2: Esquema de los mecanismos de formación de partículas secundarias.....	7
Ilustración 4-2: Proceso de formación y desaparición del PM.....	8
Ilustración 5-2: Categorías por tamaño del material particulado.	9
Ilustración 6-2: Capacidad de penetración de las partículas al sistema respiratorio.	12
Ilustración 7-2: Calidad del aire de las ciudades de América Latina.	13
Ilustración 8-2: Esquema del método gravimétrico basado en filtros.	17
Ilustración 9-2: Microbalanza oscilante de elemento cónico.	18
Ilustración 10-2: Representación esquemática de pastillas de freno.	19
Ilustración 1-3: Esquema del desarrollo de la investigación.	23
Ilustración 2-3: Puntos de observación del conteo vehicular.	24
Ilustración 3-3: Equipo de muestreo marca Criffer modelo Accura 3 Plus.....	31
Ilustración 4-3: Equipamiento del tren de muestreo Criffer en el vehículo tipo SUV.	32
Ilustración 5-3: Equipamiento del tren de muestreo Criffer en el vehículo tipo Hatchback.	32
Ilustración 6-3: Esquema de toma de muestras de material particulado.	33
Ilustración 7-3: Escáner ELM327.	34
Ilustración 8-3: Torque pro.....	34
Ilustración 1-4: Volumen de vehículos que ingresan por la avenida Maldonado.	41
Ilustración 2-4: Volumen de vehículos que ingresan por la avenida Milton Reyes.	42
Ilustración 3-4: Volumen de vehículos que ingresan por la avenida Canónigo Ramos.	42
Ilustración 4-4: Ingreso de vehículos por día.	43
Ilustración 5-4: Porcentaje del tipo de vehículos.	45
Ilustración 6-4: Ciclo de conducción general.....	46
Ilustración 7-4: Ruta representativa de la investigación.....	48
Ilustración 8-4: Ciclo de conducción representativo de la investigación.	48
Ilustración 9-4: Ciclo de conducción del muestreo de PM en el vehículo tipo Hatchback con pastillas de freno semimetálicas.....	51
Ilustración 10-4: Factor de emisión (a) y concentración (b) de PM del vehículo tipo Hatchback con pastillas de freno semimetálicas.....	51
Ilustración 11-4: Ciclo de conducción del muestreo de PM en el vehículo tipo Hatchback con pastillas de freno orgánicas.....	52
Ilustración 12-4: Factor de emisión (a) y concentración (b) de PM del vehículo tipo Hatchback con pastillas de freno orgánicas.	52

Ilustración 13-4: Ciclo de conducción del muestreo de PM en el vehículo tipo SUV con pastillas de freno semimetálicas.....	53
Ilustración 14-4: Factor de emisión (a) y concentración (b) de PM del vehículo tipo SUV con pastillas de freno semimetálicas.....	53
Ilustración 15-4: Ciclo de conducción del muestreo de PM en el vehículo tipo SUV con pastillas de freno orgánicas.....	54
Ilustración 16-4: Factor de emisión (a) y concentración (b) de PM del vehículo tipo SUV con pastillas de freno orgánicas.....	54
Ilustración 17-4: Factor de emisión de material particulado de pastillas de freno semimetálicas y orgánicas en vehículos tipo Hatchback y SUV.....	55
Ilustración 18-4: Concentración de material particulado de pastillas de freno semimetálicas y orgánicas en vehículos tipo Hatchback y SUV.	56
Ilustración 19-4: Concentraciones de metales y metaloides de las muestras BAD y DEP mediante el análisis ICP-MS.	57
Ilustración 20-4: Concentraciones de metales durante los comportamientos de conducción utilizados en el estudio de Gasser.....	59
Ilustración 21-4: Evaluación de la concentración de material particulado de pastillas de freno semimetálicas y orgánicas del tránsito vehicular de la ESPOCH.	60

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: FORMATO DE CONTEO VEHÍCULAR.

ANEXO B: CÁMARA DE INGRESO AVENIDA MALDONADO.

ANEXO C: CÁMARA DE INGRESO AVENIDA MILTON REYES.

ANEXO D: CÁMARA DE INGRESO AVENIDA CANÓNIGO RAMOS.

ANEXO E: CONEXIÓN DEL DISPOSITIVO ELM327 EN EL PUERTO OBD-II DEL VEHÍCULO.

ANEXO F: DESECADO DE LOS FILTROS PVC DE 5 MICRAS, MEMBRANAS DE CELULOSA Y CASSETES SC-300.

ANEXO G: CALIBRACIÓN DE LA BOMBA DE MUESTREO A UN CAUDAL CONSTANTE DE 2L/MIN.

ANEXO H: INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE MUESTREO MARCA CRIFFER MODELO ACCURA 3 PLUS EN EL VEHÍCULO DE PRUEBA.

ANEXO I: PESAJE DEL CONJUNTO CASETE/FILTRO EN LA BALANZA ANALÍTICA AS220.R2 PLUS.

ANEXO J: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE LA BOMBA GRAVIMÉTRICA.

ANEXO K: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL CALIBRADOR CRIFFER CR-4.

RESUMEN

El material particulado que generan las pastillas de freno de vehículos puede provocar inflamaciones en el sistema respiratorio de las personas. Estudios realizados sobre la contaminación del tráfico vehicular, estiman que representa aproximadamente el 20% de la contaminación total del tráfico vehicular. La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo no cuenta con información sobre la contaminación de material particulado que genera la abrasión de las pastillas de freno de los vehículos en las inmediaciones de la institución, por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue investigar la contaminación por material particulado proveniente de pastillas de frenos de vehículos mediante la recolección de muestras en un ciclo de conducción de la ESPOCH, para determinar su presencia e influencia en la calidad del aire. La metodología implementada tuvo un enfoque cuantitativo y experimental, se utilizó técnicas de recolección de datos para obtener información del tráfico vehicular de la ESPOCH, las variables estudiadas fueron 2 categorías de vehículos, uno tipo Hatchback y un SUV, con pastillas de freno orgánicas y semimetálicas, siendo fundamental la aplicación del enfoque experimental, para obtener información a través de métodos, técnicas e instrumentos de recolección de muestras de material particulado. Mediante esta metodología se logró determinar el factor de emisión y de concentración del material particulado de las pastillas de freno en los dos tipos de vehículos, además se evaluó los resultados con valores de concentración de material particulado establecidos por agencias reguladoras. En ese contexto se concluye que la calidad del aire de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo no se ve afectada significativamente por la contaminación de material particulado generado por la abrasión de las pastillas de frenos del tráfico vehicular, ya que no supera los límites establecidos por la OSHA y ACGIH.

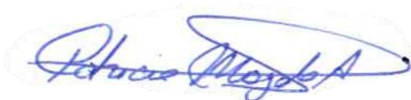
Palabras clave: <MATERIAL PARTICULADO> <FACTOR DE EMISIÓN> <CONCENTRACIÓN> <PASTILLAS DE FRENO DE VEHÍCULO> <TRÁFICO VEHÍCULAR> <CONTAMINACIÓN POR DESGASTE DE FRENOS> <CICLO DE CONDUCCIÓN>.

1135-DBRAI-UPT-2024

SUMMARY

The particulate matter generated by vehicle brake pads can cause inflammation in the human respiratory system. Studies on vehicular traffic pollution estimate that it represents approximately 20% of the total vehicular traffic pollution. The Escuela Superior Politécnica de Chimborazo lacks information on the particulate matter pollution generated by the abrasion of vehicle brake pads near the institution. Therefore, this study aimed to investigate the particulate matter pollution from vehicle brake pads by collecting samples during a driving cycle at ESPOCH to determine its presence and influence on air quality. The methodology implemented had a quantitative and experimental approach. Data collection techniques were used to obtain information on vehicular traffic at ESPOCH. The variables studied were two categories of vehicles, a Hatchback, and an SUV, with organic and semi-metallic brake pads. The application of the experimental approach was fundamental to obtaining information through methods, techniques, and instruments for collecting particulate matter samples. It was possible to determine the emission factor and concentration of particulate matter from brake pads in the two types of vehicles through this methodology. Additionally, the results were evaluated against particulate matter concentration values established by regulatory agencies. In this context, it is concluded that the air quality at the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo is not significantly affected by the particulate matter pollution generated by the abrasion of vehicle brake pads, as it does not exceed the limits established by OSHA and ACGIH.

Keywords: <PARTICULATE MATTER> <EMISSION FACTOR> <CONCENTRATION>
<VEHICLE BRAKE PADS> <VEHICULAR TRAFFIC> <BRAKE WEAR POLLUTION>
<DRIVING CYCLE>.



Lic. Patricia Moyota A. Mgs

C.I. 0603611013

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica por material particulado proveniente de las pastillas de frenos de vehículos es un problema ambiental que afecta a ciudades y regiones, especialmente en zonas urbanas y áreas con alta densidad de tráfico. La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con su variado tráfico vehicular se enfrenta a este desafío ambiental. Durante las últimas décadas, los gobiernos han aumentado las regulaciones para reducir las emisiones de escape, por el contrario, las fuentes de emisión no relacionadas con las del escape del vehículo, entre ellas el desgaste de los frenos, no han sido reguladas. Estudios han demostrado que la contribución de las fuentes de emisión de escape y de las fuentes de emisión que no son de escape, relacionadas con el tráfico es casi igual.

Por lo expuesto anteriormente, el objetivo del trabajo se centró en investigar la contaminación por material particulado proveniente de las pastillas de frenos de vehículos, mediante la recolección de muestras en un ciclo de conducción dentro de la ESPOCH, para determinar su presencia e influencia en la calidad del aire, aplicando un enfoque de muestreo experimental para medir la cantidad de material particulado durante la conducción en el interior de la entidad educativa.

Mediante la investigación experimental y la utilización de un equipo de muestreo, se recolectó muestras de material particulado que desprenden las pastillas de freno orgánicas y semimetálicas en dos categorías de vehículos, uno tipo Hatchback y otro tipo SUV, con el fin de realizar un análisis comparativo del factor de emisión y la concentración de las partículas de freno que se generan durante el recorrido del vehículo. Los resultados obtenidos a partir de esta investigación experimental contribuyen significativamente a la evaluación de la contaminación por material particulado de pastillas de freno y permiten determinar el impacto de esta fuente de emisión en la calidad del aire dentro de la ESPOCH.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

La contaminación en el aire es la coexistencia de sustancias y formas de energía que alteran su calidad, esto involucra riesgos, daños y molestias graves para las personas y bienes de cualquier naturaleza. El material particulado generado por la abrasión de las pastillas de freno representa hasta una quinta parte en la contaminación del aire de partículas finas PM2.5 en carretera, pueden provocar inflamación y disminuir la habilidad de las células inmunes para eliminar bacterias, de forma parecida a las partículas derivadas de los gases de escape generadas por vehículos diésel (ANGEREA, 2020).

Científicos financiados por Medical Research Council (MRC), estiman que la contaminación del tráfico por PM2.5 originados por los gases del tubo de escape representa un 7%, el resto procede de fuentes como el embrague, desgaste de neumáticos y frenos. La contaminación total del tráfico de PM2.5 producidos por el sistema de frenos representa aproximadamente el 20% (MOZAS MARTÍNEZ, 2020).

El aire limpio es un requisito básico de la salud y su contaminación representa una amenaza importante en todo el mundo, esto ha generado que los gobiernos aumenten las regulaciones para reducir las emisiones producto de la combustión, sin embargo, las de otras fuentes, como las originadas por el desgaste de los frenos y los neumáticos no se han investigado exhaustivamente y por lo tanto no se ha regulado.

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo no se ha realizado investigaciones similares referente a la contaminación por material particulado, generado por el desgaste abrasivo de las pastillas de freno en vehículos que circulan en el interior de la institución, por lo que la concentración y tiempo de exposición a este material particulado puede afectar a la salud de las personas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Investigar la contaminación por material particulado proveniente de las pastillas de frenos de vehículos mediante la recolección de muestras en un ciclo de conducción dentro de la ESPOCH para determinar su presencia e influencia en la calidad del aire.

1.2.2 Objetivos específicos

- Buscar y recopilar información bibliográfica en documentos relacionados con la contaminación por material particulado de pastillas de freno.
- Determinar un promedio de vehículos que ingresen en la ESPOCH.
- Establecer un ciclo de conducción adecuado dentro de la ESPOCH.
- Obtener muestras de material particulado que desprenden las pastillas de freno en un ciclo de conducción mediante el uso de instrumentos de recolección de muestras y evaluar su concentración.
- Investigar en fuentes bibliográficas las afecciones que provoca en la salud humana la exposición al material particulado generado por el desgaste de las pastillas de freno.

1.3 Justificación

El aire es de vital importancia para la vida y con el paso de los años se ha visto cada vez más afectado por los diferentes tipos de contaminantes, de los cuales, uno de los más influyentes es el material particulado, cuyo impacto en la salud humana es bastante importante ya que afecta principalmente las vías respiratorias y los pulmones generando enfermedades graves e incluso la muerte.

Con la revisión de la bibliografía disponible se determina que no existe un estudio relacionado sobre la contaminación por material particulado proveniente de pastillas de frenos en la ESPOCH y además las leyes vigentes actuales a nivel nacional de revisión técnica vehicular no establecen ningún tipo de regulación para la contaminación de este tipo.

La contaminación por material particulado provoca un impacto negativo en el medio ambiente y además es considerada para la Organización Mundial de la Salud como un agente que a mediano y largo plazo genera enfermedades en los humanos, debido a esto es importante investigar sobre los niveles de exposición a material particulado proveniente de las pastillas de frenos a los cuales se encuentra expuesta la comunidad de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Esta investigación está dentro del programa de investigación de energías renovables y protecciones ambientales, y en la línea de investigación de energía y ambiente.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis de investigación

H1: La presencia de material particulado proveniente de las pastillas de freno de los vehículos afecta en la salud de la comunidad de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.4.2 Hipótesis nula

H0: La presencia de material particulado proveniente de las pastillas de freno de los vehículos no afecta en la salud de la comunidad de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

El estudio realizado por (OROUMIYEH, y otros, 2021) radica en la influencia que tiene la masa del vehículo y la intensidad de frenado sobre las partículas que desprenden los frenos, en el estudio utilizó tres tipos de vehículos, un Nissan Sentra del 2017 con una masa de 2857 lb, un Honda Accord del 2016 con una masa de 3543 lb y un Chevrolet Suburban del 2016 con una masa de 5808 lb. Determinó que los picos más altos de concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ se generaron en los vehículos más pesados y los picos más bajos de PM_{2.5} y PM₁₀ se generaron en el vehículo más ligero como se muestra en la ilustración 1-2. Concluyeron que existe una relación entre la masa de los vehículos y las concentraciones de PM que se generan, también demostraron que la intensidad de frenado influye fuertemente en las concentraciones de PM en los frenos.

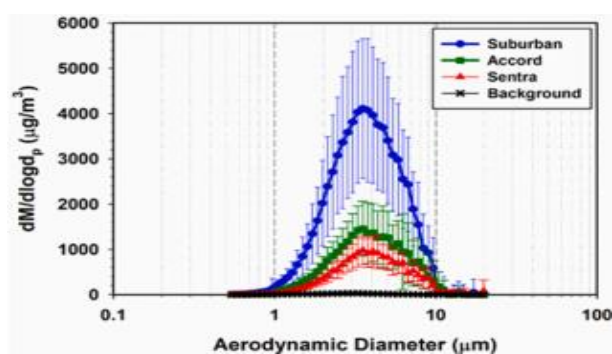


Ilustración 1-2: Distribución promedio del tamaño de partículas durante el frenado.

Fuente: (OROUMIYEH, y otros, 2021 pág. 7).

De acuerdo con (ZUM HAGEN, y otros, 2019), establecen en su estudio “Medición de emisiones de partículas de desgaste de frenos en vehículos de carretera” un sistema de muestreo de volumen constante que permite cuantificar los datos de emisiones de PM generados por los frenos. En el estudio utilizaron un vehículo turismo de tamaño medio y realizaron pruebas con dos materiales de pastillas de freno diferentes, uno de uso convencional y el otro compuesto de un material que contenía geopolímeros. Concluyeron que el material de las pastillas de freno convencional contiene un factor de emisión de PM de 1.4 a 2.1 mg por kilómetro frenado como se muestra en la ilustración 2-2, mientras que el material de las pastillas de freno que contiene geopolímeros generaba un 18% menos de emisiones de PM.

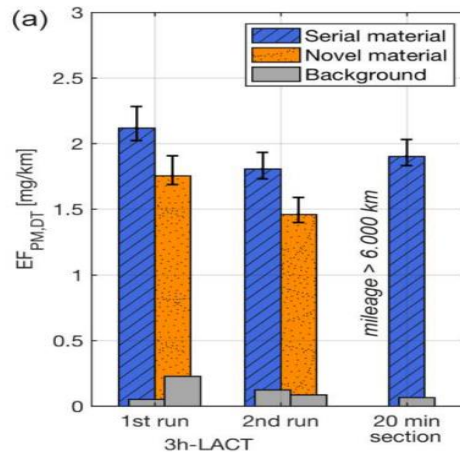


Ilustración 2-2: Factor de emisión de pastillas de freno convencionales y con geopolímero.

Fuente: (ZUM HAGEN, y otros, 2019).

En la investigación realizada por (WAHLSTRÖM, y otros, 2008), el objetivo es determinar las emisiones de partículas de desgaste procedentes de los frenos, en el estudio utilizaron un turismo equipado con instrumentos de medición de concentraciones de partículas, adaptaron tubos de ensayo cerca de la salida de los frenos delanteros y utilizaron pastillas semimetálicas. Realizaron pruebas en una pista que simulaba una conducción urbana y determinaron que los aumentos de la concentración de partículas tienen una correlación con el aumento de la presión del cilindro de freno y en un evento de frenado. Concluyeron que el diámetro medio y volumen de las partículas obtenidas en las pruebas de pista es de 0.39 μm y 1.5 μm respectivamente.

2.2 Referencias teóricas

2.2.1 Origen del material particulado

El material particulado sobresale como una de las formas más desafiantes de contaminación atmosférica. Contrariamente a otras sustancias contaminantes del aire, el material particulado no surge de una única fuente ni se limita a ser un solo producto químico o gas, más bien se compone de una amalgama de distintas partículas, sólidas y líquidas, que presentan similitudes en su comportamiento y tamaño (AIRQUALITY, 2022).

Tanto el origen primario como secundario están asociados al material particulado. Se considera primario cuando se emite directamente a la atmósfera y secundario cuando se forma o cambia en la atmósfera mediante procesos como la condensación, reacción y/o crecimiento.

2.2.1.1 Origen primario

Se generan durante distintos procesos como la combustión de biomasa, combustibles fósiles, las erupciones volcánicas o la resuspensión del polvo por el viento. En entornos urbanos, se genera por el tráfico rodado y la circulación de vehículos, abarcando tanto emisiones producidas por la combustión del motor como el desgaste de frenos y neumáticos (MILLÁN MARTÍNEZ, 2022 pág. 10).

2.2.1.2 Origen secundario

Se generan en la atmosfera como producto de reacciones químicas que involucran gases precursores como los nitratos, sulfatos o por condensación de compuestos volátiles como se muestra en la Ilustración 3-2. La velocidad de la reacción aumenta significativamente en condiciones de alta temperatura y humedad, siendo la fuente principal de los gases precursores de origen humano (MILLÁN MARTÍNEZ, 2022 pág. 10).

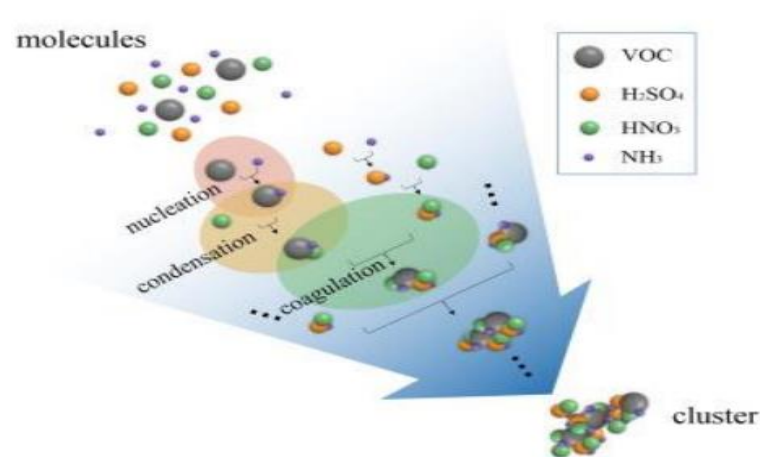


Ilustración 3-2: Esquema de los mecanismos de formación de partículas secundarias.

Fuente: (MILLÁN MARTÍNEZ, 2022 pág. 6).

2.2.2 Definición de material particulado

La Organización Mundial de la Salud, define el material particulado como un indicador representativo de la contaminación del aire, compuesto por sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, hollín, polvos minerales y agua. Es un contaminante complejo, dadas sus características físicas (densidad, tamaño y masa), y químicas (contaminantes primarios y secundarios, metales y compuestos inorgánicos) (VALDERRAMA DONOSO, 2022 pág. 12).

Según (ANGUIANO MIRANDA, 2018 pág. 13), Universidad Autónoma del estado de México, en su investigación titulada “Análisis de las concentraciones de material particulado a partir de datos de la red automática de monitoreo atmosférico de la zona metropolitana del valle de Toluca”, define al material particulado PM por sus siglas en inglés, como una mezcla de partículas que pueden estar en fase sólida o líquida y permanecen suspendidas en la atmósfera, estas pueden ser muy pequeñas y alcanzar fracciones nanométricas.

2.2.3 Clasificación de PM según su distribución granulométrica de modas

El material particulado se puede formar por una serie de procedimientos que se muestra en la ilustración 4-2, generalmente se identifican 4 diferentes rangos de tamaños de partícula denominados “modas granulométricas”: Nucleación, Aitken, Acumulación y Gruesa (RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, 2019 pág. 8), cada moda tiene diversas fuentes, rangos de tamaño, mecanismos de formación, composición química y vías de deposición.

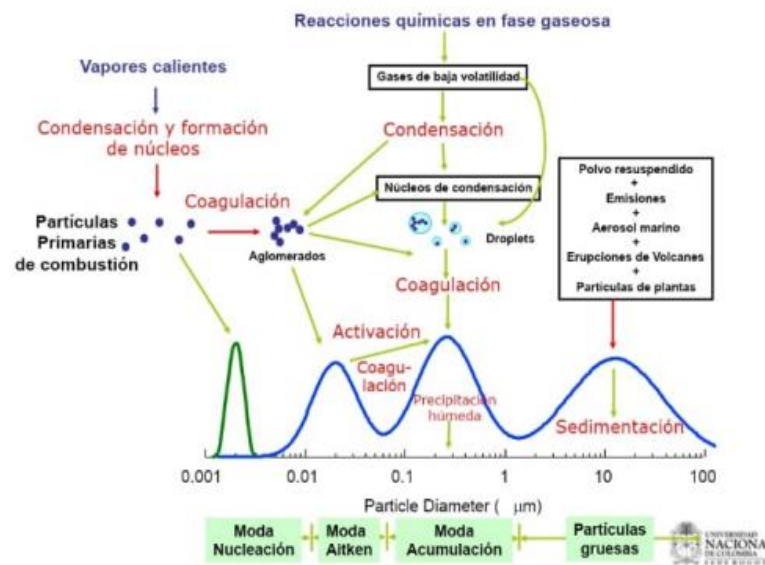


Ilustración 4-2: Proceso de formación y desaparición del PM.

Fuente: (RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, 2019 pág. 5).

a) Moda nucleación: Representa las partículas con diámetro menor a $0.01 \mu\text{m}$, originadas por la condensación de vapor caliente en procesos de combustión, debido a su rápida coagulación con otras partículas, la vida de estas es del orden de horas. Esta moda se identifica con regularidad en situaciones relacionadas con el tráfico vehicular (RAMOS FRANCO, 2021 pág. 23).

b) Moda aitken: Representa las partículas con diámetro mayor a $0.01 \mu\text{m}$ y menor a $0.1 \mu\text{m}$, pueden tener origen tanto primario como secundario, son generadas a partir de partículas de moda de nucleación. Las partículas resultantes de procesos de combustión como las generadas por los motores diésel que desprenden hollín, son un ejemplo característico de esta categoría de partículas (RAMOS FRANCO, 2021 pág. 23).

c) Moda acumulación: Representa las partículas con diámetro entre $0.1 \mu\text{m}$ y $2.5 \mu\text{m}$, se generan a través de la transferencia de partículas de las modas anteriores, nucleación y aitken, ya sea por procesos de coagulación o por la condensación de gases sobre partículas preexistentes. El tiempo de vida de estas partículas en la baja troposfera es aproximadamente de dos semanas (MILLÁN MARTÍNEZ, 2022 pág. 10).

d) Moda gruesa: Representa las partículas con diámetro mayor a $2.5 \mu\text{m}$, se generan por procesos mecánicos de origen natural o antropogénico, su rasgo distintivo radica en la rapidez de deposición por gravedad, lo que implica un período de residencia atmosférico notablemente corto (RAMOS FRANCO, 2021 pág. 24), debido a la eficiencia de mecanismos de remoción de estas partículas.

2.2.4 Clasificación de PM según el tamaño del diámetro aerodinámico

Según (FRANCO PINEDA, 2020 pág. 28), para el estudio de la calidad del aire y su impacto en la salud, se adopta una clasificación basada en el diámetro aerodinámico de la partícula, para facilitar el estudio sobre el material particulado. En la ilustración 5-2 se puede observar los diferentes rangos de tamaño de partícula clasificados por su diámetro aerodinámico.

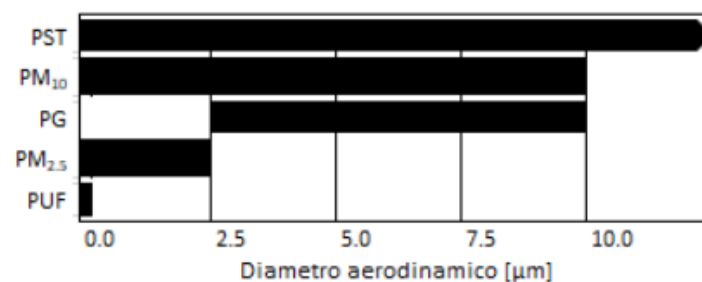


Ilustración 5-2: Categorías por tamaño del material particulado.

Fuente: (FRANCO PINEDA, 2020 pág. 28).

a) PST: Las siglas son el acrónimo de “Partículas Suspendidas Totales”, son partículas con un diámetro aerodinámico de hasta 100 μm , representan el conjunto más amplio, abarcando las partículas sólidas o líquidas que están suspendidas en la atmósfera (RAMOS FRANCO, 2021 pág. 25).

b) PM10: Partículas inhalables o respirables, con un diámetro aerodinámico menor a 10 μm . Son lo suficientemente pequeñas para infiltrarse en la región torácica del tracto respiratorio, principalmente a través de la desintegración de partículas de mayor tamaño, como las generadas por el tráfico en calles sin pavimentar (ANGUIANO MIRANDA, 2018 pág. 70).

c) PG: Las siglas son la abreviatura de “Partículas Gruesas”, son partículas que representan la fracción de PM10 que excluye el PM2.5.

d) PM2.5: Partículas finas, con un diámetro aerodinámico menor a 2.5 μm . Son capaces de ingresar en los conductos del tracto respiratorio y en los alveolos, Se componen por materia proveniente de procesos de combustión y son catalogados como uno de los contaminantes atmosféricos más peligrosos a corto y largo plazo (ANGUIANO MIRANDA, 2018 pág. 70).

e) PUF: Las siglas son el acrónimo de “Partículas Ultrafinas”, son partículas con un diámetro aerodinámico de hasta 0.01 μm . Pueden ser más peligrosas que las PM2.5 debido a su menor tamaño y son capaces de ingresar al cuerpo a través de la piel y los ojos (MARTINS, y otros, 2018).

2.2.5 Fuentes de material particulado

a) Fuentes naturales: Como afirma (MARTÍN CRUZ, 2021), los océanos y desiertos son las principales fuentes naturales de partículas a escala global. Con efecto puntual, están los incendios forestales y erupciones volcánicas que generan grandes inyecciones de cenizas en la troposfera.

b) Fuentes antropogénicas: Las fuentes antropogénicas son causadas por actividades del hombre, en su mayoría producidos en entornos urbanos por la influencia de diferentes procesos industriales, se clasifican en fuentes fijas y móviles. Las fijas son aquellas que permanece en un solo lugar como las centrales térmicas, refinerías de petróleo o los hornos de las industrias; las fuentes móviles son aquellas que cambian de ubicación como los vehículos automotores (FRANCO PINEDA, 2020).

Conforme a (URRUTIA LLERENA, 2021 pág. 8), en áreas urbanas la principal fuente de material particulado proviene del tráfico vehicular, producto de la combustión de los vehículos, del sistema

de frenos, llantas y erosión del pavimento. En la Tabla 1-2 se presenta las fuentes generadoras de PM según el tipo de contaminante y el tipo de partículas.

Tabla 1-2: Principales contaminantes del aire urbano y sus fuentes.

Contaminante	Fuente principal
Ozono O_3	Emisiones de automóviles. Reacciones fotoquímicas de óxidos de nitrógeno.
Óxidos de azufre SO_2	Plantas termoeléctricas, calderas industriales, fundiciones de cobre, refineras de petróleo, automóviles, calentadores residenciales y comerciales, combustión de carbón y otros combustibles fósiles como la gasolina.
Óxidos de Nitrógeno NO_2	Las fuentes interiores de NO_2 pueden ser: estufas de gas en mal funcionamiento, calderas, chimeneas y calentadores de queroseno portátiles. Exterior: por combustión a excesivas temperaturas, debido a la reacción del oxígeno del aire y el nitrógeno presente en los combustibles.
Monóxido de carbono CO	Motores de explosión. Hornos y calentadores domésticos.
Partículas finas menos de 2.5 $\mu g PM_{2.5}$	Combustión industrial y residencial, emisiones vehiculares, incendios de vegetación y reacciones de gases en la atmósfera (SO_2 y NOx) y compuestos orgánicos volátiles.
Partículas finas menos de 10 micras PM_{10}	Fuentes fijas: construcciones, móviles: automotores.

Fuente: (URRUTIA LLERENA, 2021 pág. 8).

2.2.6 Efectos del material particulado sobre la salud

Al vivir en entornos urbanos desarrollados, los seres humanos experimentan los efectos de la contaminación, el sistema respiratorio es el más afectado debido a la potencialidad de retener cualquier sustancia nociva del aire, hacia la nariz, la garganta y el sistema bronquial (URRUTIA LLERENA, 2021). Investigaciones han evidenciado que este contaminante atmosférico puede ocasionar aproximadamente 3.3 millones de fallecimientos prematuros por año en todo el planeta (MARTÍN CRUZ, 2021).

Desde el punto de vista de (RAMOS FRANCO, 2021 pág. 30), la fracción respirable conocida como PM_{10} es capaz de adentrarse más allá de la región extratorácica. Las partículas gruesas PM_{10} pueden penetrar hasta la región traqueo bronquial. La fracción conocida como $PM_{2.5}$ tiene la capacidad de alcanzar los alveolos, aumentando la probabilidad de penetrar la membrana alveolar y llegar al torrente sanguíneo. En la ilustración 6-2 se evidencia como el tamaño de las partículas afecta en la capacidad de penetración al sistema respiratorio.

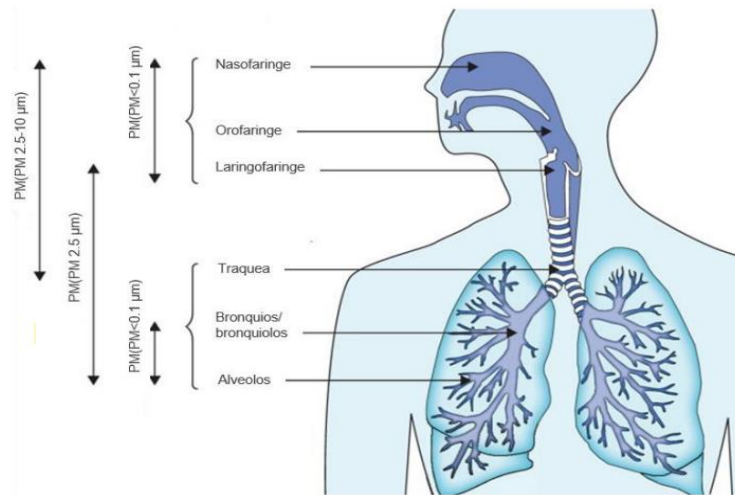


Ilustración 6-2: Capacidad de penetración de las partículas al sistema respiratorio.

Fuente: (RAMOS FRANCO, 2021 pág. 30).

El material particulado ultrafino PM2.5, provoca una mayor inflamación en el sistema respiratorio ya que ingresan con su mayor facilidad a los órganos, dando lugar a problemas graves como hipertensión, obstrucción bronquial, bronquitis crónica entre otros. El material particulado de mayor tamaño PM10, ingresa directamente a los pulmones con el potencial de desencadenar afecciones en el tracto respiratorio, neumonía, bronconeumonía, cáncer, etc. Además, puede provocar afecciones a la vista y la piel, dando lugar a molestias como alergias, conjuntivitis, dermatitis y daños más graves (CARRASCO GARCÍA, 2021 pág. 11).

2.2.7 Calidad del aire

De acuerdo con (UGENIO YEPEZ, 2021 pág. 8), la calidad del aire está directamente vinculada a factores climáticos como la temperatura ambiente, la humedad, la dirección del viento, la nubosidad y las condiciones climáticas específicas de cada región. La determinación de la calidad del aire facilita cotejar la información recopilada, con la normativa que establece los límites permisibles sobre la contaminación ambiental, para poder implementar medidas de prevención que beneficien a la población y al ambiente.

2.2.7.1 Calidad del aire del Ecuador

Más del 80% de los habitantes de entornos urbanos respiran un aire que les podría causar enfermedades respiratorias crónicas. Aunque el problema afecta a todas las regiones, son los habitantes de países en desarrollo quienes experimentan sus efectos de manera más significativa.

La Organización Mundial para la Salud (OMS) examinó los niveles de partículas pequeñas y muy finas perjudiciales para la salud. En lo que concierne a Ecuador, las ciudades de Santo Domingo, Milagro, Latacunga, Quito, Portoviejo y Manta sobrepasan los niveles de contaminación que son perjudiciales para la salud. Las ciudades con menor contaminación son Cuenca, Ibarra y Ambato (CEVALLOS BONILLA, 2018 pág. 11). En la ilustración 7-2 se muestra la calidad del aire medido en PM2.5 de las ciudades de América Latina.

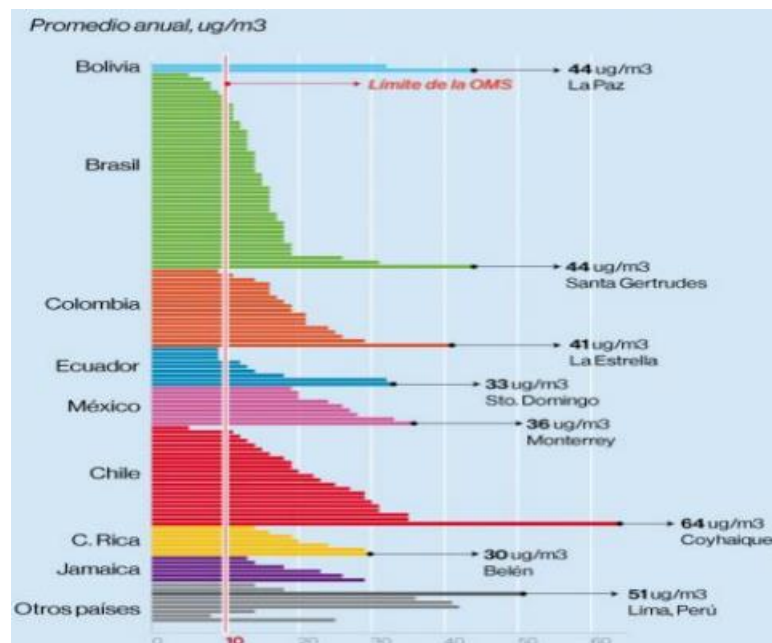


Ilustración 7-2: Calidad del aire de las ciudades de América Latina.

Fuente: (CEVALLOS BONILLA, 2018 pág. 11).

El Ministerio del Ambiente, en colaboración con el Estado Ecuatoriano, han implementado tres programas destinados a favorecer la preservación del medio ambiente: “El control y vigilancia de la calidad del aire”, el “Mejoramiento de la calidad del aire y prevención de su deterioro” y “Medidas a ser aplicadas durante los estados de alerta” (CANTUÑA ESCALANTE, y otros, 2019 pág. 8). En la tabla 2-2 se detalla los programas de acción con sus proyectos que cuenta el Plan Nacional de Calidad de Aire de Ecuador.

Tabla 2-2: Programas y proyectos del Plan de Calidad del Aire.

Programas	Proyectos
Programa 1: Control y vigilancia de la calidad del aire.	Proyecto 1: Desarrollo del inventario nacional de emisiones.
	Proyecto 2: Sistema nacional de monitoreo y vigilancia de la calidad de aire.
	Proyecto 3: Elaboración de un sistema de información de la calidad del aire (sica).
	Proyecto 4: Implantación del sistema nacional de vigilancia epidemiológica de las enfermedades respiratorias generadoras por contaminación del aire.
	Proyecto 5: Modelos predictivos de calidad de aire.
Programa 2: Mejoramiento de la calidad del aire y prevención de su deterioro.	Proyecto 6: Competencias sobre la gestión del recurso aire.
	Proyecto 7: Formación, capacitación e investigación en gestión de calidad del aire integrados a las políticas nacionales de ciencia y tecnología.
	Proyecto 8: Programa nacional de reducción de emisiones.
	Proyecto 9: Producción de combustibles de mejor calidad para fuentes móviles y fijas.
	Proyecto 10: Sistema nacional de revisión técnica vehicular.
	Proyecto 11: Sistema de participación ciudadana en tema calidad del aire.
Programa 3: Medidas a ser aplicadas durante los estados de alerta.	Proyecto 12: Implementación de planes de contingencia ante episodios críticos de contaminación de aire.

Fuente: (CANTUÑA ESCALANTE, y otros, 2019 pág. 8)

2.2.8 Normativas de calidad del aire

En 1987, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció las pautas iniciales para la calidad del aire, a través de la creación de “Guías de Calidad del Aire” (GCA), la última actualización se realizó en el 2005 y es la que hoy en día se mantiene en vigencia. La OMS reconoce que cada nación tiene la libertad para determinar las normas de calidad del aire, teniendo en cuenta el nivel de desarrollo, la viabilidad tecnológica y aspectos económicos, políticos y sociales (RAMOS FRANCO, 2021 pág. 43).

La entidad encargada de establecer los niveles de calidad del aire a nivel mundial es la Organización Mundial de la Salud (OMS), y en Ecuador la Norma de Calidad del Aire Ecuatoriana (NECA).

2.2.8.1 Norma de calidad de aire por la OMS

Las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la evaluación de los efectos sanitarios asociados a la contaminación del aire, son aplicadas en todo el mundo y respaldadas por evidencia científica. Las directrices sobre la calidad del aire estiman que una reducción media anual de las partículas PM10 de 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, permitiría una reducción de aproximadamente 15% en las defunciones asociadas a la contaminación. (OMS, 2018).

En la tabla 3-2 se muestran los límites permisibles de concentración de material particulado en la atmósfera.

Tabla 3-2: Parámetros establecidos por la OMS.

Contaminante	Tiempo de exposición	Máxima concentración permitida
PM10	1 año	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 horas	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5	1 año	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 horas	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Partículas sedimentables	30 días	0.5 $\text{mg}/\text{cm}^3/\text{mes}$

Fuente: (CEVALLOS BONILLLA, 2018 pág. 13).

2.2.8.2 Norma de Calidad del Aire Ambiente Ecuatoriana (NECA)

La evaluación del estado de la contaminación atmosférica en Ecuador se rige por la Norma de Calidad del Aire Ecuatoriana (NECA), publicada como parte constituyente del Texto Unificado de la Legislación secundaria del ministerio del ambiente (TULSMA), emitida en el 2003 y modificada en el 2012. La norma establece los límites permisibles, métodos y procedimientos para la determinación de los contaminantes en el aire ambiente (CEVALLOS BONILLLA, 2018 pág. 11). En la tabla 4-2 se muestran los límites permisibles de concentración de material particulado presente en la atmósfera a condiciones de 25°C y 760 mm Hg.

Tabla 4-2: Parámetros establecidos por la legislación ecuatoriana.

Contaminante	Tiempo de exposición	Máxima concentración permitida
PM10	1 año	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 horas	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5	1 año	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 horas	65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Fuente: (CEVALLOS BONILLLA, 2018 pág. 12).

2.2.9 Método de referencia para la recolección de PM

Según (CABRERA AVILA, y otros, 2019 pág. 13), menciona que el método de referencia se orienta hacia el cumplimiento de los objetivos fijados en las regulaciones sobre emisiones de gases contaminantes, generalmente son métodos manuales poco automatizados y se centran en la recopilación de información durante un tiempo determinado.

2.2.9.1 Gravimétrico

La captura de partículas en un filtro para su posterior análisis constituye el método más comprensible para evaluar la concentración por partículas.

Un dispositivo que funciona bajo el método gravimétrico consta de tres componentes principales: un impactador, un filtro y una bomba de succión. Las partículas que pasan a través del impactador, son recogidas por el filtro para obtener el peso de PM, como se muestra en la ilustración 8-2 (SUTARLIE, y otros, 2020).

Según lo manifiesta (BONILLA GRANADOS, y otros, 2023 pág. 30) en su investigación titulada "Niveles de concentración por PM2.5 mediante sensores de bajo costo. Menciona que el funcionamiento se basa en el procesamiento paralelo del filtro en blanco y de muestra, y en el pesaje de los filtros antes y después del muestreo para el análisis de datos finales para obtener el nivel de PM. El pesaje del filtro debe realizarse con mucha precisión en condiciones de laboratorio.

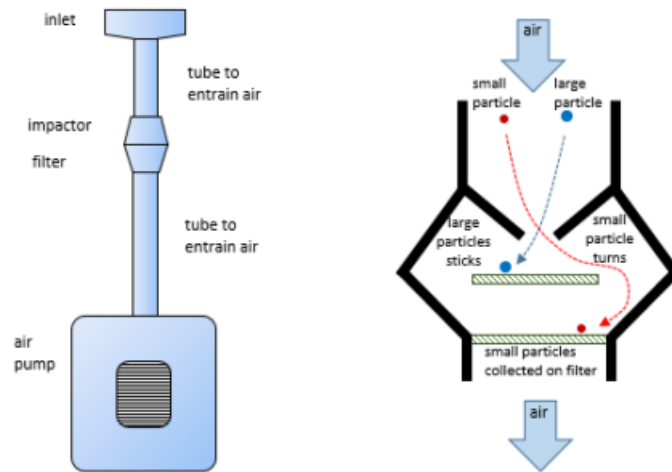


Ilustración 8-2: Esquema del método gravimétrico basado en filtros.

Fuente: (SUTARLIE, y otros, 2020).

2.2.10 Método equivalente para la recolección de PM

El método equivalente se ejecuta de manera ininterrumpida y automatizada, recopilando información de forma continua vía online. Este método es sometido a pruebas realizadas por empresas autorizadas, las cuales determinan su mayor eficiencia en comparación con los métodos de referencia (CABRERA AVILA, y otros, 2019 pág. 12).

2.2.10.1 Microbalanza electrónica

La microbalanza electrónica que se muestra en la ilustración 9-2 al igual que el método gravimétrico, utiliza un filtro para recolectar muestras de PM, pero cambia el principio de detección. Cuando la bomba introduce el aire en el filtro y las partículas PM se depositan, el peso del tubo hueco cambia y provoca un cambio en su frecuencia de oscilación, según el cambio de la frecuencia de oscilación se puede calcular la masa de la muestra depositada en la membrana del filtro, y luego se puede obtener la concentración de PM del aire de acuerdo con el volumen de aire extraído por la bomba de precisión (SUTARLIE, y otros, 2020 pág. 14).

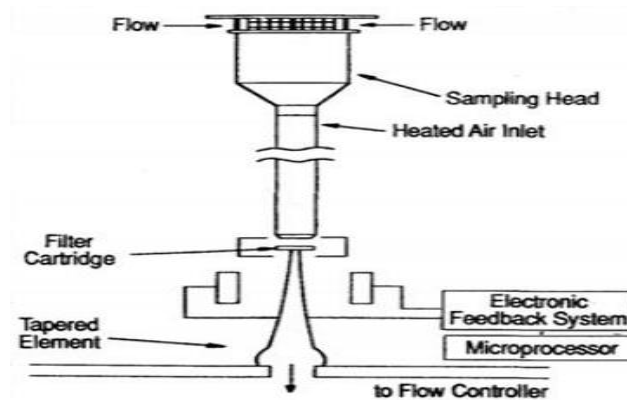


Ilustración 9-2: Microbalanza oscilante de elemento cónico.

Fuente: (SUTARLIE, y otros, 2020).

2.2.11 Método *in-situ* para la recolección de PM

De acuerdo con (CABRERA AVILA, y otros, 2019), el método *in-situ* posibilita tener una retroalimentación instantánea de los resultados automáticos, basado en la interacción de las partículas con el gas circundante o con luz, las partículas son analizadas en el mismo entorno donde son emitidas, permitiendo una revisión continua de los procesos.

2.2.11.1 Opacimetría.

Según (CALDERÓN COBAGANGO, 2023 pág. 18) en su investigación titulada "Estudio de los niveles de opacidad en vehículos diésel en la ciudad de Ibarra.", afirma que la opacimetría está basado en el principio de transmitancia, el cual se define como un proceso físico en el que parte de la energía que impacta en una superficie se transmite sin variaciones en su frecuencia, básicamente cuantifica la disminución de la intensidad de luz al pasar por un flujo de gas, el haz de luz es proyectado en línea recta a través del lente hacia el reflector y las partículas absorben una fracción de la luz que inciden sobre ellas, el método tiene dos escalas de medición, una de ellas es el porcentaje de opacidad y la otra el coeficiente de absorción.

2.2.12 Pastillas de freno

Cumple la función de limitar la velocidad en el sistema de frenado del disco y debe poseer características particulares que les permitan resistir condiciones de alta temperatura y fricción. El amianto ha sido empleado como material de fricción durante más de 80 años debido a sus notables propiedades físicas y químicas, no obstante, al ser catalogado como material cancerígeno se ha dejado de ocupar (PUENTE CAMACHO, 2021 pág. 7).

Según (GOMES NOGUEIRA , 2022 pág. 30) en su investigación titulada “Particulate Matter Emission Issues in Brake Systems”, menciona que los compuestos utilizados en las pastillas de freno mantengan un nivel de fricción suficientemente alto y estable. En la ilustración 10-2 se presenta el esquema de una pastilla de freno, la cual se compone de cuatro capas fundamentales.

- 1) **Material de fricción:** Conformado por la combinación de varios ingredientes y unido por un aglutinante polimérico.
- 2) **Capa inferior:** Elaborada de materiales orgánicos que contribuyen al aislamiento térmico.
- 3) **Adhesivo:** Su función es sujetar la capa inferior a la placa posterior.
- 4) **Placa posterior:** Es la base de la pastilla y comúnmente se fabrica de hierro.

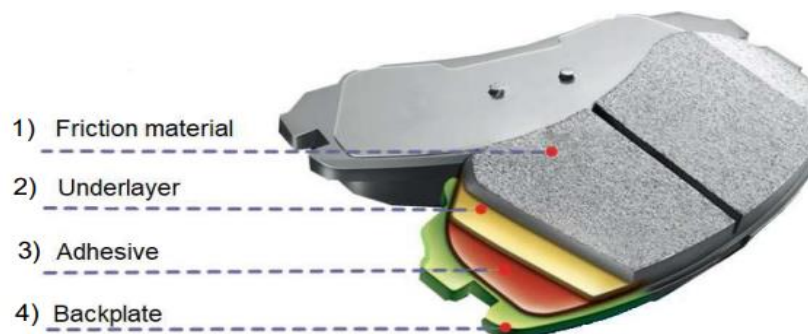


Ilustración 10-2: Representación esquemática de pastillas de freno.

Fuente: (GOMES NOGUEIRA , 2022 pág. 14).

2.2.13 Materiales de fabricación de las pastillas de freno

a) Orgánicas: Fueron desarrolladas como una alternativa del amianto, adoptaron el nombre de amianto orgánico (NAO), se destaca por tener componentes clave en su estructura como: materiales orgánicos e inorgánicos, mica, grafito, fibras metálicas y aramida, que suelen ser compactados mayormente con resinas (PUENTE CAMACHO, 2021 pág. 7).

b) Metálicas y semimetálicas: Su formulación se da como sustituto del amianto y están compuestas de un 30-65% de polvos metálicos, estos pueden ser cobre, bronce, acero o hierro, la resina desempeña el papel de aglutinante en la mezcla, y el restante de la superficie está constituida por modificadores que mejoran el rendimiento (PUENTE CAMACHO, 2021 pág. 7).

c) Cerámicas: Su estructura está formada por compuestos cerámicos, aglutinantes y fibras de metales (silicato de Ca-Mg, basalto, óxidos metálicos) que son aproximadamente el 15% de su composición. La presencia de metal en forma de fibras les confiere una capacidad de transferencia de calor superior (ALVAREZ MEJIA, y otros, 2020 pág. 18).

d) Carbono: Son semejantes a las de cerámica, con la diferencia que están compuestas por carbono en la superficie de la fibra. Se emplean en vehículos de competencia, trenes de alta velocidad, aeronaves y vehículos de combate, debido a su alto rendimiento y larga vida útil (ARTEAGA RAMÓN, y otros, 2022 pág. 31).

2.2.14 Composición de las pastillas de freno

La composición de las pastillas de freno contiene los siguientes compuestos: fibras, materiales orgánicos, cargas minerales, componentes metálicos, abrasivos y lubricantes (MARTINEZ PILAMUNGA, y otros, 2019 pág. 13). En la tabla 5-2 se muestra los porcentajes aproximados de cada compuesto.

Tabla 5-2: Composición de las pastillas de freno.

Constitución de pastillas de frenos		
Material	Elementos	Porcentaje
Cargas Minerales	Talco, magnesita, feldespato.	27%
Materiales Orgánicos	Resinas fenólicas, resinas epoxis.	20%
Lubricantes	Grafito, antracitas, sulfuros.	20%
Metales	Cobre o bronce.	15%
Fibras	Fibra de carbono, fibra de vidrio, lana de roca o fibras orgánicas.	10%
Abrasivos	Óxido de aluminio.	8%
Total		100%

Fuente: (MARTINEZ PILAMUNGA, y otros, 2019 pág. 13)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO.

3.1 Enfoque de investigación.

El presente trabajo será realizado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, y experimental, ya que estos métodos ofrecen una estructura sólida para llevar a cabo los objetivos e hipótesis planteadas en la investigación. La combinación de estos enfoques busca proporcionar información cuantitativa sobre los vehículos que ingresan a la ESPOCH y el enfoque experimental proporcionara información sobre la cantidad de material particulado que generan las pastillas de freno durante un ciclo de conducción.

3.2 Métodos de investigación.

3.2.1 *Método cuantitativo.*

El método cuantitativo será utilizado para la recolección de datos numéricos relacionados con el tráfico vehicular en el interior de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), con el propósito de establecer un promedio de afluencia vehicular diaria, se aplicará técnicas de registro con períodos de tiempo y características distintivas de los vehículos que ingresan a la entidad educativa.

También se define la utilización de este método debido a que es fundamental para evaluar la concentración del material particulado, debido a la necesidad de obtener datos cuantificables sobre estas partículas liberadas durante el proceso de frenado del vehículo.

La utilización del método cuantitativo no solo facilitará la obtención de datos numéricos, sino que también posibilitará la aplicación de análisis estadísticos de los datos recolectados, que ayudaran a identificar tendencias, patrones y posibles áreas de interés del estudio, de este modo se determina si la hipótesis afirmativa o hipótesis nula es el resultado obtenido tras llevar a cabo el estudio.

3.2.2 *Método experimental.*

El método experimental se utiliza en el contexto de obtener un ciclo de conducción en el interior de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con el objetivo de analizar el comportamiento vehicular en este entorno educativo e implementar variables controladas como la velocidad y tiempo de conducción en la toma de muestras, También se llevará acabo la obtención de muestras de concentración de material particulado liberado durante el ciclo de conducción, especialmente que provienen de las pastillas de freno, empleando instrumentos de recolección de muestras diseñados para capturar partículas.

3.2.3 *Método inductivo.*

El método inductivo es esencial para explorar, comprender y generalizar un enfoque más holístico en la investigación, lo que permitirá generar las conclusiones a partir de la observación de los resultados obtenidos del promedio diario vehicular, el ciclo de conducción establecido para la toma de muestra, la evaluación de material particulado y sus afecciones que podrían generar en las personas.

3.3 *Técnicas de investigación.*

3.3.1 *Observación.*

La técnica de observación es un procedimiento sistemático que involucra la continua observación de un área específica, ya sea mediante el uso de tecnología, o a través de la presencia directa de observadores. Esta técnica permite registrar el número de vehículos que ingresan a la ESPOCH durante un período de tiempo determinado.

3.3.2 *Recolección de datos.*

La técnica de recolección de datos es una estrategia que posibilita la obtención de información de manera eficiente con fines investigativos, mediante la utilización de herramientas adaptadas a los objetivos del estudio. Esta técnica permite obtener datos del comportamiento dinámico del vehículo en el interior de la ESPOCH, empleando el uso de instrumentos tecnológicos de extracción de datos.

3.4 Desarrollo de investigación.

3.4.1 Esquema del desarrollo de la investigación.

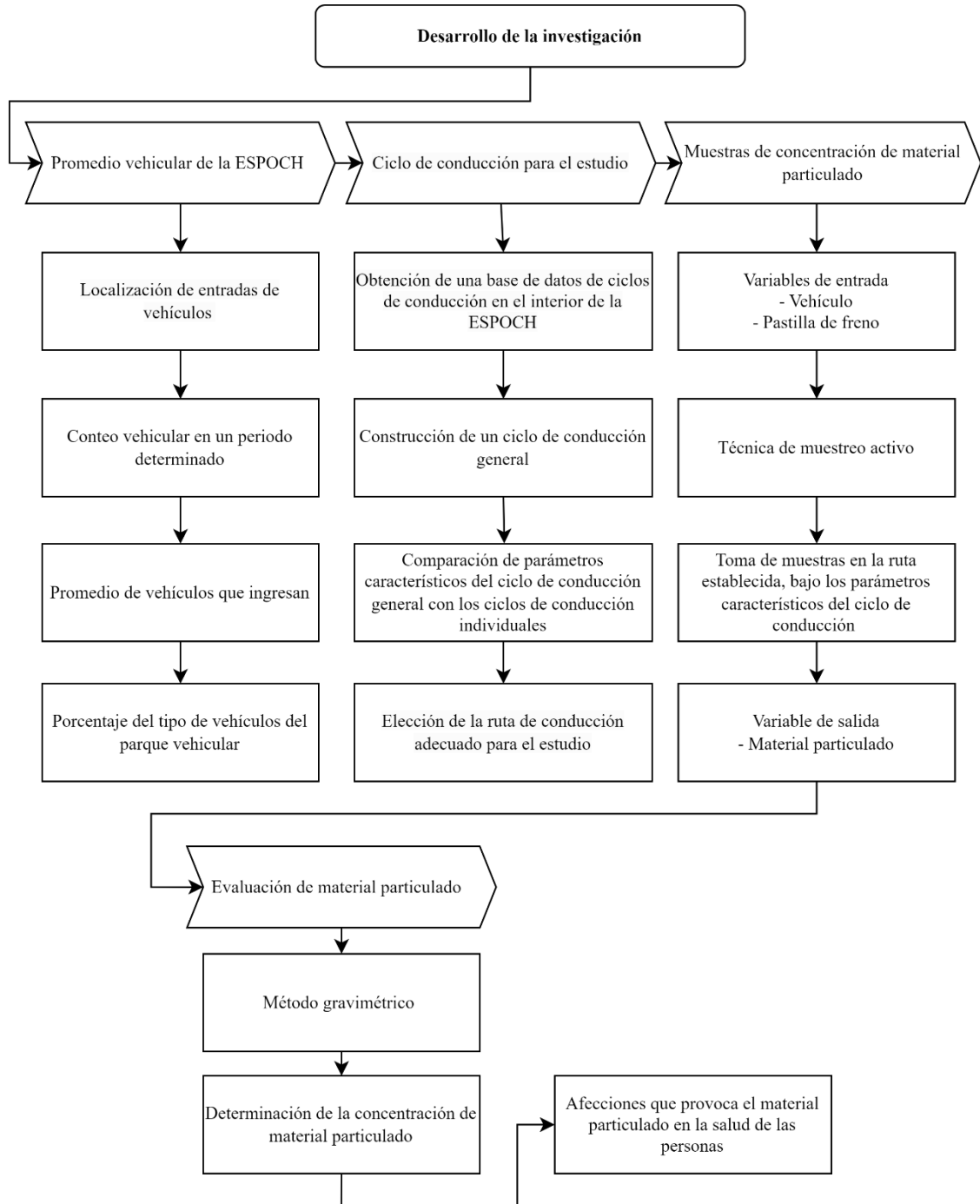


Ilustración 1-3: Esquema del desarrollo de la investigación.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024)

3.4.2 Metodología para el conteo de vehículos que ingresan a la ESPOCH.

La recopilación de datos se realizó durante un lapso de 5 días hábiles consecutivos, comprendidos entre las 6:00 AM y las 16:00 PM con intervalos de conteo de 1 hora. La elección de este periodo se fundamenta en su capacidad para abarcar gran parte de las actividades cotidianas de la ESPOCH, incluyendo el periodo laboral típico de la institución.

3.4.2.1 Lugares de observación.

Los puntos de observación se localizan en los principales accesos vehiculares de la ESPOCH: Avenidas Maldonado, Milton Reyes y Canónigo Ramos. Estas ubicaciones ofrecen un monitoreo efectivo de la entrada de vehículos.



Ilustración 2-3: Puntos de observación del conteo vehicular.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

3.4.2.2 Técnica para el conteo vehicular.

La técnica utilizada se caracteriza por la fusión de observación manual y tecnológica, mediante el análisis de videos registrados por cámaras de seguridad de las principales entradas de la ESPOCH. La observación manual, agrega un componente humano en el proceso de conteo, permitiendo la identificación y clasificación de vehículos, además facilita el análisis posterior y la validación de los resultados.

3.4.2.3 Registro de datos.

Se diseñó un formato para el registro de datos ANEXO 1, con el propósito de recopilar la información detallada. El formato abarca varios aspectos que permiten una documentación ordenada, incluye la fecha y hora para situar cronológicamente cada registro, también incluye el nombre de la entrada en el que se hizo el registro y el tipo de vehículo clasificado en tres categorías (Sedan/hatchbacks, camionetas/SUVs y camiones).

Esta clasificación se basa en el diseño distintivo de los vehículos, la categoría (Sedan/hatchbacks), son automóviles compactos con carrocería de cuatro puertas en el caso de sedanes y una puerta trasera más vertical y accesible en los hatchbacks. Por otro lado, la categoría (camionetas/SUVs), son automóviles todoterreno con una estructura más robusta y con mayor espacio interior. Por último, la categoría de (camiones), son vehículos diseñados para carga y transporte con una estructura más resistente.

El aforo vehicular en la presente investigación permitirá obtener la información referente al tránsito promedio diario y tránsito promedio diario semanal de vehículos que ingresan a la entidad educativa.

3.4.2.4 Tránsito promedio diario.

$$TPD = \frac{\sum TD}{n}$$

Donde:

TD: Tránsito diario.

n: Número de días del registro de datos.

- Desviación estándar muestral.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TPD)^2}{n - 1}}$$

- Desviación estándar poblacional estimada semanal.

$$\sigma = \frac{S}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{7-n}{7-1}}$$

- Transito promedio diario semanal.

$$TPDS = TPD \pm k * \sigma$$

Donde:

k : valor del nivel de confiabilidad.

3.4.3 Metodología para determinar el ciclo de conducción para la investigación.

3.4.3.1 Recolección de datos.

La metodología optada para la recolección de datos con el objetivo de determinar un ciclo de conducción en el interior de la ESPOCH se centró en la técnica de seguimiento aleatorio de vehículos que circulan en el campus. Este método permitirá identificar las diversas rutas que toman los vehículos, permitiendo generar una base de datos global con características generales de conducción, en condiciones de tráfico reales.

La recolección de datos se llevó a cabo mediante la utilización del conector ELM 327 y la aplicación para Android Torque Pro, el cual permita registrar parámetros como el tiempo, velocidad y revoluciones del vehículo mientras se encontraba circulando dentro de la ESPOCH.

3.4.3.2 Datos mediante el conector ELM 327.

El procedimiento para obtener los datos mediante el conector ELM 327 implica los siguientes pasos:

Paso 1: Enchufar el conector ELM 327 al puerto de diagnóstico OBD-II del vehículo.

Paso 2: Vincular el conector ELM 327 con un dispositivo compatible, como un smartphone o una computadora, a través de bluetooth o wifi, según las capacidades del conector.

Paso 3: Una vez establecida la conexión, se utiliza el software Torque Pro en el dispositivo para solicitar y recibir datos del sistema de control del vehículo.

Paso 4: Recopilar datos referentes a la longitud, latitud, tiempo, velocidad y revoluciones del motor, cuando el vehículo se encuentre en movimiento.

3.4.3.3 Evaluación del ciclo de conducción.

Para determinar el ciclo de conducción que se va a utilizar en la presente investigación, se consideraran variables que permitan representar de manera integral las condiciones de manejo en el interior de la ESPOCH. Estas variables serán calculadas utilizando los datos recopilados mediante el conector ELM 327.

Aceleración.

$$a[m/s^2] = \frac{-v_{i+2} + 8v_{i+1} - 8v_{i-1} + v_{i-2}}{12}$$

Donde:

$v_{i\pm 1}$: Velocidad inicial más menos un segundo [m/s].

$v_{i\pm 2}$: Velocidad inicial más menos dos segundos [m/s].

Desplazamiento.

$$x[m] = v_i * t + a * \frac{t^2}{2}$$

Donde:

t : tiempo [s].

Las variables que permitirán tener una noción global del comportamiento general de los vehículos se denominan parámetros característicos, los cuales nos ayudaran en la selección del ciclo de conducción para la presente investigación.

- Velocidad media [m/s].
- Velocidad máxima [m/s].
- Aceleración media positiva [m/s²].

- Aceleración media negativa [m/s^2].
- Aceleración máxima [m/s^2].
- Porcentaje en ralentí [%].

Se generó una base de datos global de 50 rutas recorridas por los distintos vehículos que ingresaban a la entidad educativa, y se determinó los parámetros característicos del conjunto de datos global, de igual manera se determinó los parámetros característicos de cada ruta, esto con el fin de comparar cuales rutas son las más transitadas por los vehículos.

La selección de las rutas se lo realizó mediante el menor error relativo, obtenido de la suma de errores relativos de los parámetros característicos globales, comparados con los valores de los parámetros característicos de cada ruta.

$$Er_1 = \frac{vel.media_{global} - vel.media_{ruta}}{vel.media_{global}}$$

$$Er_2 = \frac{vel.max_{global} - vel.max_{ruta}}{vel.max_{global}}$$

$$Er_3 = \frac{acel.media(+)_global - acel.media(+)_ruta}{acel.media(+)_global}$$

$$Er_4 = \frac{acel.media(-)_global - acel.media(-)_ruta}{acel.media(-)_global}$$

$$Er_5 = \frac{acel.max_{global} - acel.max_{ruta}}{acel.max_{global}}$$

$$Er_6 = \frac{\%relanti_{global} - \%relanti_{ruta}}{\%relanti_{global}}$$

$$Er_{Total} = (Er_1 + Er_2 + Er_3 + Er_4 + Er_5 + Er_6)/6$$

Mediante la combinación de las rutas con menor error relativo se obtuvo la ruta representativa y el ciclo de conducción representativo con los parámetros característicos que se deben cumplir en la toma de muestras de material particulado.

3.4.4 Metodología para la toma de muestras de material particulado.

3.4.4.1 Técnica de muestreo de material particulado.

La técnica de muestreo activo se empleó para la toma de muestras de material particulado, esta técnica, implica el uso de un dispositivo para aspirar el aire y capturar las partículas en un filtro. Este tipo de muestreo permite obtener una muestra representativa del material particulado presente en el aire, durante el recorrido del vehículo bajo una conducción controlada con los valores de los parámetros característicos del ciclo de conducción representativo ya obtenido.

La cantidad de material particulado capturado durante el muestreo se calcula restando el peso del casete con la muestra obtenida menos el casete sin la muestra. Esta diferencia de peso nos dará la cantidad de material particulado que capturamos, y la expresamos en miligramos. A partir de esta cantidad y teniendo en cuenta la cantidad de aire que muestreamos, calculamos la concentración de partículas en el aire. Es decir, determinamos cuántos miligramos de material particulado hay por cada metro cúbico de aire muestreado.


3.4.4.2 Características del tipo de vehículos para la toma de muestras.

En el procedimiento de toma de muestras de material particulado, se dará especial atención a dos tipos de vehículos que son altamente representativos en el entorno de estudio. Este enfoque estratégico asegurara que la muestra sea representativa de la diversidad de vehiculas presentes en la zona de investigación.

El desarrollo de las pruebas se realizó en 2 vehículos de diferente categoría, uno tipo Hatchback con las características especificadas en la Tabla 1-3 y un SUV con las características especificadas en la tabla 2-3. La selección de estas dos categorías se fundamenta en su prevalencia y relevancia en el contexto local, garantizando así que los resultados obtenidos reflejen con precisión las emisiones de material particulado en situaciones de conducción típicas de la ESPOCH.

Tabla 1-3: Características del vehículo tipo Hatchback.

Características del vehículo 1	
Tipo	Hatchback
Marca	Chevrolet
Modelo	Spark
Año	2013
Cilindraje	995 cc
Tracción	Delantera
Transmisión	5- Manual
Peso	820 kg
Neumáticos	165/65/R13



Fuente: (CHEVROLET, 2022).

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

Tabla 2-3: Características del vehículo tipo SUV.

Características del vehículo 2	
Tipo	SUV
Marca	Jetour
Modelo	X70
Año	2023
Cilindraje	1498 cc
Tracción	Delantera
Transmisión	5 - Manual
Peso	1540 kg
Neumáticos	223/55/R20



Fuente: (JETOURGLOBAL, 2023).

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

3.4.4.3 Selección del tipo de pastillas de freno a utilizar.

Para la realización de la investigación se optó por el uso de pastillas de freno orgánicas y semimetálicas, debido a que son pastillas de freno que experimentan mayor pérdida de volumen durante el proceso de frenado y tienden a generar más contaminación debido a su composición. Además, son adecuadas para una variedad de condiciones de conducción, por lo que son una opción versátil para muchos conductores.

3.4.4.4 Equipamiento del sistema de muestreo.

El vehículo fue acondicionado con un sistema de muestreo ilustración 3-3 que incluye una bomba de muestreo configurada para mantener un caudal constante. Este dispositivo será fundamental para la captura de partículas. Además, se incorporó un muestreador que incorpora un filtro específicamente para capturar partículas, lo que garantizará una recolección efectiva de las partículas generadas durante las frenadas del vehículo.



Ilustración 3-3: Equipo de muestreo marca Criffer modelo Accura 3 Plus.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

Para optimizar la precisión de la recopilación del material particulado, el tren de muestreo se instaló cerca del freno de disco delantero derecho del vehículo, como se muestra en le ilustración 4-3 y 5-3. Esto permitirá la obtención de muestras directamente desde la fuente de emisión, ofreciendo así una representación de las partículas liberadas durante el proceso de frenado. La configuración de este sistema de muestreo busca garantizar la fiabilidad y la coherencia en la recopilación de datos, proporcionando una base sólida para el análisis de las emisiones de material particulado provenientes de las pastillas de freno.



Ilustración 4-3: Equipamiento del tren de muestreo Criffer en el vehículo tipo SUV.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).



Ilustración 5-3: Equipamiento del tren de muestreo Criffer en el vehículo tipo Hatchback.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

Los dos vehículos equipados con el tren de muestreo y el conector ELM327 recorrieron la ruta representativa, mediante una conducción controlada bajo los parámetros del ciclo de conducción representativo. El conector ELM327 recabó información de la conducción para decidir si la muestra es válida y el tren de muestreo recogió el material particulado que se generó durante la conducción. Cada vehículo recorrió dos veces la ruta, utilizando pastillas de freno de tipo orgánicas y semimetálicas.

3.4.4.5 Esquema de toma de muestras.

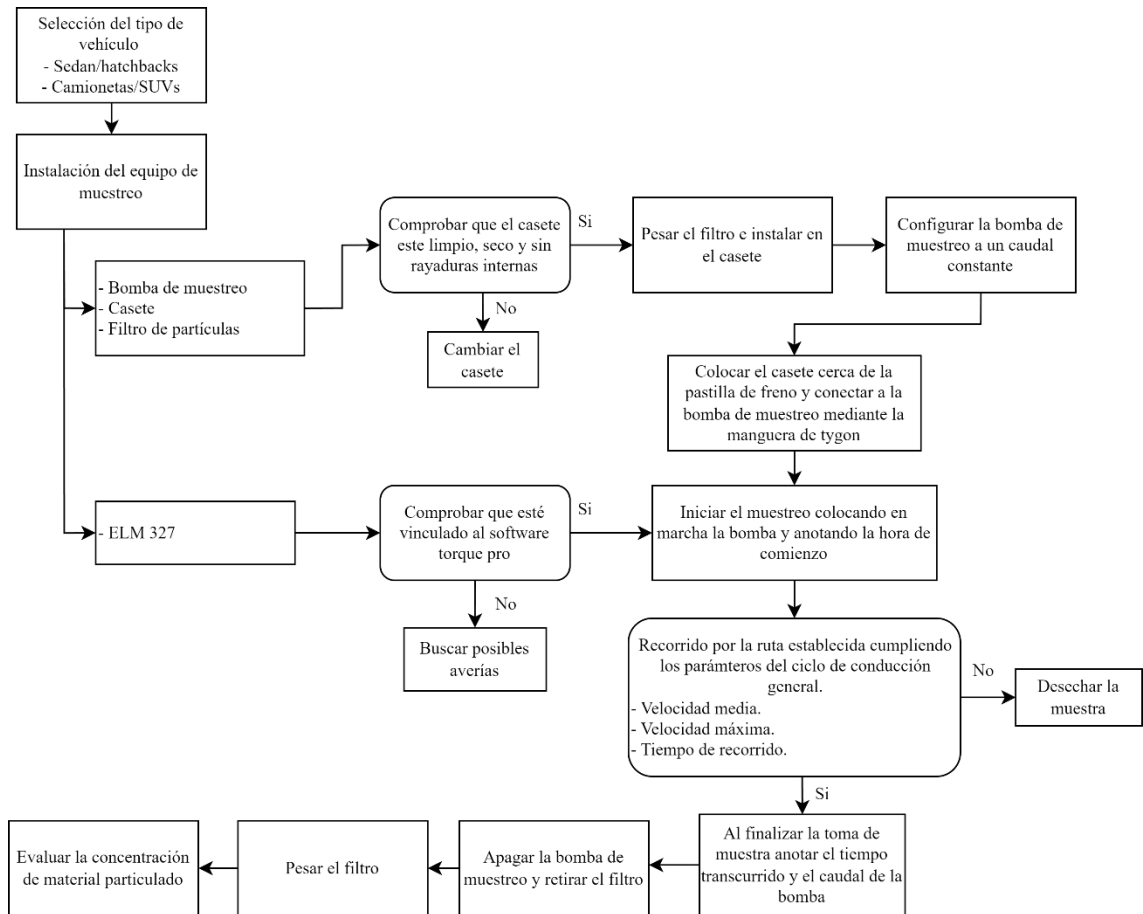


Ilustración 6-3: Esquema de toma de muestras de material particulado.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

3.4.5 Herramientas e instrumentos empleadas.

3.4.5.1 ELM 327.

Dispositivo Fabricado por Elm Electrónica es un microcontrolador programado y diseñado para inspeccionar los datos del motor en teléfonos celulares, combinado con el software Torque mediante la interfaz OBD de los vehículos. El conector ELM 327 funciona a través, Wifi o Bluetooth, y son compatibles con los protocolos OBD-II (ISO 15765-2 CAN), ISO 14230-4 KWP2000, ISO 9141-2, J1850 VPW, J1850 PWM) para leer, almacenar y exportar en forma numérica la información (MEJÍA, y otros, 2021).



Ilustración 7-3: Escáner ELM327.

Fuente: (Códigos DTC 2021).

3.4.5.2 *Software Torque Pro*

El software se destaca por su utilidad para realizar un seguimiento en tiempo real de los parámetros de operación del automóvil, así como la capacidad de registrar el comportamiento dinámico del vehículo. Algunas de las variables que registra el software Torque pro son: el tiempo de registro de datos, la velocidad del vehículo, la altura sobre el nivel del mar, las revoluciones del motor, entre otras. (MEJÍA, y otros, 2021).



Ilustración 8-3: Torque pro.

Fuente: (OBD Comparison 2022).

3.4.5.3 *Software Excel.*

Excel es una herramienta fundamental en el ámbito de la investigación debido a su versatilidad y capacidad para organizar, analizar y visualizar datos de manera eficiente. Permite gestionar grandes conjuntos de información, y facilita la comparación de datos en tablas y gráficos, permitiendo al investigador la toma de decisiones informada.

3.4.5.4 Bomba de muestreo marca Criffer modelo Accura 3 Plus.

Es un instrumento empleado para la medición y control cuantitativo de una sustancia en un flujo. Se fundamenta en el principio de la medición gravimétrica, el cual implica la determinación de la cantidad de una sustancia mediante la medición de su masa. Accura en su tercera generación posee un sistema de compensación de flujo, que asegura la estabilidad del monitoreo en tiempo real, ideal para la presente investigación de material particulado de pastillas de freno (MOYOLEMA, 2023).

Tabla 3-3: Características de la bomba de muestreo marca Criffer modelo Accura 3 Plus.

Bomba de muestreo Criffer modelo Accura 3 Plus.	
Características	
Pantalla	LCD
Rango de flujo	Hasta 5 L/min
Caudal y tiempo	Programables
Filtro de motor	CR-44
Alimentación	Batería ion-litio de 3600 mAh
Fuente de alimentación	Bivolt
Dimensiones	85 x100 x 35 mm
Peso	260 g



Fuente: (CRIFFER, 2022).

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

3.4.5.5 Casete SC-300.

Dispositivo utilizado para la recolección de una muestra de aire con el propósito de someterla al análisis mediante el método gravimétrico.

Tabla 4-3: Características del casete SC-300.

Casete SC-300	
Características	
Material	Estireno - Transparente
Diámetro	37 mm
Filtración área	9 cm ²
Material de la almohadilla	Celulosa
Adaptador	female Luer inlet slip female Luer outlet slip



Fuente: (CRIFFER, 2022).


Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

3.4.5.6 Filtro de membrana de PVC de 5 micras.

Dispositivo de filtración compuesto de PVC puro de grado médico, usado en aplicaciones de monitoreo de aire para analizar partículas para su posterior análisis por el método gravimétrico. El PVC no es higroscópico, lo que implica que la presencia de humedad no influirá en el análisis.

Tabla 5-3: Características del filtro de membrana de PVC de 5 micras.

Filtro de membrana de PVC de 5 micras.	
Características	
Código	PVC5
Color	Blanco
Tipo	Filtro de membrana
Mojabilidad	Hidrófobo
Tamaño de poro	5 micras
Diámetro del filtro	37 mm
Química	Cloruro de polivinilo (PVC)



Fuente: (CRIFFER, 2022).


Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

3.4.5.7 Cyclón de aluminio CL-700 marca Criffer.

Dispositivo construido de aluminio para eliminar problemas de carga estática, utiliza el principio de la fuerza centrífuga para separar las partículas del flujo de aire y recolectarlas en un filtro.

Tabla 6-3: Características del ciclón de aluminio CL-700.

Ciclón CL-700.	
Características	
Material	Aluminio anodizado negro
Punto de corte	10 um
Flujo	2.5 L/min
Dimensiones	70 x 30 mm
Diámetro	37 mm
Peso	28 g
Mantiene la curva de polvo respirable	ACGIH/ISO/CEN



Fuente: (CRIFFER, 2022).


Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

3.4.5.8 Calibrador de bomba marca Criffer modelo CR4.

Dispositivo utilizado para ajustar la velocidad de flujo de aire de las bombas de muestreo, permite garantizar que la bomba funcione a la velocidad de flujo deseada y constante durante el período de muestreo.

Tabla 7-3: Características del calibrador Criffer CR-4.

Calibrador Criffer CR-4.	
Características	
Rango de flujo	máx. 6 L/min
Modo de flujo	Succión
Filtro	CR-44
Dimensiones	120 x 70 x 55 mm
Peso	147 g
Batería	3.7 V, 1.800 mAh
Autonomía de batería	30 h



Fuente: (CRIFFER, 2022).


Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

3.4.5.9 Balanza analítica AS 220.R2 PLUS.

Equipo utilizado para realizar mediciones de peso con precisión mínima de 0.01 miligramos. Con una capacidad de medir variaciones de peso de 1 o 10 microgramos, equivalente a 6 o 5 cifras de exactitud. Su alta sensibilidad posibilita realizar mediciones precisas (EQUILAB, 2021).

Tabla 8-3: Características de la balanza analítica AS 220.R2 PLUS.

Balanza analítica AS 220.R2 PLUS.	
Características	
Capacidad máxima	220 g
Capacidad mínima	10 mg
Legibilidad	0.1 mg
División de legalización	1 mg
Rango de tara	-220 g
Repetibilidad estándar	0.08 mg
Linealidad	± 0.2 mg
Repetibilidad permitida	0.1 mg
Tiempo de estabilización	3.5 s
Calibración interna	Automática



Fuente: (EQUILAB, 2021).

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

3.4.6 Método gravimétrico para la evaluación del material particulado.

La determinación de la concentración de partículas mediante el método gravimétrico se fundamenta en la medida del cambio de masa experimentado por un filtro con muestra, en comparación con uno en blanco.

3.4.6.1 Procedimiento de medición de PM.

Paso 1: Los filtros y casetes se colocaron dentro de un desecador durante 60 minutos, el desecador contiene sílice en gel, sustancia altamente absorbente que ayuda a eliminar la humedad del aire y de los materiales, lo que es importante para garantizar la precisión de las mediciones.

Paso 2: Mediante el uso de pinzas y guantes quirúrgicos se ensambló el conjunto casete/filtro, para luego proceder a pesar en la balanza analítica y obtener los pesos iniciales.

Paso 3: Se armó el tren de muestreo contenido por el casete, el porta casete, el ciclón CL-700, y la bomba de muestreo, para proceder con la calibración de la bomba gravimétrica. La calibración se configuró a un flujo constante de 2L/min, utilizando el rotámetro y el calibrador digital.

Paso 3: El tren de muestreo previamente calibrado se instaló en la fuente de emisión de PM, en este caso en el sistema de freno delantero derecho, cercano a las pastillas de freno.

Paso 4: Se encendió la bomba gravimétrica y se procedió a recorrer la ruta representativa con una conducción controlada. Una vez terminado se extrajo el conjunto casete/filtro del tren de muestreo. Este paso se lo realizó 4 veces con 2 tipos de vehículos y 2 tipos de pastillas de freno.

Paso 5: Los casetes y los filtros se colocaron en el desecador por otros 60 minutos, para eliminar la humedad y tener una mejor precisión en la medición.

Paso 6: Se pesaron los casetes con los filtros en la balanza analítica y se obtuvo los pesos finales.

Paso 7: Se evaluó la concentración y el factor de emisión del material particulado de las muestras obtenidas.

3.4.6.2 Cálculo de material particulado.

El peso del material particulado (P) medido en miligramos, se determinó como la diferencia entre la medición posterior (P_2) y la medición previa (P_1) de la muestra, y se calculó con la siguiente expresión:

$$P = P_2 - P_1$$

Donde:

P : Peso del material particulado [mg].

P_1 : Peso registrado previo al muestreo [mg].

P_2 : Peso registrado posterior al muestreo [mg].

La corrección se llevó a cabo mediante la utilización de blancos de muestreo y se calculó con la siguiente expresión:

$$P_{\text{corregido}} = P \pm (B_{1.2} - B_{1.1})$$

Donde:

$P_{\text{corregido}}$: Peso del material particulado corregido con valores de blancos de muestreo [mg].

B_{i2} y B_{i1} : Peso posterior y previo del blanco utilizado para la corrección [mg].

3.4.6.3 Cálculo del factor de emisión del material particulado.

La determinación del factor de emisión del material particulado de los frenos se llevó a cabo mediante la aplicación de la siguiente expresión:

$$FE = \frac{P_{\text{corregido}}}{D}$$

Donde:

FE : Factor de emisión [mg/m^3].

D : Distancia recorrida [Km].

3.4.6.4 Cálculo de la concentración del material particulado.

La determinación de la concentración de material particulado de los frenos se llevó a cabo mediante la aplicación de la siguiente expresión:

$$C = \frac{P_{\text{corregido}}}{V}$$

Donde:

C: Concentración de material particulado [mg/m^3].

V: Volumen nominal de aire muestreado [m^3].

3.4.6.5 Evaluación de material particulado.

En ausencia de una normativa específica en Ecuador para evaluar el factor de emisión de material particulado proveniente de los frenos de vehículos, se utilizó como referencia el valor establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, que es de 7.9 mg/km, obtenido a partir de varias pruebas realizadas en un ciclo de conducción estándar. Además, se consideró como referencia el valor promedio del factor de emisión de 9 mg/km obtenido de investigaciones sobre material particulado proveniente de frenos llevadas a cabo en dinamómetros y bancos de pruebas.

Para la evaluación de la concentración de material particulado inhalable / respirable se tomó como referencia el valor establecido por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) de 10 mg/m³, valor donde empieza a producirse un efecto fisiológico en las personas. También se consideró el valor establecido por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) de 15 mg/m³, valor límite de exposición permisible.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

El presente capítulo presenta los resultados en base a los objetivos planteados, donde se muestran los resultados del conteo vehicular con el fin de determinar un promedio diario vehicular. De igual manera se presentan los resultados de la ruta y el ciclo de conducción representativo obtenido del análisis de parámetros característicos de vehículos seleccionados aleatoriamente. Asimismo, mediante el método gravimétrico los resultados de las concentraciones y los factores de emisión de material particulado que genera un vehículo tipo hatchback y un vehículo tipo SUV, en la ruta establecida mediante una conducción controlada, ambos vehículos equipados con pastillas de freno orgánicas y semimetálicas. Finalmente, una revisión bibliográfica de las afecciones que provoca en la salud de las personas el material particulado que desprenden las pastillas de freno.

4.1 Resultados del conteo de vehículos en la ESPOCH.

Empleando la metodología para el conteo vehicular y tras el registro y procesamiento de la información obtenida, se presenta los siguientes gráficos, que brindan una representación visual del volumen de vehículos que ingresan a la ESPOCH durante 5 días laborales consecutivos, abarcando un periodo de 10 horas diarias, con mediciones realizadas cada hora.

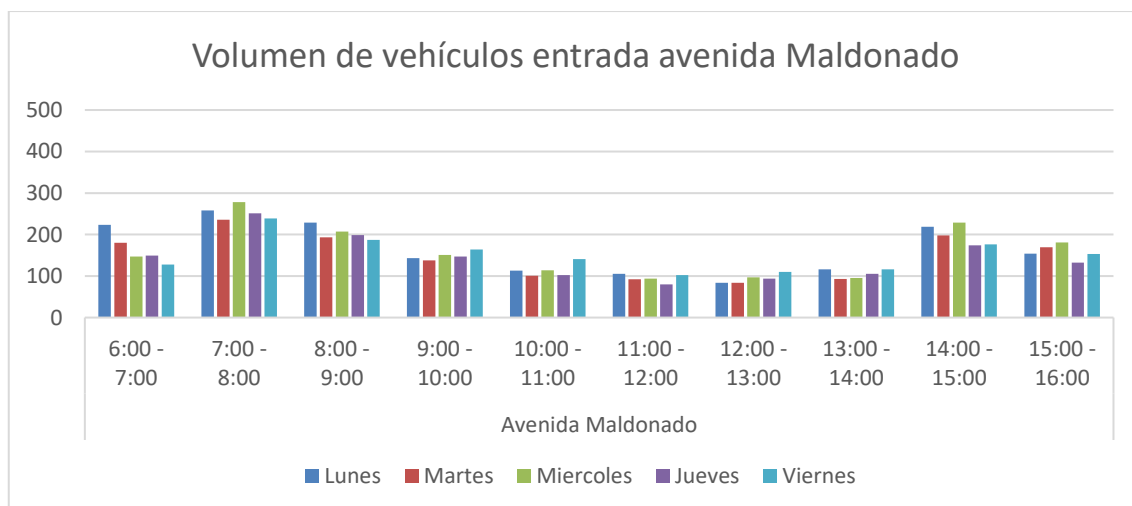


Ilustración 1-4: Volumen de vehículos que ingresan por la avenida Maldonado.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

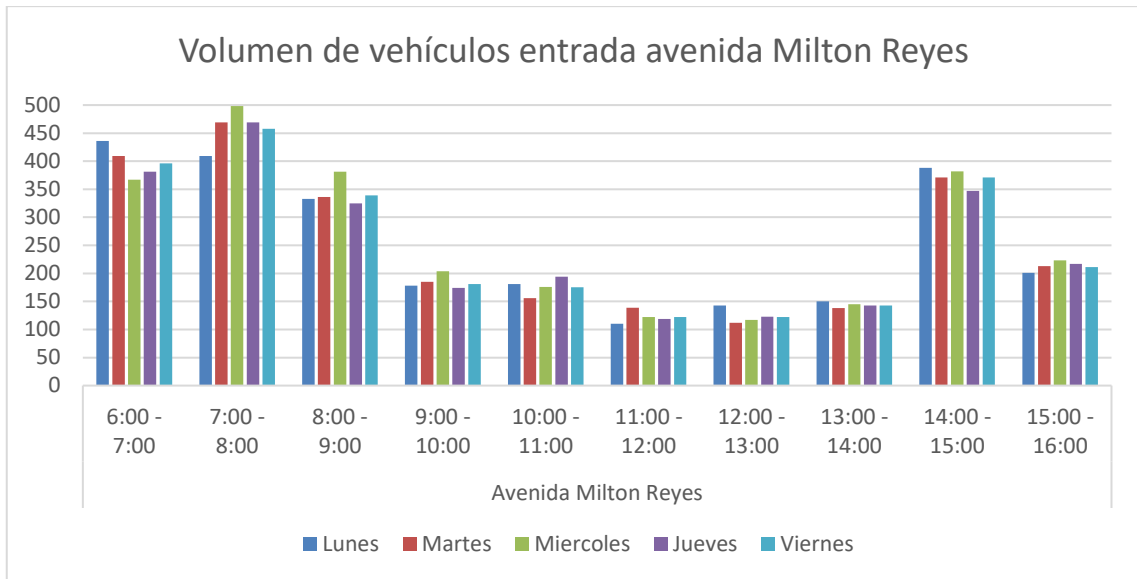


Ilustración 2-4: Volumen de vehículos que ingresan por la avenida Milton Reyes.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

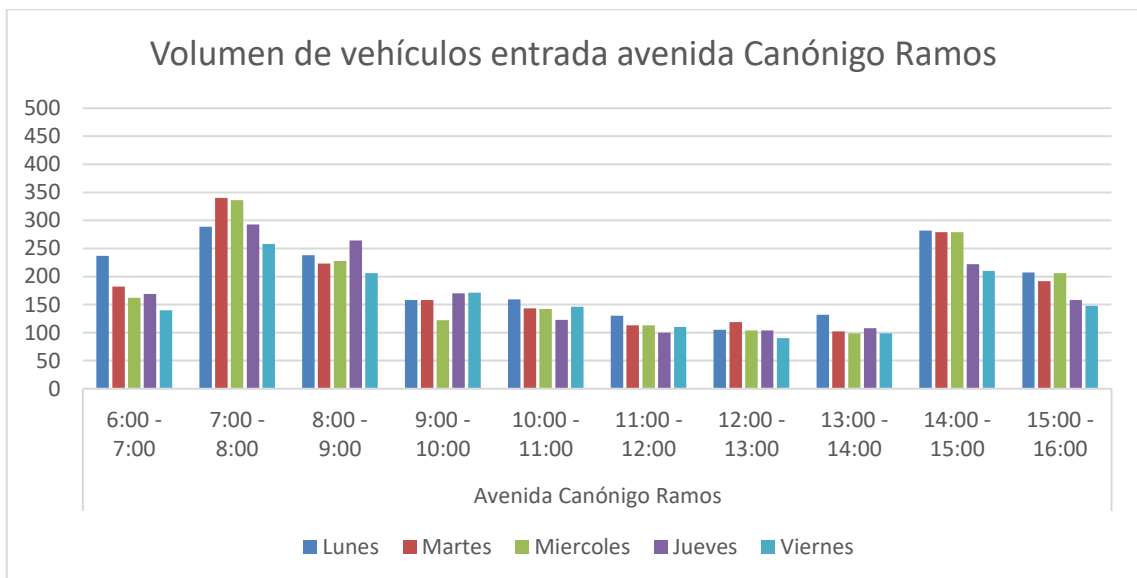


Ilustración 3-4: Volumen de vehículos que ingresan por la avenida Canónigo Ramos.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

El volumen de ingreso vehicular revela patrones en relación con la afluencia de vehículos a lo largo del día. En las entradas de la avenida Maldonado, Milton Reyes y Canónigo Ramos la mayor concentración de tráfico se observa en los intervalos horarios de 7:00 a 8:00, de 8:00 a 9:00 y de 14:00 a 15:00. Estos picos indican momentos cruciales de actividad vehicular que pueden estar asociados con las horas pico de desplazamiento de la comunidad circundante. Asimismo, es relevante señalar que en la entrada de la avenida Milton Reyes se registra un aumento notable en la afluencia durante el horario de 6:00 a 7:00.

Los resultados derivados del análisis del volumen de ingreso vehicular revelan que la entrada ubicada en la avenida Milton Reyes exhibe el flujo vehicular más significativo en comparación con los demás accesos evaluados. La causa de este efecto puede deberse al hecho de que la entrada posee mayor número de intersecciones, lo que permite una mejor fluidez de vehículos.

Tabla 1-4: Datos del conteo vehicular de las entradas principales de la ESPOCH.

Dia	Hora	Av. Maldonado			Av. Milton Reyes			Av. Canónigo Ramos			Total
		Sedan, hatchbacks	Camionetas, SUVs	Camiones	Sedan, hatchbacks	Camionetas, SUVs	Camiones	Sedan, hatchbacks	Camionetas, SUVs	Camiones	
Lunes	6:00 - 16:00	1063	578	3	1432	1068	29	1120	815	2	6110
Martes	6:00 - 16:00	955	526	3	1453	1055	20	1071	779	1	5863
Miércoles	6:00 - 16:00	1024	566	3	1486	1105	24	1038	752	1	5999
Jueves	6:00 - 16:00	924	507	2	1420	1053	19	996	714	1	5636
Viernes	6:00 - 16:00	975	537	4	1445	1067	6	913	665	0	5612

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

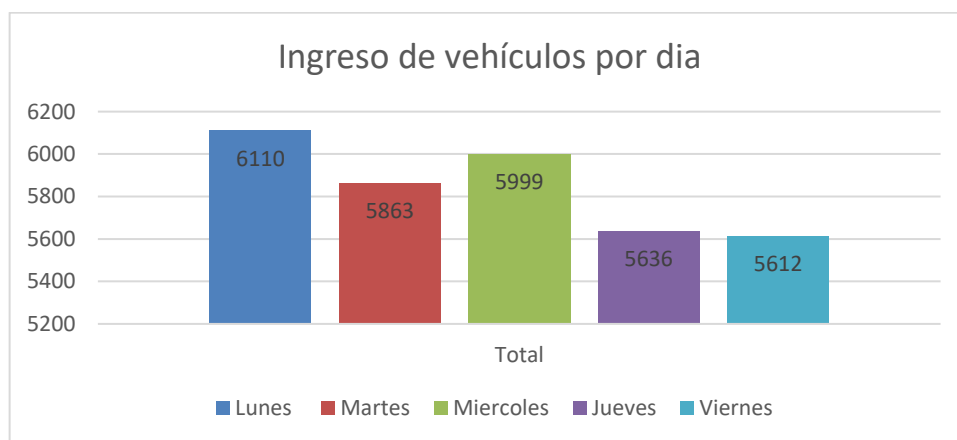


Ilustración 4-4: Ingreso de vehículos por día.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

- Transito promedio diario

$$TPD = \frac{6110 + 5863 + 5999 + 5636 + 5612}{5}$$

$$TPD = 5844 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

- Desviación estándar muestral

$$S = \sqrt{\frac{(6110 - 5844)^2 + (5863 - 5844)^2 + (5999 - 5844)^2 + (5636 - 5844)^2 + (5612 - 5844)^2}{5 - 1}}$$

$$S = 219.22$$

- Desviación estándar poblacional estimado

$$\sigma = \frac{219.22}{\sqrt{5}} \sqrt{\frac{7 - 5}{7 - 1}}$$

$$\sigma = 56.60 \text{ vehiculos/dia}$$

- Transito promedio diario semanal

El transito promedio diario semanal con un nivel de confiabilidad del 90% ($k = 1.64$).

$$TPDS = 5844 \pm (1.64) * 56.60$$

$$TPDS_{\text{máximo}} = 5937 \text{ vehiculos}$$

$$TPDS_{\text{mínimo}} = 5751 \text{ vehiculos}$$

El análisis del tránsito vehicular revela que la ESPOCH experimenta un promedio diario de 5844 vehículos. Asimismo, al considerar la variabilidad semanal con un nivel de confiabilidad del 90%, se observa que el tránsito diario puede fluctuar entre un máximo de 5937 vehículos y un mínimo de 5751 vehículos. Estos datos ofrecen una visión detallada del flujo vehicular en el contexto de esta investigación.

Tabla 2-4: Registro del tipo de vehículos que ingresan a la ESPOCH.

Día	Hora	Sedan, hatchbacks	Camionetas, SUVs	Camiones
Lunes	6:00 - 16:00	3615	2461	34
Martes	6:00 - 16:00	3479	2360	24
Miércoles	6:00 - 16:00	3548	2423	28
Jueves	6:00 - 16:00	3340	2274	22
Viernes	6:00 - 16:00	3333	2269	10
Suma		17315	11787	118
Total				29220

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

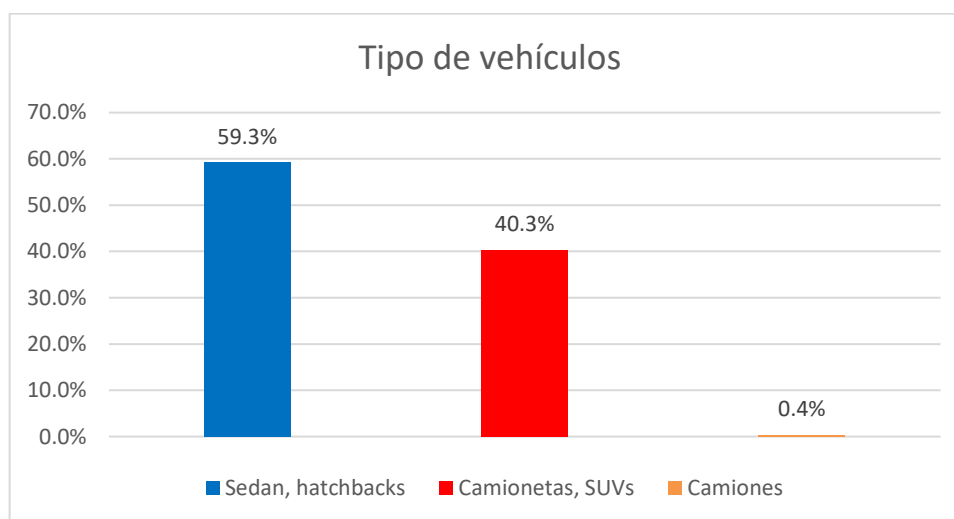


Ilustración 5-4: Porcentaje del tipo de vehículos.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

El análisis del parque vehicular revela una distribución en términos de tipos de vehículos. La estadística revela una inclinación hacia los vehículos tipo sedan y hatchbacks, los cuales representan el 59.3% del parque vehicular en la ESPOCH. Esta preferencia puede asociarse a la versatilidad y practicidad especialmente en entornos urbanos y académicos. Siguiendo esta línea en proporción ligeramente menor se encuentra la categoría de camionetas y SUVs que representan un 40.3% del parque vehicular. Por último, la categoría de camiones representa el 0.4% del parque vehicular, siendo la categoría más baja, debido a la naturaleza predominante académica y urbana del entorno.

4.2 Resultados del ciclo de conducción.

Utilizando la metodología expuesta para la obtención del ciclo de conducción y tras el registro y procesamiento de la información recabada, se presentan los siguientes resultados, que ofrecen una representación visual de los parámetros característicos del ciclo de conducción en el interior de la ESPOCH y la ruta representativa obtenida.

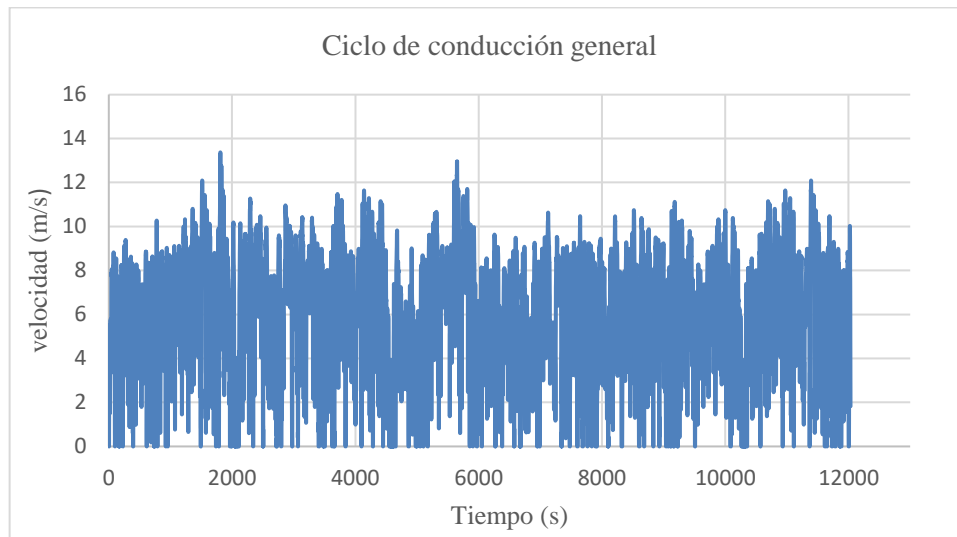


Ilustración 6-4: Ciclo de conducción general.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

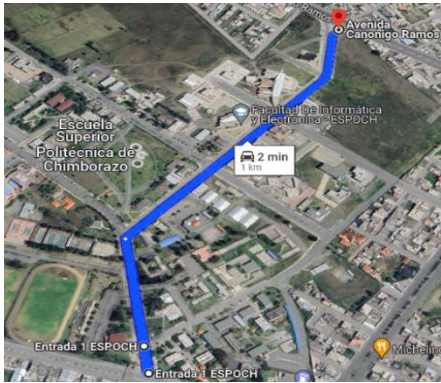
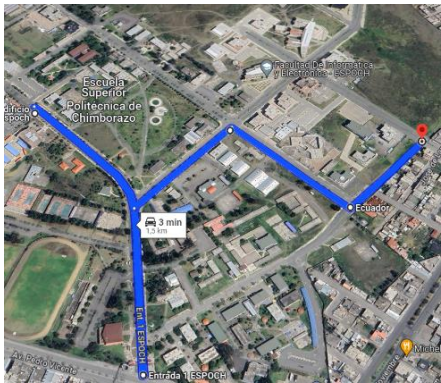
Tabla 3-4: Parámetros característicos del ciclo de conducción general.

Parámetros característicos del ciclo de conducción general			
Relación	Tipo de relación	Valor	Unidad
Distancia	Distancia de frenado	9.81	km
	Distancia sin frenar	68.16	km
	Distancia total	77.97	km
	Distancia promedio de frenado	0.20	km
	Distancia promedio sin frenar	1.36	Km
	Distancia promedio del ciclo	1.56	Km
Tiempo	Tiempo en relantí	30.20	min
	% tiempo en relantí	15.06	%
	Tiempo del ciclo	12032.00	s
	Tiempo promedio del ciclo	4.01	min
Velocidad	Velocidad media	6.52	m/s
	Velocidad máxima	13.37	m/s
Aceleración	Aceleración máxima	2.70	m/s ²
	Aceleración media positiva	0.42	m/s ²
	Aceleración media negativa	-0.49	m/s ²

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

La ilustración 6-4 muestra el resultado del ciclo de conducción general obtenido de una base de datos compuesta por información recopilada de 50 vehículos seleccionados de manera aleatoria que circulan dentro de la ESPOCH. Se obtuvo un ciclo con una duración de 12032 s de registro y, mediante el cálculo de los parámetros característicos del ciclo de conducción general mostrados en la tabla 3-4, se obtuvo que el promedio de distancia recorrida por un vehículo en la ESPOCH es de 1.56 km en un tiempo promedio de 4.01 minutos con una velocidad media de 6.52 m/s.

Tabla 4-4: Rutas con el menor error relativo.

Número de ruta	Tiempo de recorrido	Error relativo total	Mapa de ruta
[]	[min]	%	
4	2.87	1.32%	
15	3.02	2.11%	

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

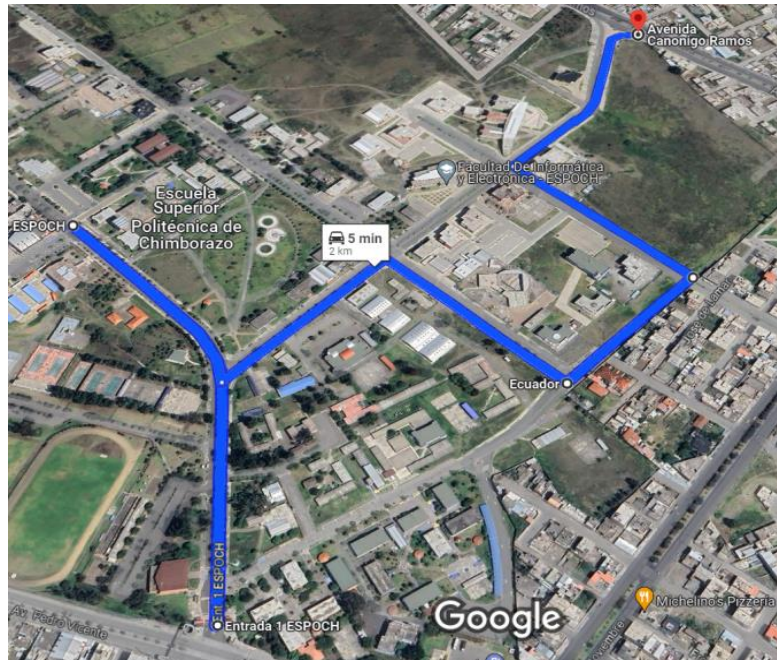


Ilustración 7-4: Ruta representativa de la investigación.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

En la tabla 4-4 se muestra el resultado de las 2 rutas que poseen el menor error relativo total, respecto a la base de datos general, ambas rutas poseen características similares a los parámetros característicos del ciclo de conducción general. El resultado de la fusión de las 2 rutas con menor error relativo se muestra en la ilustración 7-4, obteniendo así la ruta representativa, la cual muestra la circulación vehicular a través de las 3 entradas de la ESPOCH.

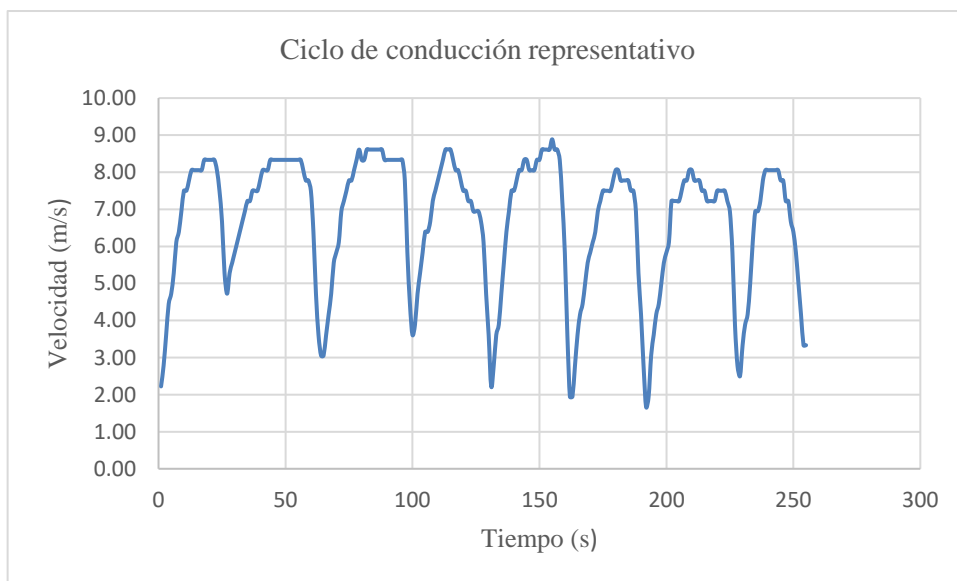


Ilustración 8-4: Ciclo de conducción representativo de la investigación.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

Tabla 5-4: Parámetros característicos del ciclo representativo.

Parámetros característicos del ciclo representativo			
Relación	Tipo de relación	Valor	Unidad
Distancia	Distancia de frenado	0.21	km
	Distancia sin frenar	1.55	km
	Distancia total	1.76	km
Tiempo	Tiempo en relantí	21.00	s
	% tiempo en relantí	8.24	%
	Tiempo del ciclo	4.25	min
Velocidad	Velocidad media	6.73	m/s
	Velocidad máxima	8.89	m/s
Aceleración	Aceleración máxima	1.06	m/s ²
	Aceleración media positiva	0.35	m/s ²
	Aceleración media negativa	-0.39	m/s ²

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

La ilustración 8-4 muestra el resultado del ciclo de conducción representativo obtenido de la ruta representativa de la investigación y mediante el cálculo de los parámetros característicos mostrados en la tabla 5-4, se obtuvo que el vehículo recorre una distancia de 1.76 Km en un tiempo de 4.25 minutos a una velocidad media de 6.73 m/s. Además, se observa que de la distancia total recorrida 0.21 Km lo realiza frenando.

4.2.1 Comparación del ciclo de conducción general y ciclo representativo.

Tabla 6-4: Parámetros característicos del ciclo general y ciclo representativo.

Parámetros característicos			
Ciclo General		Ciclo Representativo	
Distancia promedio de frenado	0.20 Km	Distancia de frenado	0.21 Km
Distancia promedio sin frenar	1.36 Km	Distancia sin frenar	1.55 Km
Distancia promedio del ciclo	1.56 Km	Distancia total	1.76 Km
Tiempo promedio del ciclo	4.01 min	Tiempo del ciclo	4.25 min
Velocidad media	6.52 m/s	Velocidad media	6.73 m/s
Velocidad máxima	13.37 m/s	Velocidad máxima	8.89 m/s
Aceleración media positiva	0.42 m/s ²	Aceleración media positiva	0.35 m/s ²
Aceleración media negativa	-0.49 m/s ²	Aceleración media negativa	-0.39 m/s ²

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

En la tabla 6-4 se muestran los resultados de los parámetros característicos del ciclo general y del ciclo representativo. Los valores de distancia, tiempo, velocidad y aceleración del ciclo representativo varían en un porcentaje bajo con respecto a los valores del ciclo general. La comparación de los resultados de ambos ciclos muestra que la ruta representativa obtenida puede cumplir con el tiempo, la distancia recorrida y la distancia de frenado que un vehículo en promedio realiza al momento de circular en la ESPOCH.

4.3 Resultados de la evaluación del material particulado de las pastillas de freno.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos después de aplicar la metodología descrita para la toma de muestras de material particulado y su evaluación. La recolección de las muestras se lo realizó en la ruta representativa obtenida anteriormente, bajo una conducción controlada y empleando instrumentos de recolección de material particulado e instrumentos de extracción de datos del protocolo de comunicación OBD II del vehículo.

Los resultados de la evaluación de las muestras del material particulado de las pastillas de freno obtenidas de los 2 tipos de vehículos un Hatchback (Chevrolet Spark 2013) y un SUV (Jetour X70 2023), ambos con pastillas de freno semimetálicas y orgánicas, fueron comparadas con los valores establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) y la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH).

Tabla 7-4: Monitoreo de material particulado del sistema de frenado.

Puesto de trabajo	Factor de emisión mg/km			Concentración ug/m ³		
	FE	Incertidumbre	FE	C	Incertidumbre	C
	PM _{medido} (mg/km)	del filtro (mg) ±	PM ₍₁₎ (mg/km)	PM _{medido} (ug/m ³)	de la bomba (ug) ±	PM ₍₁₎ (ug/m ³)
Hatchback Chevrolet Spark Semimetálica	8.8764	0.003	8.8794	1.0930	0.008	1.1011
Hatchback Chevrolet Spark Orgánica	9.7753	0.003	9.7783	1.1648	0.008	1.1728
SUV Jetour X70 Semimetálica	9.2045	0.003	9.2075	1.0711	0.008	1.0791
SUV Jetour X70 Orgánica	10.2299	0.003	10.2329	1.1868	0.008	1.1948

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

4.3.1 Resultado del vehículo tipo Hatchback con pastillas de freno semimetálicas.

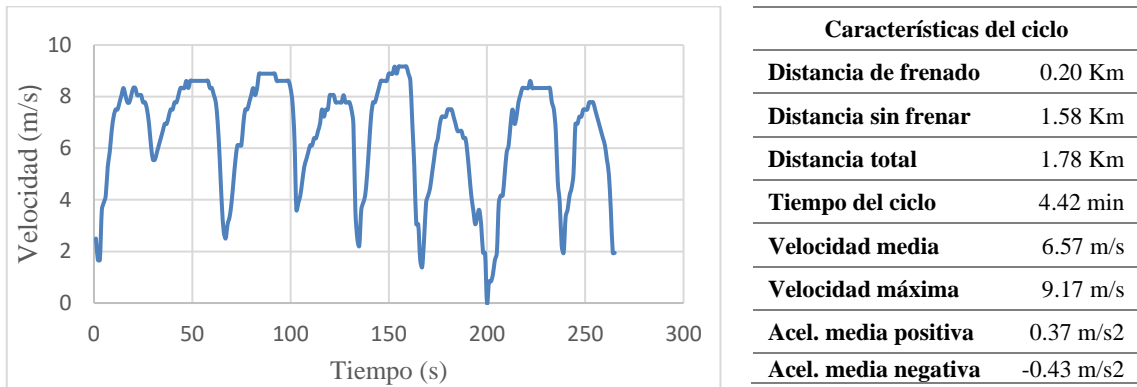


Ilustración 9-4: Ciclo de conducción del muestreo de PM en el vehículo tipo Hatchback con pastillas de freno semimetálicas.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

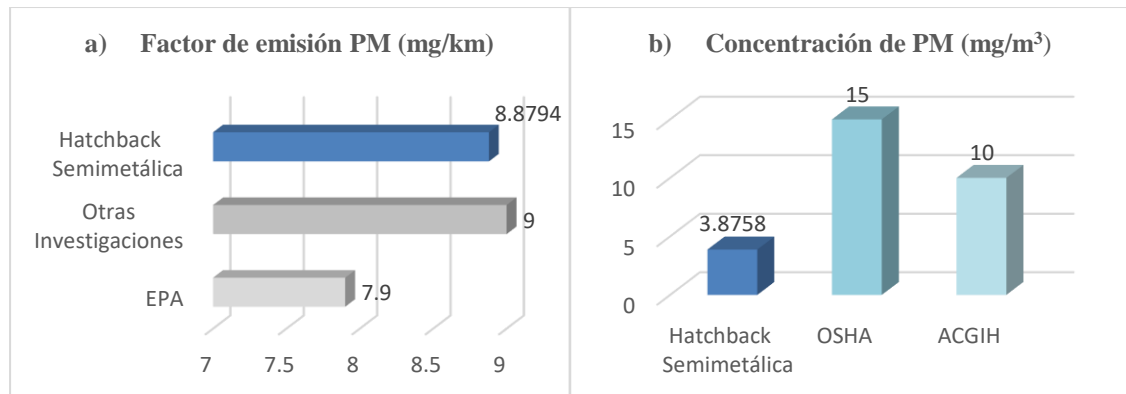


Ilustración 10-4: Factor de emisión (a) y concentración (b) de PM del vehículo tipo Hatchback con pastillas de freno semimetálicas.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

En la ilustración 9-4 se muestra el ciclo de conducción del vehículo tipo hatchback con pastillas de freno semimetálicas. El vehículo recorrió una distancia de 1.78 km, de los cuales 0.20 km fueron realizados mientras se estaba frenando. El tiempo de circulación fue de 4.42 minutos a una velocidad media de 6.57 m/s. El factor de emisión y concentración de material particulado proveniente de las pastillas de freno semimetálicas del vehículo tipo Hatchback se muestra en la ilustración 10-4. Se obtuvo un factor de emisión de 8.8794 mg/km, el cual es superior al límite establecido por la EPA de 7.9 mg/km e inferior al promedio de 9.0 mg/km de otras investigaciones. La concentración de material particulado obtenida fue de 1.1011 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por vehículo, a la ESPOCH ingresan un promedio diario máximo semanal de 3520 vehículos tipo Hatchback, lo que genera una concentración de 3.8758 mg/m^3 , el cual es inferior a lo establecido en los límites permisibles para ACGIH de 10 mg/m^3 como también para la norma OSHA de 15 mg/m^3 .

4.3.2 Resultado del vehículo tipo Hatchback con pastillas de freno orgánicas.

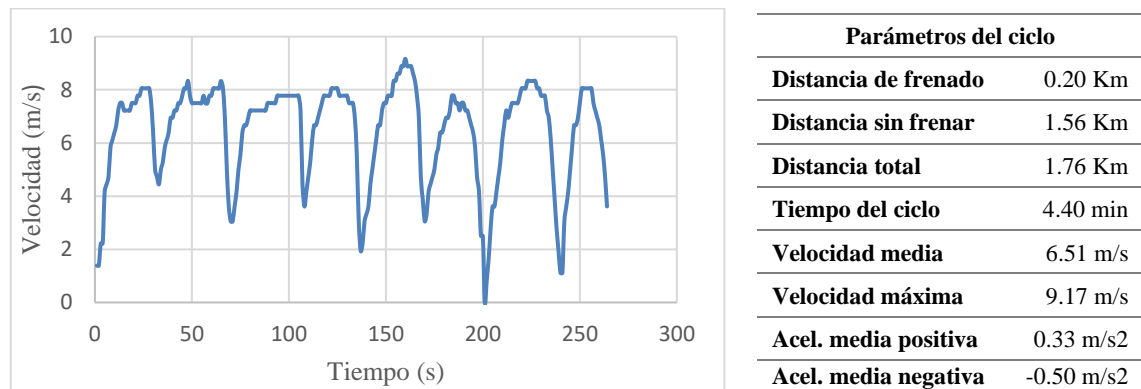


Ilustración 11-4: Ciclo de conducción del muestreo de PM en el vehículo tipo Hatchback con pastillas de freno orgánicas.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

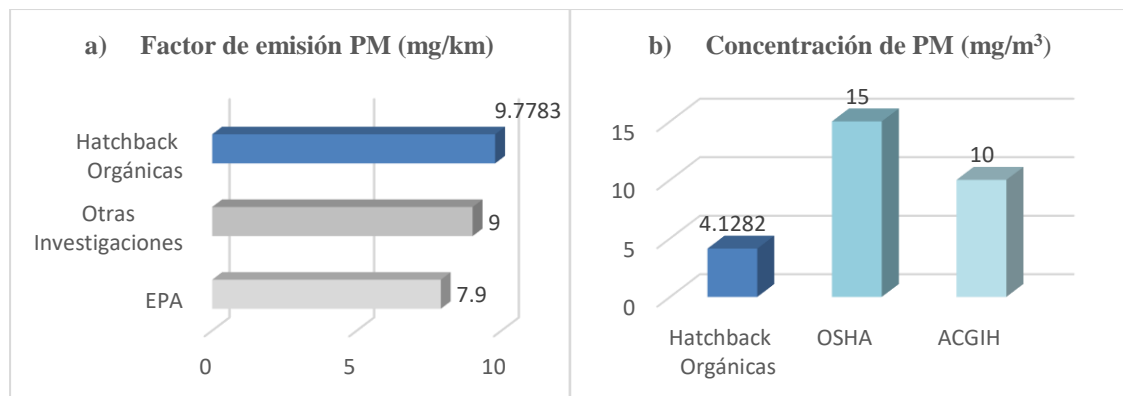
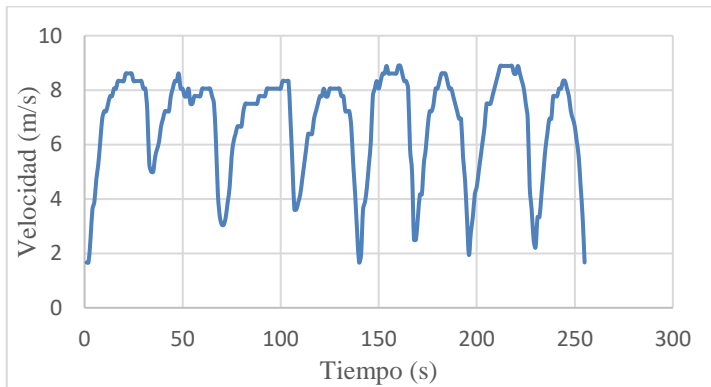


Ilustración 12-4: Factor de emisión (a) y concentración (b) de PM del vehículo tipo Hatchback con pastillas de freno orgánicas.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

En la ilustración 11-4 se muestra el ciclo de conducción del vehículo tipo hatchback con pastillas de freno orgánicas. El vehículo recorrió una distancia de 1.76 km, de los cuales 0.20 km fueron realizados mientras se estaba frenando. El tiempo de circulación fue de 4.40 minutos a una velocidad media de 6.51 m/s. El factor de emisión y concentración de material particulado proveniente de las pastillas de freno orgánicas del vehículo tipo Hatchback se muestra en la ilustración 12-4. Se obtuvo un factor de emisión de 9.7783 mg/km, el cual es superior al límite establecido por la EPA de 7.9 mg/km y al promedio de 9.0 mg/km de otras investigaciones. La concentración de material particulado obtenida fue de 1.1728 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por vehículo, a la ESPOCH ingresan un promedio diario máximo semanal de 3520 vehículos tipo Hatchback, lo que genera una concentración de 4.1282 mg/m^3 , el cual es inferior a lo establecido en los límites permisibles para ACGIH de 10 mg/m^3 como también para la norma OSHA de 15 mg/m^3 .

4.3.3 Resultado del vehículo tipo SUV con pastillas de freno semimetálicas.



Parámetros del ciclo	
Distancia de frenado	0.20 Km
Distancia sin frenar	1.58 Km
Distancia total	1.78 Km
Tiempo del ciclo	4.25 min
Velocidad media	6.79 m/s
Velocidad máxima	8.89 m/s
Acel. media positiva	0.36 m/s ²
Acel. media negativa	-0.45 m/s ²

Ilustración 13-4: Ciclo de conducción del muestreo de PM en el vehículo tipo SUV con pastillas de freno semimetálicas.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

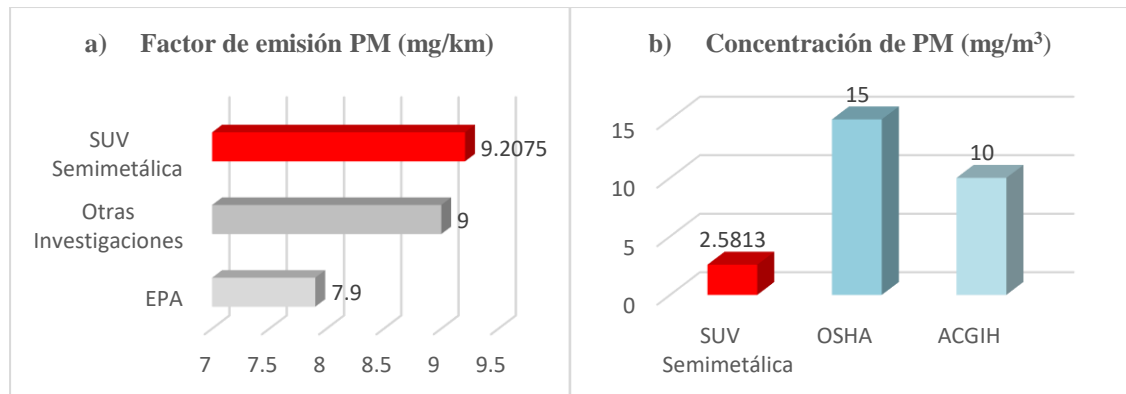


Ilustración 14-4: Factor de emisión (a) y concentración (b) de PM del vehículo tipo SUV con pastillas de freno semimetálicas.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

En la ilustración 13-4 se muestra el ciclo de conducción del vehículo tipo SUV con pastillas de freno semimetálicas. El vehículo recorrió una distancia de 1.78 km, de los cuales 0.20 km fueron realizados mientras se estaba frenando. El tiempo de circulación fue de 4.25 minutos a una velocidad media de 6.79 m/s. El factor de emisión y concentración de material particulado proveniente de las pastillas de freno semimetálicas del vehículo tipo SUV se muestra en la ilustración 14-4. Se obtuvo un factor de emisión de 9.2075 mg/km, el cual es superior al límite establecido por la EPA de 7.9 mg/km y al promedio de 9.0 mg/km de otras investigaciones. La concentración de material particulado obtenida fue de 1.0791 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por vehículo, a la ESPOCH ingresan un promedio diario máximo semanal de 2392 vehículos tipo SUV, lo que genera una concentración de 2.5813 mg/m^3 , el cual es inferior a lo establecido en los límites permisibles para ACGIH de 10 mg/m^3 como también para la norma OSHA de 15 mg/m^3 .

4.3.4 Resultado del vehículo tipo SUV con pastillas de freno orgánicas.

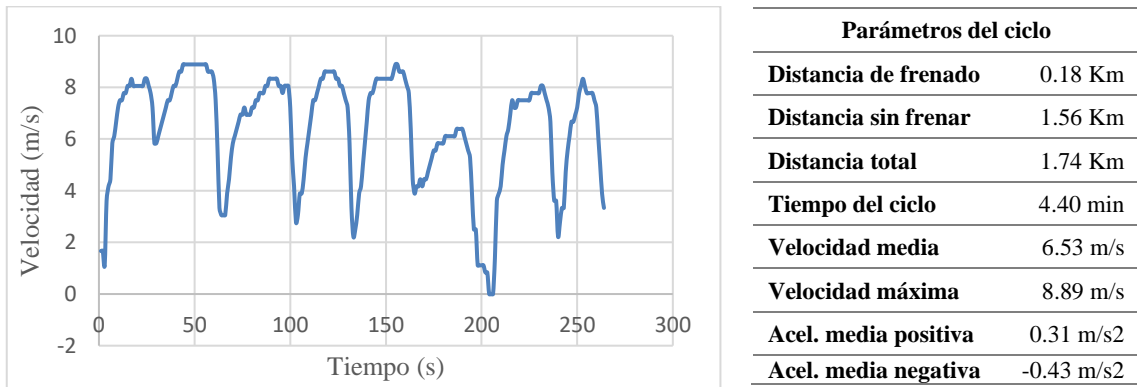


Ilustración 15-4: Ciclo de conducción del muestreo de PM en el vehículo tipo SUV con pastillas de freno orgánicas.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

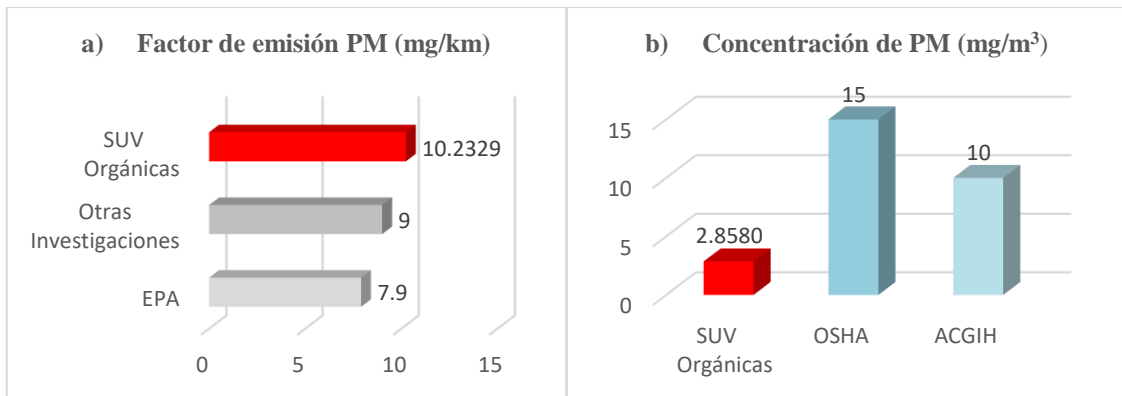


Ilustración 16-4: Factor de emisión (a) y concentración (b) de PM del vehículo tipo SUV con pastillas de freno orgánicas.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

En la ilustración 15-4 se muestra el ciclo de conducción del vehículo tipo SUV con pastillas de freno orgánicas. El vehículo recorrió una distancia de 1.74 km, de los cuales 0.18 km fueron realizados mientras se estaba frenando. El tiempo de circulación fue de 4.40 minutos a una velocidad media de 6.53 m/s. El factor de emisión y concentración de material particulado proveniente de las pastillas de freno orgánicas del vehículo tipo SUV se muestra en la ilustración 16-4. Se obtuvo un factor de emisión de 10.2329 mg/km, el cual es superior al límite establecido por la EPA de 7.9 mg/km y al promedio de 9.0 mg/km de otras investigaciones. La concentración de material particulado obtenida fue de 1.1948 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por vehículo, a la ESPOCH ingresan un promedio diario máximo semanal de 2392 vehículos tipo SUV, lo que genera una concentración de 2.8580 mg/m^3 , el cual es inferior a lo establecido en los límites permisibles para ACGIH de 10 mg/m^3 como también para la norma OSHA de 15 mg/m^3 .

4.3.5 Análisis comparativo del factor de emisión de pastillas de freno.

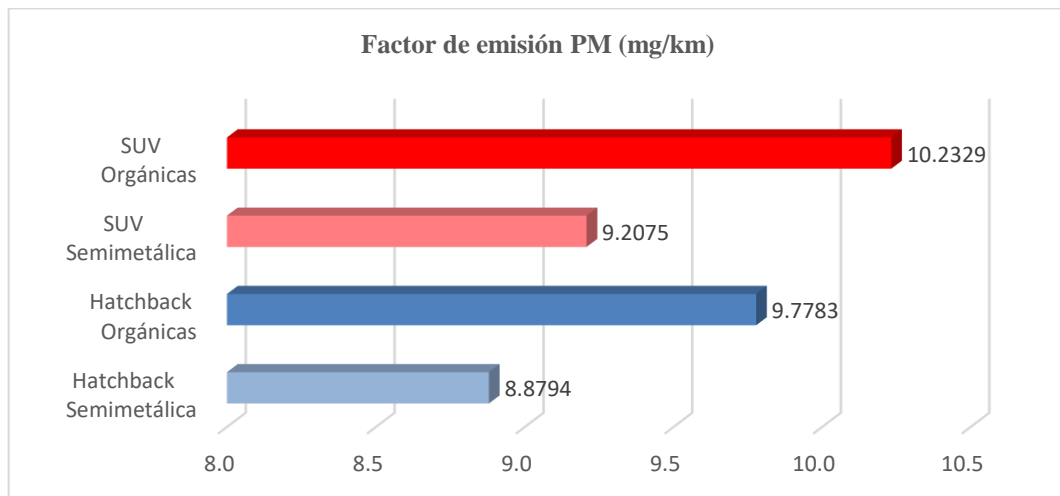


Ilustración 17-4: Factor de emisión de material particulado de pastillas de freno semimetálicas y orgánicas en vehículos tipo Hatchback y SUV.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

El factor de emisión de material particulado indica la cantidad de partículas emitidas por la pastilla de freno durante una unidad de distancia recorrida por el vehículo. En la ilustración 17-4 se muestran los factores de emisión obtenidos en la investigación de los dos tipos de pastillas de freno en los dos tipos de vehículos.

El vehículo tipo SUV con pastillas de freno orgánicas generó 10.2329 mg de material particulado por cada kilómetro recorrido, y con pastillas de freno semimetálicas generó 9.2075 mg de material particulado por kilómetro recorrido. Mientras que el vehículo tipo Hatchback con pastillas de freno orgánicas generó 9.7783 mg de material particulado por cada kilómetro recorrido, y con pastillas de freno semimetálicas generó 8.8794 mg de material particulado por kilómetro recorrido.

El factor de emisión de material particulado de las pastillas de freno del tipo orgánicas tiende a ser más alto que el de las pastillas de freno del tipo semimetálicas. Esto se debe a que las pastillas orgánicas generalmente contienen materiales como resinas, fibras y polímeros que, al desgastarse durante la frenada, pueden liberar una mayor cantidad de partículas en comparación con las pastillas semimetálicas, que incluyen metales como cobre, hierro y acero en su composición y tienden a generar menos material particulado.

4.3.6 Análisis comparativo de la concentración de material particulado de pastillas de frenos.

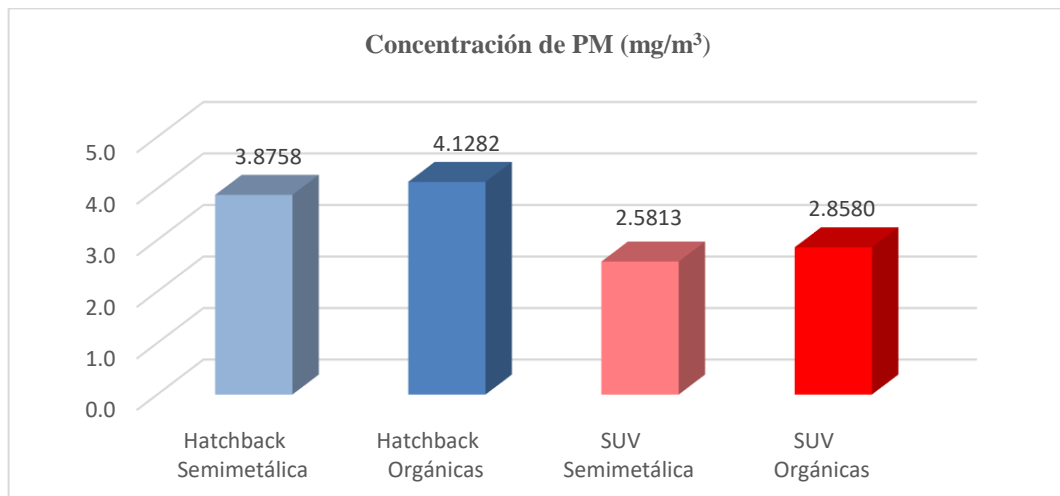


Ilustración 18-4: Concentración de material particulado de pastillas de freno semimetálicas y orgánicas en vehículos tipo Hatchback y SUV.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

La concentración de material particulado de las pastillas de frenos es la cantidad de partículas suspendidas en el aire, resultado de la fricción entre el disco y la pastilla de freno del vehículo, típicamente medido en unidades de masa por volumen de aire. En la ilustración 18-4 se muestra la concentración de material particulado de las pastillas de freno semimetálicas y orgánicas en vehículos tipo Hatchback y SUVs.

Se determinó que el promedio diario máximo semanal del tránsito vehicular en la ESPOCH es de 5937 vehículos, también se determinó que del total de vehículos que ingresan el 59.3% son vehículos tipos sedan y hatchback, y el 40.3% son vehículos tipo camionetas y SUVs. Teniendo en consideración estos datos. El 59.3% correspondiente a 3520 vehículos tipo Hatchback con pastillas de freno semimetálicas generarían una concentración promedio de material particulado de pastillas de freno de 3.8758 mg/m³, y con pastillas de freno orgánicas generaría una concentración promedio de material particulado de 4.1282 mg/m³. El 40.3% correspondiente a 2392 vehículos tipo SUVs con pastillas de freno semimetálicas generarían una concentración promedio de material particulado de pastillas de freno de 2.5813 mg/m³, y con pastillas de freno orgánicas generarían una concentración promedio de material particulado de 2.8580 mg/m³.

La concentración de material particulado de pastillas de freno que generaría en promedio los dos tipos de vehículos con pastillas de freno semimetálicas sería de aproximadamente 6.4571 mg/m³ y con pastillas de freno orgánicas, generaría aproximadamente 6.9862 mg/m³.

4.4 Afecciones que provoca en la salud la exposición al material particulado proveniente de las pastillas de freno.

El material particulado producto de la fricción de las pastillas de freno, se conforman de una amalgama de ingredientes agrupados en cuatro categorías: abrasivos, fibras de refuerzo, lubricantes y rellenos, estas partículas suelen ser ricas en metales como Fe, Cu, Mn, Ni, Pb y Sb, que pueden incrementar la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), contribuyendo a una mayor probabilidad de sufrir infecciones e inflamaciones en las vías respiratorias, disminuyendo la capacidad de las células inmunes para eliminar bacterias y otros efectos negativos en la salud de las personas (PHYS, 2020).

En el estudio realizado por (SELLEY, y otros, 2020) titulado “Brake dust exposure exacerbates inflammation and transiently compromises phagocytosis in macrophages” compararon la toxicidad del polvo de abrasión de los frenos (BAD) y las partículas de escape diésel (DEP), en un modelo celular relevante para las vías respiratorias. La muestra de polvo de los frenos lo obtuvieron de una fábrica donde realizan pruebas de pastillas de freno en vehículos utilizados para la conducción urbana y para la muestra de partículas de escape diésel, ocuparon como referencia el SRM-2975 DEPs (Estándar Reference Material 2975 Diesel Particulate Matter Extract), que consiste en un extracto de material particulado diésel obtenido a partir de un filtro de escape de un motor diésel.

En la ilustración 19-4 se muestra las concentraciones de metales y metaloides mediante el análisis ICP-MS (Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente) aplicado en las muestras BAD y DEP.

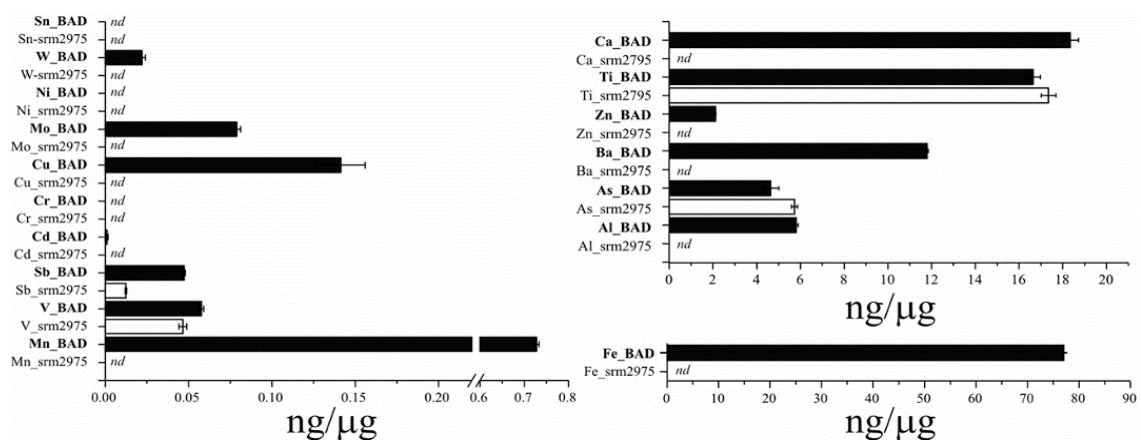


Ilustración 19-4: Concentraciones de metales y metaloides de las muestras BAD y DEP mediante el análisis ICP-MS.

Fuente: (SELLEY, y otros, 2020).

Cuando los macrófagos, células inmunitarias responsables de eliminar bacterias, son expuestos a partículas de escape diésel y polvo de frenos en cultivos de laboratorio, su capacidad para absorber y eliminar bacterias disminuye. Además, estas exposiciones provocan que los macrófagos generen moléculas que aumentan la inflamación. La doctora Liza Selley quien llevo a cabo la investigación en el Centro MRC para el Medio Ambiente y la Salud del King's College de Londres dijo:

La exposición a humos de diésel y polvo de frenos puede ser perjudicial en términos de toxicidad para los macrófagos, las células responsables de proteger los pulmones contra los microbios y de regular la inflamación. Cuando los macrófagos están expuestos al polvo de los frenos, su capacidad para absorber bacterias se ve comprometida, lo que podría aumentar el riesgo de contraer resfriados e infecciones graves como la neumonía o la bronquitis. Este riesgo se ve agravado por la interferencia con las funciones protectoras normales de los macrófagos debido a la exposición al polvo de frenos y humos de diésel. (SELLEY, y otros, 2020).

Según (FUSSELL, y otros, 2022), en su publicación titulada “Road Traffic-Derived Non-Exhaust Particles” menciona que el primer estudio de toxicidad del desgaste de frenos fue realizado por Michael Gasser. En su investigación Gasser utilizó polvo de freno recién generado y una línea celular epitelial alveolar A549 comúnmente utilizada en investigaciones biológicas y médicas. Gasser examino una serie de comportamientos de conducción y frenado descritos en la tabla 8-4, observando un aumento de masa en las partículas y un aumento en el contenido de metales como Fe, Cu y Mn mostrados en la ilustración 20-4.

Tabla 8-4: Comportamientos de frenado utilizados en el estudio realizado por Gasser.

Desaceleración normal	En 3ra marcha, dos minutos a 2000 RPM constantes fueron seguidos por una fase de desaceleración de diez segundos hasta 1750 RPM. La posición del pedal del acelerador se mantuvo sin cambios durante la fase de desaceleración. Se realizaron 8 repeticiones en 16 minutos.
Parada completa	En 3ra marcha después de dos minutos a 3000 RPM constantes, se realizó una parada completa con la posición del acelerador sin cambios hasta que el motor se apague. Se realizaron 4 y 8 repeticiones de 8 y 16 minutos respectivamente.
Marcha sin parar	En 3ra marcha a 2000 RPM con una velocidad estable durante todo el ciclo de medición de 16 minutos.

Fuente: (FUSSELL, y otros, 2022).

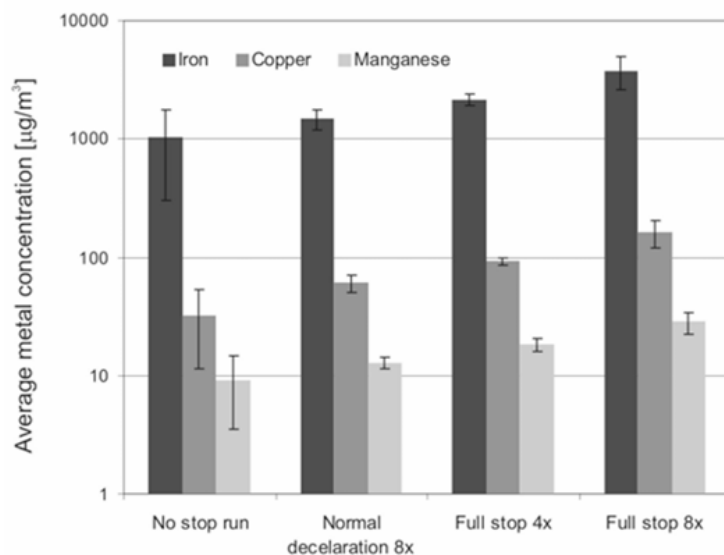


Ilustración 20-4: Concentraciones de metales durante los comportamientos de conducción utilizados en el estudio de Gasser.

Fuente: (FUSSELL, y otros, 2022).

El aumento de masa y el aumento de contenido de metales en las partículas de freno ocasionaron los siguientes cambios en la línea celular epitelial alveolar A549.

1. **Reducción en la tensión de la capa celular:** Los cambios causaron una disminución en la fuerza y rigidez de la capa celular, afectando la función celular en aspectos de adhesión, migración y respuesta a señales externas.
2. **Aumento del estrés oxidativo:** El aumento del estrés oxidativo implica un desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno y la capacidad de las células para neutralizarlas, provocando daño celular y desencadenando respuestas inflamatorias.
3. **Mayor liberación de interleucina-8:** Esta proteína proinflamatoria desempeña un papel crucial en la respuesta inflamatoria del cuerpo, por lo que su mayor liberación indica un aumento en la respuesta inflamatoria en las células afectadas.

Los cambios que las células experimentan al aumento y contenido de las partículas pueden tener implicaciones importantes para la salud celular y, en última instancia, para la salud del organismo en general (FUSSELL, y otros, 2022).

4.5 Comprobación de la hipótesis.

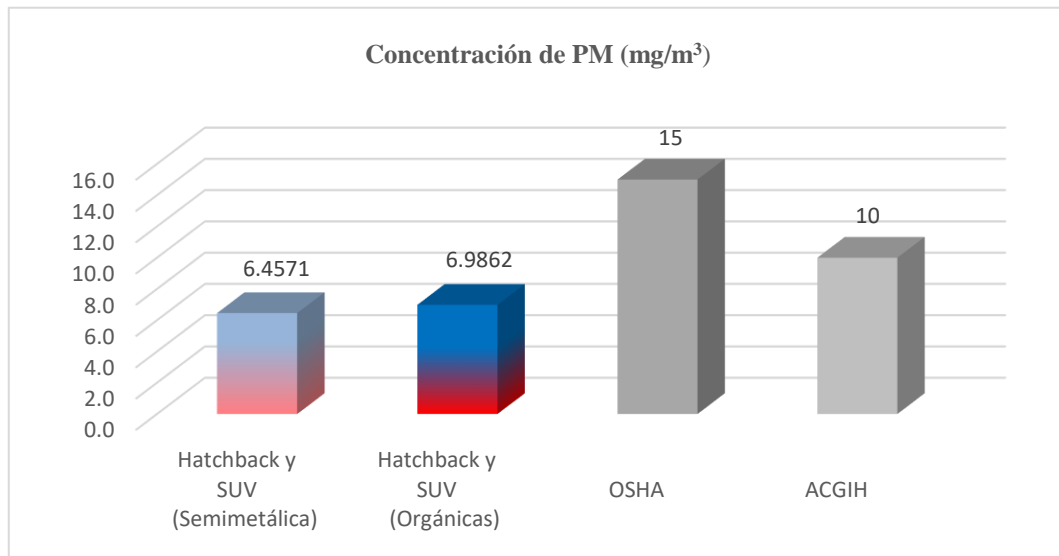


Ilustración 21-4: Evaluación de la concentración de material particulado de pastillas de freno semimetálicas y orgánicas del tránsito vehicular de la ESPOCH.

Realizado por: (MARTÍNEZ HIDALGO, 2024).

La evaluación de la concentración de material particulado de pastillas de freno respalda la aceptación de la Hipótesis nula propuesta en la investigación.

“H0: La presencia de material particulado proveniente de las pastillas de freno de los vehículos no afecta en la salud de la comunidad de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.”

La concentración de material particulado proveniente de las pastillas de freno, del tránsito promedio diario semanal máximo vehicular de la ESPOCH, utilizando los tipos de pastillas catalogadas como las que contaminan más, no supera los límites de exposición establecidos por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) y por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH), organizaciones que establecen límites de exposición para diversos agentes químicos y físicos en el ambiente, lo que indica que se encuentra en el rango de aceptar que no existe una contaminación que pueda generar enfermedades significativas en las personas.

CONCLUSIONES

Se elaboró la revisión bibliográfica pertinente para respaldar el progreso de la presente investigación, en donde se revisaron artículos científicos y trabajos de investigación, centrándose en temas referentes a la emisión de material particulado proveniente de pastillas de freno en vehículos en carretera y en pistas de simulaciones de conducción urbana.

Se determinó que el promedio diario de vehículos que ingresan a la ESPOCH es de 5844 vehículos, y el promedio diario semanal con un nivel de confiabilidad del 90% fluctúa entre un máximo de 5937 vehículos y un mínimo de 5751 vehículos. Además, el análisis del parque vehicular revela que, de los vehículos que ingresan a la ESPOCH, el 59.3% son vehículos tipo Sedan y Hatchbacks, el 40.3% son vehículos tipo Camionetas y SUVs, y por último el 0.4% son vehículos tipo camiones.

Se determinó una ruta representativa, cuyo ciclo de conducción posee los parámetros característicos que un vehículo en promedio cumple al momento de ingresar y salir de la ESPOCH, la ruta obtenida de dos rutas con menor error relativo tiene la distancia de 1.76 Km. Las características del ciclo de conducción en la ruta obtenida indican que un vehículo recorre la distancia de 1.76 Km en 4.25 minutos, a una velocidad media de 24.22 km/h, de los cuales 0.21 Km lo realiza en fase de frenando.

Se obtuvo las muestras de material particulado que generaron las pastillas de freno orgánicas y semimetálicas en 2 tipos de vehículos, uno tipo Hatchback (Chevrolet Spark 2013) y uno tipo SUV (Jetour X70 2023). En su evaluación se concluyó que en los dos tipos de vehículos, las pastillas de freno orgánicas y semimetálicas tienen un factor de emisión superior al establecido por la EPA de 7.9 mg/km, en lo que respecta a la concentración de material particulado se concluyó que el vehículo tipo Hatchback tiende a generar mayor concentración de material particulado, debido a su mayor concurrencia en la ESPOCH, generando una concentración de 4.1282 mg/m³ con pastillas de freno orgánicas y 3.8758 mg/m³ con pastillas de freno semimetálicas, mientras que el vehículo tipo SUV genera una concentración de 2.8580 mg/m³ con pastillas de freno orgánicas y 2.5813 mg/m³ con pastillas de freno semimetálicas. Además, en la evaluación se determinó que el tránsito promedio diario semanal de vehículos con pastillas de freno semimetálicas generarían una concentración de 6.4571 mg/m³ y 6.9862 mg/m³ con pastillas de freno orgánicas, concluyendo que la calidad del aire no se ve afectada significativamente por el material particulado de las pastillas de freno, ya que la concentración no supera los límites establecidos por la OSHA y ACGIH.

Se investigo en artículos y revistas científicas las afecciones que provoca la exposición al material particulado de las pastillas de freno en la salud humana, los estudios realizados en organismos vivos revelan que los macrófagos reducen la capacidad para eliminar bacterias, produciendo inflamaciones en las vías respiratorias y aumentando el riesgo de contraer resfriados e infecciones como la neumonía y bronquitis.

RECOMENDACIONES

Se recomienda buscar información bibliográfica en artículos o trabajos de investigación de renombre internacional, dado que, a nivel nacional, los estudios realizados referentes a la emisión de material particulado provenientes de pastillas de freno de vehículos se han llevado a cabo principalmente en bancos de pruebas y no en condiciones reales de conducción.

En el proceso del conteo vehicular, se recomienda tener en cuenta cualquier evento especial que pudiera incidir en el tráfico vehicular, como ferias, competencias deportivas u otras actividades que puedan tener un impacto significativo en la afluencia de vehículos dentro de la ESPOCH. Por lo tanto, al planificar y llevar a cabo el conteo vehicular, es esencial tener en cuenta estos factores externos para obtener datos representativos que puedan respaldar la investigación.

Se recomienda conocer el protocolo de comunicación de los vehículos en los que se va a recolectar los datos mediante el uso del conector ELM 327, ya que existen modelos de vehículos que no permiten la conexión entre el conector y el protocolo de comunicación OBD del vehículo. Adicionalmente, se debe tener presente la configuración del software Torque Pro para la extracción de los PID's necesarios para la investigación.

En el proceso de toma de muestras de material particulado, se recomienda utilizar equipos debidamente calibrados y certificados, esto garantizará que el equipo tenga mediciones más precisas y confiables, Adicionalmente, se debe tener en consideración el factor clima a la hora de tomar las muestras, puesto que puede afectar significativamente los resultados de la evaluación de material particulado.

Habiendo finalizado con la investigación se recomienda que las autoridades gubernamentales de Ecuador establezcan los valores límites para el factor de emisión y la concentración de material particulado de las pastillas de freno. Al establecer estos valores límites respaldados por entes reguladores del país, se garantizará su cumplimiento y se promoverá una industria automotriz más sostenible y consciente con el medio ambiente en el Ecuador.

GLOSARIO

Abrasión: Desgaste o deterioro de una superficie debido al roce o fricción continua con otro material.

Partículas: Unidades físicas minúsculas que constituyen la materia y pueden ser átomos, moléculas o partículas subatómicas.

Material particulado: Partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, que pueden variar en tamaño y composición y representan una forma común de contaminación atmosférica.

Muestreo: Proceso de recoger y analizar muestras de partículas suspendidas en el aire para evaluar su concentración

Geopolímeros: Materiales inorgánicos con propiedades similares a los polímeros, creados a partir de la reacción química entre materiales silíceos y aluminosos con soluciones alcalinas.

Adhesivo: Material que tiene la propiedad de adherirse.

Nanométricas: Unidad de longitud equivalente a una milmillonésima parte de un metro."

Antropogénico: Fenómeno o proceso que es causado por la actividad humana.

Gravimétrico: Método de análisis que se basa en la medición de la gravedad o en la determinación de masas.

Aglutinante: Componente que une los materiales de fricción y proporciona cohesión estructural en aplicaciones de frenado.

Higroscópico: Material que tiene la capacidad de absorber humedad del ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ARTEAGA RAMÓN, Jonathan & HEREDIA PAGUAY, Darwin.** Análisis comparativo de la incidencia de materiales de las pastillas de freno en la eficiencia del frenado en un vehículo. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2022. [Consulta: 2023-12-02]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/17995>
2. **AIRQUALITY.** *Material particulado del aire - Origen y clasificación.* [blog]. Madrid-España. 2022. [Consulta: 2023-09-24]. Disponible en: <https://www.airqualityproscan.com/blog/materialparticulado2>
3. **ÁLVAREZ MEJIA, Dayana & NARVÁEZ SIMBAÑA, Pablo.** Análisis del desgaste por abrasión del material de las pastillas de freno de vehículos disponibles en el mercado local mediante ensayos basados en la norma técnica Astm G-65 para determinar su nivel de desgaste. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador. 2020. [Consulta: 2023-12-15]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10221>
4. **ANGEREA.** *La contaminación por el polvo de los frenos tan perjudicial para la salud como el diésel.* [blog]. Madrid-España. 2020. [Consulta: 2023-10-11]. Disponible en: <https://www.angerea.org/la-contaminacion-por-el-polvo-de-los-frenos-tan-perjudicial-para-la-salud-como-el-diesel/>
5. **ANGUIANO MIRANDA, Janis.** Análisis de las Concentraciones de Material Particulado Menor a 10 Micras (PM10) a Partir de los Datos de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca-México. 2018. [Consulta: 2023-10-11]. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/94820/UAEM-FaPUR-TESIS-Janis%20Yolotzin%20Anguiano%20Miranda.pdf?sequence=1>
6. **BONILLA GRANADOS, Carlos; et al.** "Niveles de concentración por PM2.5 mediante sensores de bajo costo. Caso de estudio: Pamplona, Colombia.". *Revista UIS Ingenierías* [En línea], 2023, (Colombia), vol. 22 (3). [Consulta: 2023-10-12]. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/13854>

7. **CABRERA AVILA, Edwin & CARPIO VARGAS, Carlos.** Análisis de la opacidad del parque automotor diésel mediante una comparación con las redes de monitoreo de la calidad del aire en el centro histórico del cantón Cuenca. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador. 2019. [Consulta: 2023-10-11]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17786>
8. **CALDERÓN COBAGANGO, Edison.** Estudio de los niveles de opacidad en vehículos diésel en la ciudad de Ibarra. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador. 2023. [Consulta: 2023-10-11]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14244>
9. **CANTUÑA ESCALANTE, Katherine & SATIÁN GUAMÁN, Daniela.** Análisis de rendimiento de la tecnología LoRaWAN aplicado al desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad de aire en la Unidad Educativa Santo Tomás Apóstol Riobamba. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2019. [Consulta: 2023-10-12]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/11026>
10. **CARRASCO GARCÍA, Karen.** Determinación de la concentración de material particulado sedimentable en el Parque Industrial de la Ciudad de Riobamba. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2021. [Consulta: 2023-10-12]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8352>
11. **CEVALLOS BONILLLA, Jennyfer.** Concentración de material particulado sedimentable para determinar el grado de contaminación de aire en la ciudad de Ambato. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2018. [Consulta: 2023-10-12]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4563>
12. **EQUILAB.** Equipamiento Instrumentación Industrias y Laboratorios. [En línea]. 2021. [Consulta: 2024-02-07]. Disponible en: <https://www.equinlabsac.com/content/balanza-anal%C3%ADtica-radwag-220r2>
13. **FRANCO PINEDA, Daniel.** Análisis y caracterización del material particulado PM10 y PM2.5 en la ciudad de Manizales. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad

Nacional de Colombia. Manizales-Colombia. 2020. [Consulta: 2023-10-12]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79214>

14. **FUSSELL, Julia; et al.** "A Review of Road Traffic-Derived Non-Exhaust Particles: Emissions, Physicochemical Characteristics, Health Risks, and Mitigation Measures". *Environmental Science & Technology*. [En línea], 2022, vol. 56 (11), págs. 6813-6835. [Consulta: 2024-02-06]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01072>
15. **GOMES NOGUEIRA, Ana.** Particulate Matter Emission Issues in Brake Systems. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad de Trento. Trento-Italia. 2022. [Consulta: 2023-10-20]. Disponible en: <https://iris.unitn.it/handle/11572/348039>
16. **MARTÍN CRUZ, Yumara.** Estudio de la aportación de fuentes naturales y antropogénicas del material particulado atmosférico y su influencia en el fitoplancton marino. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria. 2021. [Consulta: 2023-10-12]. Disponible en: <https://acedacris.ulpgc.es/handle/10553/111105>
17. **MARTÍNEZ PILAMUNGA, Alex & TOASA TOAPANTA, William.** Análisis tribológico comparativo de pastillas de freno con fibras de vidrio y cabuya como materiales reemplazantes al amianto. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2019. [Consulta: 2023-10-12]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13469>
18. **MARTINS, Nuno; et al.** "Impact of PM2.5 in indoor urban environments: A review". *Sustainable Cities and Society*. [En línea], 2018, vol. 42, págs. 259-275. [Consulta: 2023-10-12]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.07.011>
19. **MEJÍA, Luz Adriana, PIEDRAHITA, Carlos Alberto & MONROY, Mauricio.** "Pasado y presente en el diagnóstico de los motores en los talleres de servicio automotor. Del vacuómetro a los sistemas basados en la nube." *Informador Técnico*. [En línea], 2021, (Colombia) vol. 85 (1), págs. 107-125. [Consulta: 2023-10-12]. ISSN 2256-5035. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/7868816.pdf>
20. **MILLÁN MARTÍNEZ, Maria.** Contribución de fuentes de material particulado atmosférico en zonas industriales complejas. [En línea]. Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad de

Huelva. Huelva-España. 2022. [Consulta: 2023-10-12]. Disponible en: https://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/21938/Contribucion_de_fuentes_de_material.pdf?sequence=2

21. **MOYOLEMA, Guillermo.** Evaluación de la concentración de material particulado en el área de ensacado de harina en la empresa industrias cathedral S.A. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. 2023. [Consulta: 2024-01-10]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/38487/1/t2282id.pdf>
22. **MOZAS MARTÍNEZ, Antonio.** *La contaminación por el polvo de los frenos.* [En línea]. España: Asepa, 2020. [Consulta: 2023-10-12]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/la-contaminaci%C3%B3n-por-el-polvo-de-los-frenos-antonio-mozas-mart%C3%ADnez>
23. **OMS.** Contaminación del aire ambiente (exterior). [En línea]. OMS, 2018. [Consulta: 2023-10-11]. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
24. **OROUMIYEH, Farzan & ZHU, Yifang.** "Brake and tire particles measured from on-road vehicles: Effects of vehicle mass and braking intensity". *Atmospheric Environment X.* [En línea], 2021, (United State of America), vol. 12. [Consulta: 2023-10-12]. ISSN 2590-1621. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2021.100121>
25. **PHYS.** *La contaminación del aire por polvo de frenos puede tener los mismos efectos nocivos en las células inmunitarias que los gases de escape de los motores diésel.* [En línea]. PHYS.ORG, 2020. [Consulta: 2024-02-09]. Disponible en: <https://phys.org/news/2020-01-air-pollution-effects-immune-cells.html#:~:text=Metal%20particles%20from%20the%20abrasion%20of%20brake%20pads%20E2%80%94up,found%2C%20similarly%20to%20particles%20derived%20from%20diesel%20exhaust.>
26. **PUENTE CAMACHO, Carlos.** Estudio del comportamiento térmico mediante un sensor infrarrojo en un sistema de frenos hiperventilados con la implementación de diferentes pastillas de freno. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2021. [Consulta: 2023-10-11]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16013>

27. **RAMOS FRANCO, Míriam.** Material particulado (pm10) en el Área metropolitana de Guadalajara: evaluación de riesgo A la salud en niños durante el Periodo 2011-2018. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Chiapas-México. 2021. [Consulta: 2023-10-11]. Disponible en: <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/2376>
28. **RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, David.** Composición iónica del material particulado atmosférico. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de Coruña. Coruña-España. 2019. [Consulta: 2023-10-11]. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/24487>
29. **SELLEY, Liza; et al.** "Brake dust exposure exacerbates inflammation and transiently compromises phagocytosis in macrophages". *Metallomics*. [En línea], 2020. vol. 12 (3), págs. 371-386. [Consulta: 2024-02-10]. ISSN 1756-5901. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1039/c9mt00253g>
30. **SUTARLIE, Laura; et al.** "Sensors and Analytical Technologies for Air Quality: Particulate Matters and Bioaerosols". *Chemistry – An Asian Journal*. [En línea], 2020. vol. 15 (24), págs. 4241-4255. [Consulta: 2023-10-11]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/asia.202001051>
31. **UGENIO YEPEZ, Norma.** Monitoreo de la calidad del aire para los parámetros COx y CO2 en la zona sur de la parroquia de Calpi Cantón Riobamba. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2021. [Consulta: 2023-10-11]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16992>
32. **URRUTIA LLERENA, Braulio.** Estimación de la concentración de material particulado sedimentable en el centro historico de la Ciudad de Riobamba. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2021. [Consulta: 2023-10-13]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8492>
33. **VALDERRAMA DONOSO, Vanessa.** Definición y modelamiento de zonas de riesgo de material particulado en el sector El Palomar, Copiapó. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Geóloga). Universidad de Atacama. Copiapó-Chile. 2022. [Consulta: 2023-10-13]. Disponible en:

<https://repositorioacademico.uda.cl/bitstream/handle/20.500.12740/16652/Bib%2029.752.pdf?sequence=1>

34. **WAHLSTRÖM, Jens; et al.** "Airborne Wear Particles Emissions from Commercial Disc Brake Materials – Passenger Car Field Test". *Diva-portal*. [En línea], 2008. págs. 1-29. [Consulta: 2023-10-11]. ISSN 1400-1179 Disponible en: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:432799>

35. **ZUM HAGEN, Ferdinand; et al.** "Mediciones de las emisiones de partículas de desgaste de los frenos en vehículos de carretera". *Atmospheric Environment*. [En línea], 2019. vol. 217. [Consulta: 2023-10-11]. ISSN 1352-2310 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116943>

ANEXO B: CÁMARA DE INGRESO AVENIDA MALDONADO.



ANEXO C: CÁMARA DE INGRESO AVENIDA MILTON REYES.



ANEXO D: CÁMARA DE INGRESO AVENIDA CANÓNIGO RAMOS.



ANEXO E: CONEXIÓN DEL DISPOSITIVO ELM327 EN EL PUERTO OBD-II DEL VEHÍCULO.



ANEXO F: DESECADO DE LOS FILTROS PVC DE 5 MICRAS, MEMBRANAS DE CELULOSA Y CASETES SC-300.



ANEXO G: CALIBRACIÓN DE LA BOMBA DE MUESTREO A UN CAUDAL CONSTANTE DE 2L/MIN.



ANEXO H: INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE MUESTREO MARCA CRIFFER MODELO ACCURA 3 PLUS EN EL VEHÍCULO DE PRUEBA.



ANEXO I: PESAJE DEL CONJUNTO CASETE/FILTRO EN LA BALANZA ANALÍTICA AS220.R2 PLUS.



ANEXO J: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE LA BOMBA GRAVIMÉTRICA.



Certificado de Calibración

Número del certificado: CRV3966/2023

Fecha de la calibración: 11/03/2023
Fecha de emisión del certificado: 11/03/2023

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre: BIOENERGY ENVIRONMENT & CONSULTING
Dirección: QUITO FRANCISCO AGUIRRE N32-99 Y R - QUITO, QUITO - ECUADOR

IDENTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO CALIBRADO:

Instrumento: Bomba de Muestreo
Fabricante: Criffer

Modelo: Accure 3 Plus
Número de serie: 22000060

PROCEDIMIENTO(S) DE CALIBRACIÓN: PC VAZ01 - Revisión: 01

MÉTODO(S): Comparación directa con el estándar de referencia.

ESTÁNDAR(ES) UTILIZADO(S):

- Mesalabs - Defender 320-M - Certificado de calibración n° 1283
- Testo - Testo 622 - Certificado de calibración n° T0648
- Cassio - Stopwatch H3-3 - Certificado de calibración n° F0609.

CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura: 23,0 °C ± 3,0 °C
Humedad Relativa: 70 % ± 25 %
Presión Atmosférica: 101,32 kPa ± 10 %

NOTAS:

- Los resultados de la calibración están contenidos en tablas adjuntas, que relacionan los valores indicados por el instrumento en prueba, con valores obtenidos a través de la comparación con los patrones e incertidumbre estimadas de la medición (IM).
- La incertidumbre ampliada de medición se declara como la incertidumbre combinada, multiplicada por el factor de cobertura "k", corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente el 95%, según la distribución de probabilidad t-Student, con grados de libertades efectivos (Veff).
- La incertidumbre estándar de calibración se determinó de acuerdo con la "guía para la expresión de incertidumbre de medición".
- Esta calibración no sustituye ni exige los cuidados mínimos del control metroológico.
- Este certificado se refiere exclusivamente al elemento calibrado y no se extiende a ningún lote.
- El certificado no debe ser reproducirse total o parcialmente sin autorización previa.
- Calibración realizada en las instalaciones de CrifferLab, ubicadas en la avenida Theodomiro Porto de Fonseca, 3101, Unidad 6, sala 203, Barrio: Cristo Rei, Ciudad: São Leopoldo - RS, con estándares calibrados en laboratorios acreditados a la coordinación general de acreditación del INMETRO.
- El presente certificado de calibración cumple los requisitos de la norma ABNT NBR ISO IEC 17023.

ANEXO K: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL CALIBRADOR CRIFFER CR-4.



Certificado de Calibración

Número del certificado: CRV3965/2023

Fecha de la calibración: 11/03/2023
Fecha de emisión del certificado: 11/03/2023

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre: BIOENERGY ENVIRONMENT & CONSULTING
Dirección: QUITO FRANCISCO AGUIRRE N32-99 Y R - QUITO, QUITO - ECUADOR

IDENTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO CALIBRADO:

Instrumento: Calibrador de Flujo Digital
Fabricante: Criffer

Modelo: CR-4
Número de serie: 23000899

PROCEDIMIENTO(S) DE CALIBRACIÓN UTILIZADO(S): PC VA202 - Revisión: 01

MÉTODO(S): Comparación directa con el estándar de referencia.

ESTÁNDAR(ES) UTILIZADOS(S):

- Mesalabs - Defender 320-M - Certificado de calibración n° 1383
- Testo - Testo 622 - Certificado de calibración n° T0648

CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura: 23,0 °C ± 3,0 °C
Humedad Relativa: 70 % ± 25 %
Presión Atmosférica: 101,32 kPa ± 10 %

NOTAS:

- Los resultados de la calibración están contenidos en tablas adjuntas, que relacionan los valores indicados por el instrumento en prueba, con valores obtenidos a través de la comparación con los patrones e incertidumbres estimadas de la medición (IM).
- La incertidumbre ampliada de medición se declara como la incertidumbre de medición multiplicada por el factor de cobertura "k", corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente el 95%, según la distribución de probabilidad t-Student, con grados de libertades efectivos (Veff).
- La incertidumbre estándar de calibración se determinó de acuerdo con la "guía para la expresión de incertidumbre de medición".
- Esta calibración no sustituye ni exime los cuidados mínimos del control metroológico.
- Este certificado se refiere exclusivamente al elemento calibrado y no se extiende a ningún lote.
- El certificado no debe reproducirse total o parcialmente sin autorización previa.
- Calibración realizada en las instalaciones de CrifferLab, ubicada en la avenida Theodomiro Porto de Fonseca, 3101, Unidad 6, sala 203, Barrio: Cristo Rei, Ciudad: São Leopoldo - RS, con estándares calibrados en laboratorios acreditados a la coordinación general de acreditación del INMETRO.
- O presente certificado de calibración cumple los requisitos de la norma ABNT NBR ISO IEC 17025.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 07/08/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Mayron Alexander Martínez Hidalgo
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería Automotriz
Título a optar: Ingeniero Automotriz
 Juan Carlos Quinchuela Paucar Director del Trabajo de Titulación  Juan Manuel Martínez Nogales Asesor del Trabajo de Titulación