



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE MONÓXIDO DE
CARBONO IMPLEMENTANDO LA NORMATIVA GOST 33554-2015 PARA LA
DETERMINACIÓN DE LA SALUD DEL HABITÁCULO EN VEHÍCULOS TIPO M1

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: HUGO FERNANDO CHAPA SIGCHO

PEDRO FELIPE DUCHITANGA CHILLOGALLI

TUTOR: ING. RAFAEL WILMER CONTRERAS URGILÉS, MSc.

Cuenca - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Hugo Fernando Chapa Sigcho con documento de identificación N° 0107134884 y Pedro Felipe Duchitanga Chillogalli con documento de identificación N° 0107646077; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 24 de julio del 2023

Atentamente,



Hugo Fernando Chapa Sigcho

0107134884



Pedro Felipe Duchitanga Chillogalli

0107646077

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Hugo Fernando Chapa Sigcho con documento de identificación N° 0107134884 y Pedro Felipe Duchitanga Chillogalli con documento de identificación N° 0107646077, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo académico: “Análisis de las concentraciones máximas de monóxido de carbono implementando la normativa GOST 33554-2015 para la determinación de la salud del habitáculo en vehículos tipo M1”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 24 de julio del 2023

Atentamente,



Hugo Fernando Chapa Sigcho

0107134884



Pedro Felipe Duchitanga Chillogalli

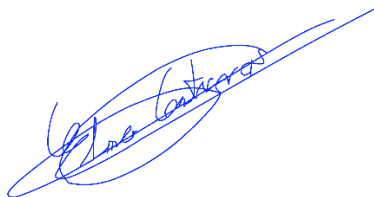
0107646077

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Rafael Wilmer Contreras Urgilés con documento de identificación N° 0104463328, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE MONÓXIDO DE CARBONO IMPLEMENTANDO LA NORMATIVA GOST 33554-2015 PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SALUD DEL HABITÁCULO EN VEHÍCULOS TIPO M1, realizado por Hugo Fernando Chapa Sigcho con documento de identificación N° 0107134884 y por Pedro Felipe Duchitanga Chillogalli con documento de identificación N° 0107646077, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 24 de julio del 2023

Atentamente,



Ing. Rafael Wilmer Contreras Urgilés, MSc.

0104463328

ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE MONÓXIDO DE CARBONO IMPLEMENTANDO LA NORMATIVA GOST 33554-2015 PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SALUD DEL HABITÁCULO EN VEHÍCULOS TIPO M1

ANALYSIS OF THE MAXIMUM CONCENTRATIONS OF CARBON MONOXIDE IMPLEMENTING THE GOST 33554-2015 REGULATION FOR THE DETERMINATION OF THE HEALTH OF THE ROOM IN VEHICLES TYPE M1

Hugo Fernando Chapa Sigcho¹, Pedro Felipe Duchitanga Chillogalli²

Resumen

Esta investigación determina la salud del habitáculo en vehículos tipo M1, mediante el análisis de las concentraciones máximas de monóxido de carbono (CO). Para la experimentación se han aplicado los vehículos más vendidos en el Ecuador durante el período de 2017 al 2022. Las concentraciones obtenidas serán evaluadas en función de los límites de seguridad recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA). El protocolo de muestreo se basa en la normativa GOST 33554-2015, la cual además menciona los requisitos técnicos del equipo a utilizar pudiendo ser con detección electroquímica. Para este fin, se emplea el testo 440, con una frecuencia de recolección de datos de 1 Hz. Mediante el análisis descriptivo de las concentraciones de CO en el habitáculo, se han identificado las variables de mayor influencia en su incremento. Donde se evidencia que la salud del habitáculo en el vehículo HA-1 se ve comprometida cuando la concentración de CO supera los 30,4 ppm. Este valor se relaciona directamente con el alto porcentaje de CO en el sistema de escape.

Palabras Clave: Exposición, Monóxido de Carbono, Salud en cabina, Salud de los ocupantes

Abstract

This research determines the health of the passenger compartment in M1 type vehicles, by analyzing the maximum concentrations of carbon monoxide (CO). For the experimentation, the most sold vehicles in Ecuador during the period from 2017 to 2022 have been applied. The concentrations obtained will be evaluated against the safety limits recommended by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) and the Occupational Safety and Health Administration (OSHA). The sampling protocol is based on the GOST 33554-2015 standard, which also mentions the technical requirements of the equipment to be used being able to be with electrochemical detection. For this purpose, the testo 440 is used, with a data collection frequency of 1 Hz. Through the descriptive analysis of CO concentrations in the passenger compartment, the variables with the greatest influence on its increase have been identified. It is evident that the health of the passenger compartment in the HA-1 vehicle is compromised when the CO concentration exceeds 30.4 ppm. This value is directly related to the high percentage of CO in the exhaust system.

Keywords: Exposition, Carbon Monoxide, Cabin Health, Occupant health

¹Ingeniería Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador
Autor para correspondencia: hchapa@est.ups.edu.ec

1. Introducción

El monóxido de carbono (CO) es un gas tóxico incoloro e inodoro [1][2], que principalmente se produce por la combustión incompleta de hidrocarburos [3]. La exposición a este gas tiene consecuencias negativas en la salud humana, donde la severidad de los efectos está relacionada con la cantidad de CO inhalado y el tiempo de exposición [4], [5], [6]. Exposiciones de 80 a 100 partes por millón (ppm) durante 1 a 2 horas pueden causar dolor en el pecho y desencadenar arritmias cardíacas, mientras que concentraciones más altas pueden llevar al envenenamiento y, en casos extremos, a la muerte [7],[8]. Con el fin de establecer medidas de protección ante el envenenamiento por CO, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) como la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) han establecido límites de exposición para el CO. La EPA ha establecido un límite de 9 ppm para una exposición de 8 horas y de 25 ppm para una exposición de 1 hora al aire libre [8]. Además, la EPA ha desarrollado un índice de calidad del aire interior (IAQ), que establece distintos rangos para las concentraciones de CO. Según este índice, se considera que un ambiente con un nivel de CO entre 0,0 y 4,4 partes por millón ppm se considera bueno, mientras que un nivel de 4,5 a 9,4 ppm se clasifica como moderado. Un nivel de 9,5 a 12,4 ppm se considera insalubre para grupos sensibles, mientras que un nivel de 12,5 a 15,4 ppm se clasifica como insalubre. Cuando el nivel de CO varía entre 15,5 y 30,4 ppm, se considera muy poco saludable. Si los niveles de CO alcanzan valores de 30,5 a 40,4 ppm, o de 40,5 a 50,4 o valores superiores se considera peligroso [9]. Por su parte, la OSHA establece un límite máximo de 50 ppm durante 8 horas en entornos laborales [10].

La acumulación de CO en el interior de los vehículos puede ocurrir por diversos factores. Uno de ellos la eficiencia de la combustión que está relacionada con el estado del filtro de aire. A medida que la superficie del filtro se acumula de polvo, el flujo de aire disminuye, lo que genera un efecto negativo en la combustión y provoca un

aumento en las concentraciones de CO [11]. Otros factores incluyen la entrada a través de puertas y ventanas [12], agujeros en la carrocería [13], e incluso a través del sistema de ventilación [14]. Dado el espacio reducido dentro del vehículo, esta acumulación representa un riesgo directamente proporcional al CO en cabina.[15]. Se han documentado casos de muerte debido al envenenamiento por CO en vehículos que estaban funcionando en ralentí, ya sea en áreas, abiertas [16], o cerradas [17]. Bajo estas condiciones en Nuevo México entre 1980 – 1995 se dieron 56 muertes por intoxicación de CO en vehículos [18], mientras que en Estados Unidos en 1998 se dieron 6600 muertes [19].

En consecuencia, a estos hechos se han realizado estudios en 1999, 2001, 2002 y 2003 por Chan et al. [20], [21], [22], [23], donde coincide que las concentraciones de CO en cabina no dependen exclusivamente del modo de ventilación sino también del entorno que rodea al vehículo, ya sea por el tráfico o las zonas de manejo. En contraste, el estudio [24], llevado a cabo en el Líbano en 2007 ha revelado un aumento en las concentraciones medias de CO en cabina, cuando la ventilación se usaba en modo recirculación con las ventanas cerradas. Se han registrado valores de entre 30,8 y 37,4 ppm a diferencia de las concentraciones medias con recirculación externa situadas entre 8 y 19 ppm. Además, Dirks et al.[25] ha demostrado a través de pruebas en ruta que al estar ubicado detrás de un vehículo con emisiones visibles en el escape y utilizando el modo de recirculación de aire exterior, se alcanzan concentraciones máximas de 170 ppm en la cabina. Estos resultados coinciden con la investigación realizada en Ohio, Estados Unidos [26], en 2011, donde se determinó que los niveles de CO estaban influenciados principalmente por el modo de ventilación y el tráfico vehicular en horas pico.

Además, se han llevado a cabo investigaciones como [27], relacionadas con la calidad del aire en el interior de los vehículos, enfocándose especialmente en el análisis de la temperatura del aire. Ya que, las temperaturas superiores a 40 °C

pueden generar un golpe de calor y provocar insolación [28]. Por lo que, Abi-Esber et al. [29], demostró mediante un estudio, que el 58,5% de las concentraciones de CO varían en función de la temperatura y la humedad, interna y externa del vehículo, al utilizar la recirculación de aire con las ventanas entreabiertas. Estos resultados se relacionan con un estudio realizado por Sunawar et al. [30], en el cual se demostró que la temperatura dentro del vehículo incremento 30 °C en comparación con la temperatura del ambiente exterior. Asimismo, otro aspecto relevante para evaluar la calidad del aire interior es la presencia de partículas suspendidas (PM). Investigaciones previas, como el estudio [31], ha demostrado de manera significativa que existe una reducción notable en la cantidad de PM a medida que aumenta la eficiencia del filtro de cabina. Donde con una eficiencia del filtrado del 20% se ha registrado 1885 partículas/cm³, mientras que con un 80% se reduce a 410 partículas/cm³.

Tal y como se ha demostrado anteriormente las concentraciones de CO se ven influenciadas por el modo de ventilación [24], el entorno circundante [32], [21], [22], [23], la eficiencia de los filtros de aire del vehículo [11], y la temperatura en cabina [27], donde son variables de importancia para evitar futuros accidentes por intoxicación de CO. Por lo que continuando con estas investigaciones este trabajo presenta una metodología que permite determinar la cantidad de CO en cabina, donde a diferencia de investigaciones anteriores se centra en vehículos funcionando a ralentí al aire libre. Una vez desarrollado la metodología se plantean recomendaciones en función de las concentraciones de CO en cabina. Esta metodología constituye una aproximación al estudio de la influencia del CO en los seres humanos, la comparación de otras variables influyentes como los compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NOx) y Metano (CH₄), ya que representa un alto riesgo para la salud de los conductores [33], [34], [35], aunque fuera del alcance de este estudio constituyen un reto futuro para el planteamiento mejorado de la metodología.

2. Materiales y Métodos

En esta sección, se presentará el desarrollo de la investigación, centrándose en la metodología aplicada y los materiales utilizados.

2.1. Metodología

La metodología de esta investigación consta de tres etapas, la primera etapa, se enfoca en buscar las normativas sobre CO y las investigaciones previas relacionadas a la salud de la cabina. La segunda describe el proceso de instrumentación el cual implica la selección de los vehículos de experimentación, instrumentación, dispositivos necesarios para realizar las mediciones y adquisición de datos. Esta etapa se repite para cada vehículo muestreado. En la etapa final se describe el proceso para el análisis de resultados, de acuerdo con las variables más influyentes con respecto a las concentraciones de CO en cabina. Estas etapas se detallan en el flujograma de la Figura 1.

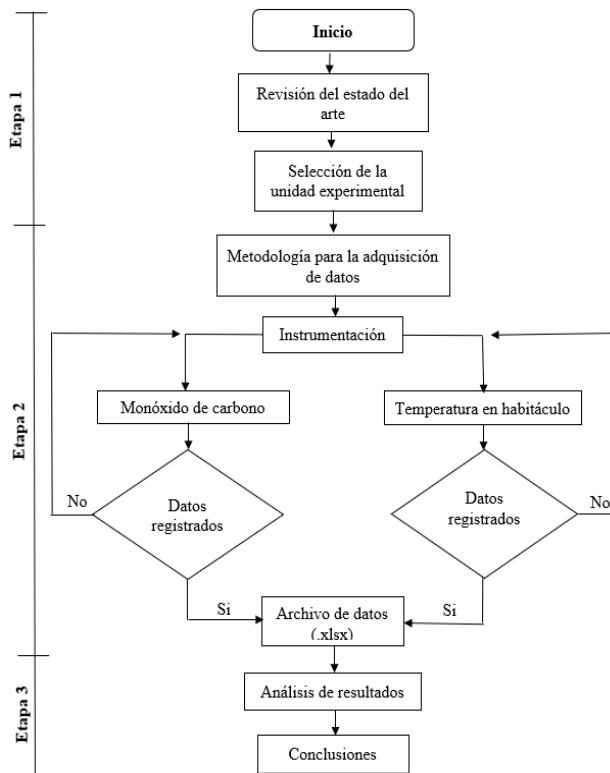


Figura 1. Metodología aplicada

En base a la metodología de investigación establecida, se inicia la recopilación de datos.

2.1.1. Metodología para la adquisición de datos

El protocolo de muestreo aplicado fue bajo el modo de prueba II establecido en la normativa GOST 33554-2015 [36]. Se desarrolla en un lugar de estacionamiento abierto, el motor a temperatura normal de funcionamiento y en ralentí, además de estar cerradas las ventanas laterales y superiores. La normativa recomienda realizar una muestra de CO luego de que el vehículo haya pasado 20 minutos de funcionamiento. Seguidamente, se realizará la toma de datos durante un lapso de 40 minutos. Con esto se garantizan el cumplimiento de las variables mencionadas. El punto de muestreo para CO recomendado por la normativa [36], en vehículos tipo M1 es en la zona de respiración del conductor, que se observa en la Figura 2.

Esta investigación consta de tres fases de pruebas, las cuales se utilizarán en los vehículos muestreados. Las dos primeras, establecidas por la normativa[36], mientras que la tercera etapa surge de la necesidad de investigar la influencia de la

temperatura en la cabina, como se ha demostrado en investigaciones previas, [27], [37], [29], [30], en la Tabla 1 se detalla la información.

Tabla 1. Características de las fases de muestreo

Fases de muestreo	Modo de ventilación	Tiempo de muestra
Fase A	Ventanas laterales y superiores cerradas Recirculación interna de aire	40 min.
Fase B	Ventanas laterales y superiores cerradas Recirculación externa de aire	40 min.
Fase C	Ventanas laterales y superiores cerradas Recirculación interna de aire Calefacción encendida	40 min.

La normativa establece los métodos de muestreo del equipo empleado para la medición de CO. Estos son, por espectroscopia fotoacústica infrarroja, detección electroquímica o cromatografía de gases con detección de fotoionización (PID). Además, menciona el rango de medición comprendido desde 1 hasta 50 mg/m³, lo cual se traduce a un rango de 1,2 a 60 ppm, representando el límite mínimo y máximo respectivamente. Tras determinar la metodología para la adquisición de datos, se procede a realizar

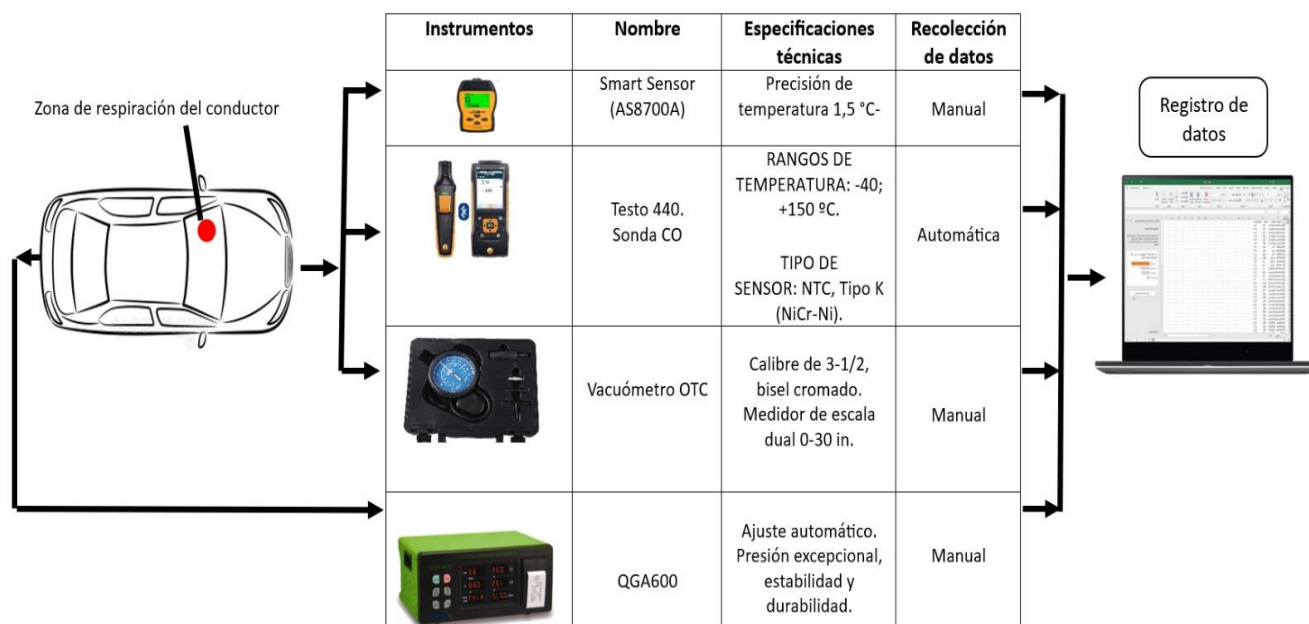


Figura 2. Flujograma y características de los instrumentos de medición

la selección de los materiales a utilizar en la investigación.

2.2. Materiales

En esta sección, se detallan los materiales utilizados en la investigación, los cuales incluyen la unidad experimental, la instrumentación y las variables de estudio.

2.2.1. Unidad Experimental

El proceso de selección de la unidad experimental se basó en un análisis de los vehículos tipo M1 más vendidos en Ecuador, durante el período de 2017 al 2022. La información utilizada se obtuvo de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE). A partir de este análisis, se ha concluido que los vehículos más comercializados son con motores de combustión interna y cilindradas que oscilan entre 1000 y 2000 cm³. El total de vehículos muestreado son 12, los 6 primeros corresponden a la metodología de selección indicada y los 6 siguientes se aplicaron con el objetivo de ampliar el alcance del presente estudio. En la tabla 2 se detallan las características de los vehículos.

Tabla 2. Características de los vehículos utilizados

Vehículo	Marca	Modelo	Año	Kilometraje	Cilindrada (cm ³)	Acronimo
1	Kia	Picanto	2021	80230	1200	KP
2	Kia	Rio	2019	73837	1400	KR
3	Kia	Sportage	2020	18073	2000	KS
4	Jetour	X70 Coupe	2022	60540	1500	JX
5	Chevrolet	Aveo Family	2011	346562	1600	CA
6	Chevrolet	Sail	2011	122178	1600	CS
7	Nissan	Versa	2014	550230	1600	NV
8	Hyundai	Accent	2006	450320	1400	HA
9	Hyundai	I10	2014	125225	1100	HI
10	Mitsubishi	Lancer	1998	250340	1600	MI
11	Susuki	Forsa 1	1991	145065	1000	SF
12	Hyundai	Matrix	2005	644001	1600	HM

Tras determinar la unidad experimental, se especifica la instrumentación necesaria para la toma de datos en el habitáculo.

2.2.2. Instrumentación

El equipo ha disposición que cumple con estos requisitos mencionados en el punto 2.2.1, es el testo 440 con una sonda bluetooth modelo 6321270 la misma que funciona por un sensor electroquímico de alta estabilidad permitiendo rangos de medición de 0 a 500 ppm de CO, con una frecuencia de recolección de datos de 1 Hz. Además, para medir la temperatura en el habitáculo se utilizó el equipo el instrumento Carbon Monoxide Meter (AS8700A). Con base a las investigaciones [24], [25], se mide la emisión de CO en el sistema de escape. Para esto se aplica el instrumento (QGA 600). Como método de contraste se estudia la variable del vacío del motor. Esta se registra con un vacuómetro OTC (5613). En la Figura 2 se presentan las características de los equipos mencionados. Con la instrumentación, previamente establecida, se procede a estudiar las variables influyentes en la investigación.

2.2.3. Variables de estudio

Una síntesis de las variables vistas en la bibliografía, son las concentraciones de CO en el sistema de escape [25], la temperatura en el interior del habitáculo [27], [38], kilometraje del vehículo, vacío del motor [39], cilindraje del vehículo, filtro del motor [11], filtro de cabina (filtro de polen) [31] y el modo de ventilación [24]. El objetivo es comprender el comportamiento de las concentraciones de CO en relación con la síntesis de las variables estudiadas. Con esta información, se pretende determinar el factor más influyente en el aumento de las concentraciones de CO en la cabina y, a su vez, determinar si esa influencia es positiva o negativa para la salud humana. Del análisis y discusión se concluirán las recomendaciones del caso.

3. Resultados y discusión

En el transcurso de esta investigación, se recolectó un total de 78 muestras de CO en la cabina, correspondiendo 26 muestras para cada fase del estudio realizado.

3.1. CO con respecto a cada fase de estudio

Para analizar las concentraciones de CO en cada fase de prueba se tomó como referencia el límite máximo recomendado por la EPA para concentraciones de CO [8], donde establece 25 ppm en una hora. Además, para determinar la salud del habitáculo se tomó como referencia el IAQ, que establece la EPA [9]. Igualmente, se consideró el límite máximo sugerido por la OSHA, de 50 ppm durante 8 horas [10].

Durante la fase A de la investigación, los resultados presentados en la Figura 3, revelan que el 88 % de las muestras analizadas, se encuentran dentro de los límites establecidos por la EPA y la OSHA. En cuanto a la salud del habitáculo, de acuerdo con el IAQ [9], se encuentra en un ambiente saludable, ya que presenta concentraciones que no superan el rango de entre 0 y 4,4 ppm. Además, el 5,1 % de las muestras de esta fase, se encuentran en un rango del 4,4 y 9,4 ppm, que es considerado como un ambiente moderado. Con respecto al 1,2 % de las muestras se situó en un rango considerado insalubre, siendo las personas con enfermedades cardiovasculares las

que tienen más probabilidad de sufrir efectos adversos [9]. Así mismo, el 3,8 % de muestras de esta fase se encuentra en un ambiente muy poco saludable lo cual podría ocasionar dolores leves en el pecho [9]. Finalmente, el 1,2 % de las muestras realizadas, son HA-1 y HA-2, presentan un incremento de CO, dentro del rango de 30,4 y 50,4 ppm, lo cual se considera un ambiente peligroso, lo cual conlleva una clara posibilidad de intoxicación.

En la figura 4 se presentan las concentraciones de la fase B, donde el 89,7 % de las muestras se encuentra en un rango de concentraciones entre 0 a 4,4 ppm. Estas están por debajo de los límites sugeridos por la EPA y la OSHA. Además, el 2,5 % de las muestras está situada en el rango moderado de salud en el habitáculo, que está comprendido de 4,4 a 9,4 ppm de CO. El 3,8 % de las muestras realizadas, se encuentran en el rango insalubre, comprendido de 9,4 a 15,4 ppm de CO, dentro de este rango se pueden generar molestias leves como dolor torácico [9]. Por último, el 2,4 % de las muestras realizadas son HA-1 y HA-2, aumentan las concentraciones de CO en un rango

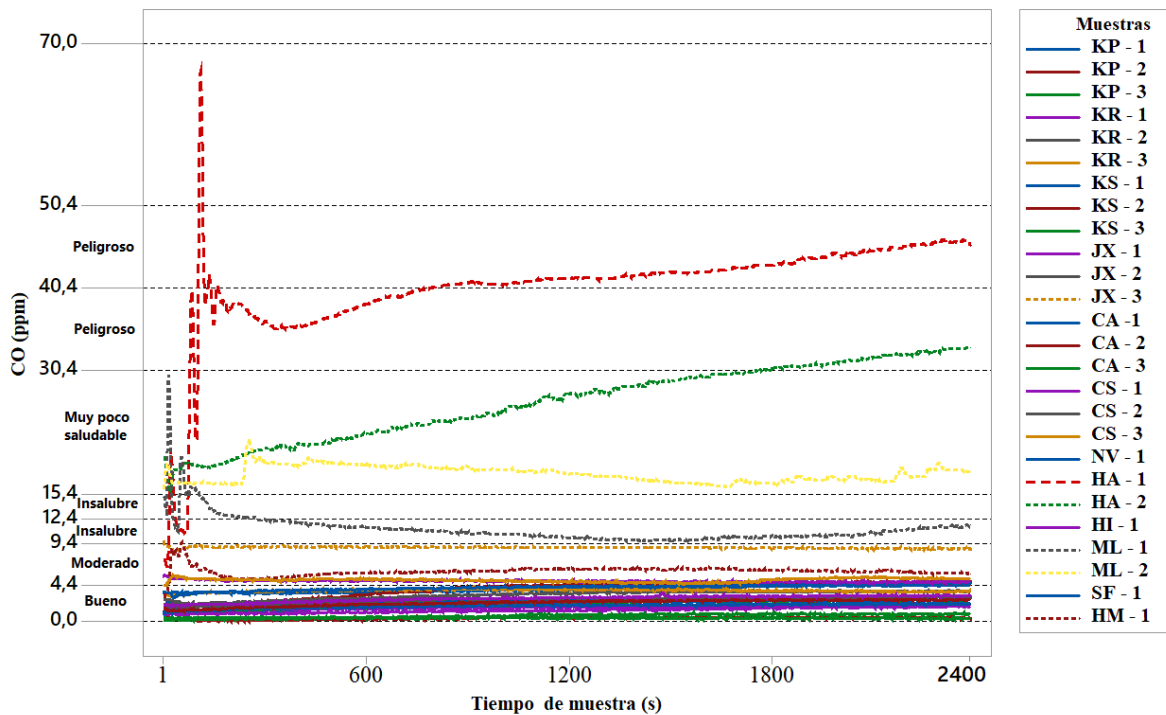


Figura 3. Concentraciones de CO con respecto a la fase A

comprendido de 15,4 a 30,4 ppm, lo cual indica una salud del habitáculo poco saludable.

En la fase C, representada en la figura 5, se ha registrado que el 42,3 % de las muestras de CO en el habitáculo se encuentran dentro de un rango bueno para la salud del habitáculo, estas concentraciones oscilan entre 0 y 4,4 ppm de CO.

Con respecto al 26,92 % de las muestras del vehículo, estas se sitúan en un rango de concentraciones entre 4,4 y 9,4 ppm, lo cual se considera un nivel de salud moderado para el habitáculo. Además, el 7,69 % de las muestras realizadas registraron concentraciones en un rango insalubre, mientras que el 15,38 % se encuentra en un rango poco saludable. Por último, el 7,69 % de

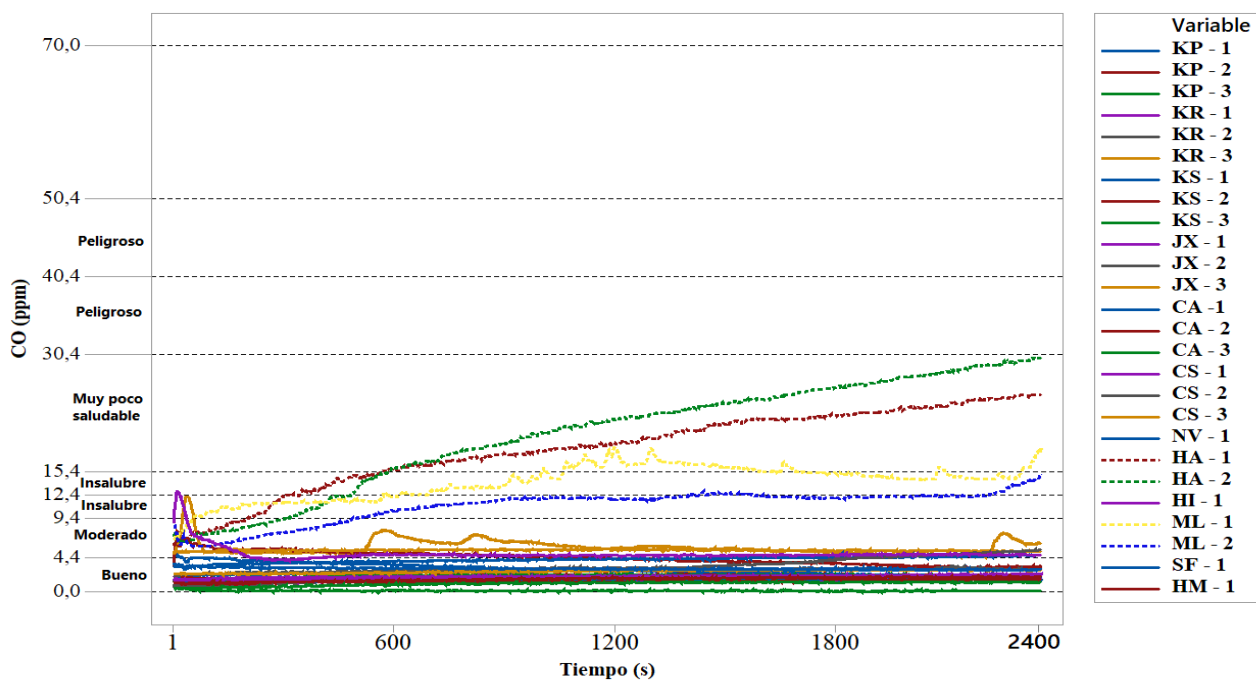


Figura 4. Concentraciones de CO con respecto a la fase B

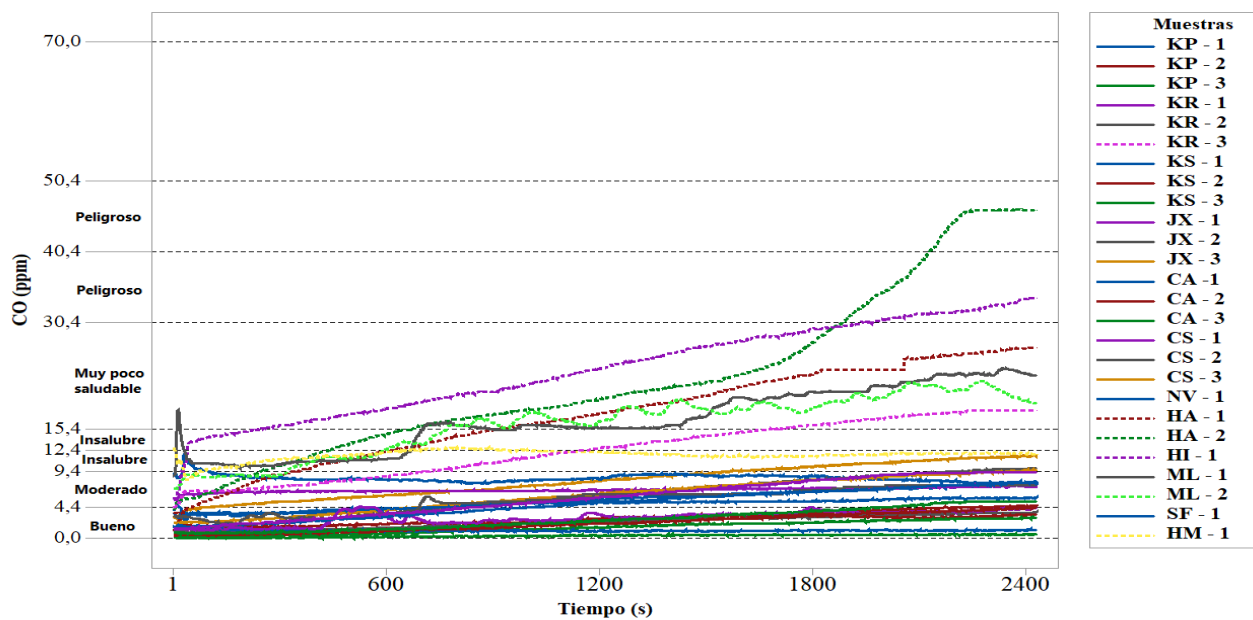


Figura 5. Comportamiento de CO con respecto a la fase C

las muestras realizadas, son HA-2 y HI-1, se sitúan en un rango considerado como peligroso para la salud del habitáculo.

3.2. Variables relacionadas con las concentraciones de CO

En la sección 2.2.3. de la presente investigación se indican las variables de estudio relacionadas al CO. Con el fin de determinar su relación con el monóxido de carbono, se aplican gráficos de dispersión. En la figura 6 se representa las gráficas utilizadas para realizar el análisis en las tres fases.

Los resultados obtenidos con relación a las variables de estudio han identificado tres factores influyentes en las tres fases de investigación, siendo el porcentaje de CO en el escape, la presión de admisión y el modo de ventilación. Dado que las emisiones de escape del vehículo penetran en el

habitáculo se generan niveles elevados de CO y al no contar con la recirculación de aire externo, estas emisiones se mantienen. Además, es importante mencionar que cuando la presión de admisión supera los 40 kPa, existe mayor concentración de CO, ya que, a mayor presión, la relación aire-combustible se ve afectada, lo que puede resultar en una mezcla rica de combustible y, en consecuencia, en una combustión incompleta [3].

Con respecto a las variables de temperatura en cabina, cilindraje del vehículo, estado del filtro de polen y estado del filtro del motor no se ha encontrado una relación directa, con las concentraciones de CO en cabina. La validación de este supuesto se realiza a través del coeficiente de determinación (R-cuadrado) presentando en la Figura 6. Para las variables que no presentan una relación directa, el R-cuadrado no supera el 4,5 % mientras que, para el porcentaje de CO en el sistema de escape es de 83,7 % y para la presión de

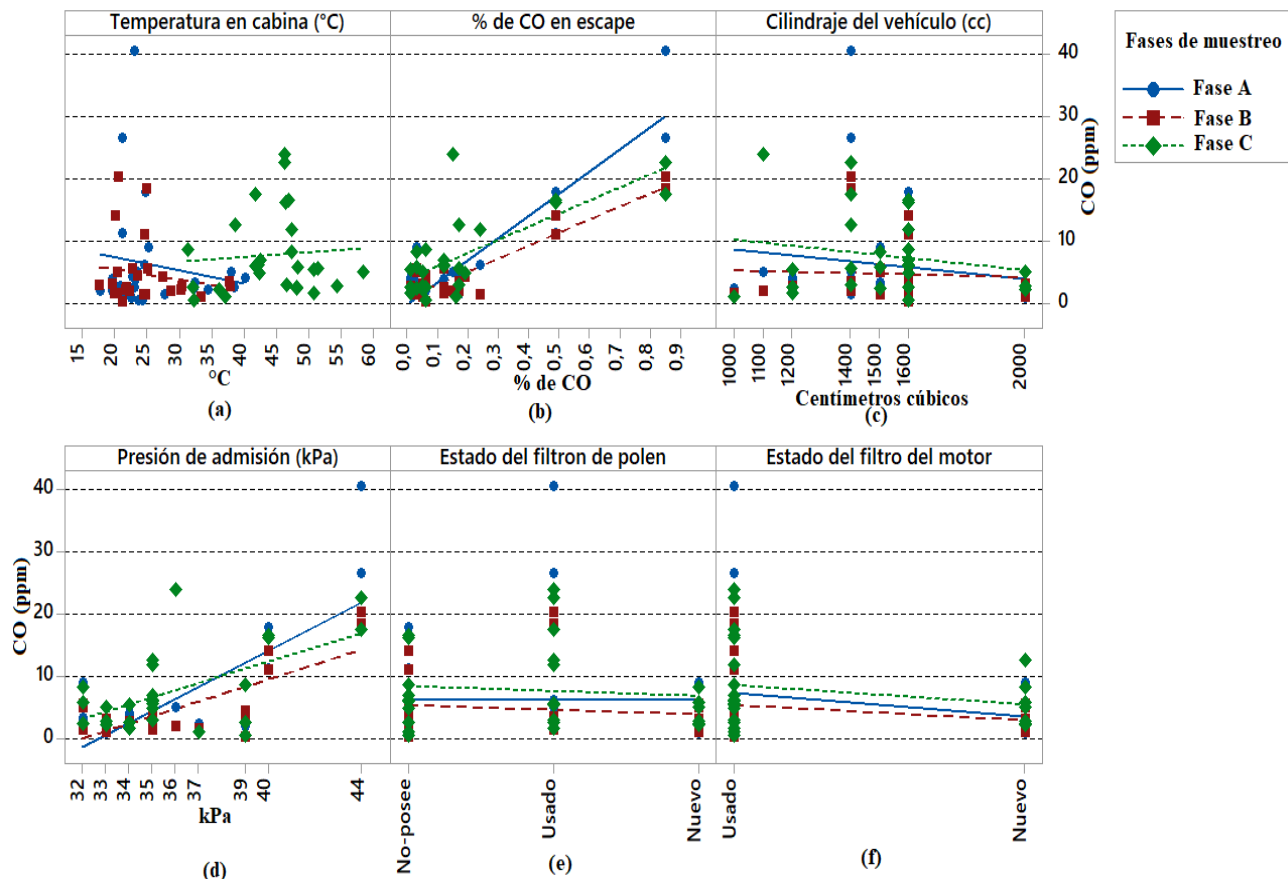


Figura 6. Validación de variables que pueden influir en las concentraciones de CO en el habitáculo

admisión de 57,6 %, con respecto al modo de ventilación al utilizar la recirculación de aire externo, las concentraciones de CO disminuyen.

3.3. Análisis de concentraciones máximas y medias de CO

En el apartado 3.1. se realiza un análisis del total de los vehículos con respecto a las normativas y al estado de salud en el habitáculo. Sin embargo, en esta sección, se lleva a cabo una evaluación individualizada únicamente para aquellos vehículos que exceden las concentraciones de CO establecidas por las normativas.

En la Figura 7 se muestran las concentraciones máximas registradas de CO. En la fase A con respecto al vehículo HA en la muestra 1 presenta 66,7 ppm y en la muestra 2 presenta 33,2 ppm. El vehículo ML en la muestra 1 presenta 29,8 ppm. Estos 2 vehículos son los que presentan mayor cantidad de CO en el escape lo que se asocia a las altas concentraciones presentes en el habitáculo, ya que al no tener recirculación de aire externa durante este modo las concentraciones se mantienen. Para

la fase B, el vehículo HA en la muestra 2 presenta 29,9 ppm de CO en el habitáculo. En esta fase se observa una disminución de 36.8 ppm de CO al utilizar el modo de recirculación externo de aire, lo que indica que este modo de ventilación ayuda a reducir las concentraciones de CO. Con respecto a la fase C, el vehículo HA en la muestra 1 presenta 26,9 ppm y en la muestra 2 presenta 46,5 ppm, además el vehículo HI en la muestra 1 presenta 33,9 ppm de CO. Se observa que en este modo de prueba el vehículo HI presenta un aumento de concentraciones de CO, este es un caso particular ya que se ve afectado por la temperatura del habitáculo llegando alcanzar 48 °C.

Realizado el análisis de las concentraciones máximas, se calcula la concentración media de CO con el fin de comparar con investigaciones como [32]. La investigación presenta una concentración de 10,1 ppm en vehículos livianos, lo cual se relaciona con el 46,15 % de las muestras realizadas en esta investigación ya que no superan las 10 ppm de CO en el habitáculo. El estudio [24], determina concentraciones medias de 37,4 ppm al tener las ventanas y la ventilación cerradas, bajo las mismas

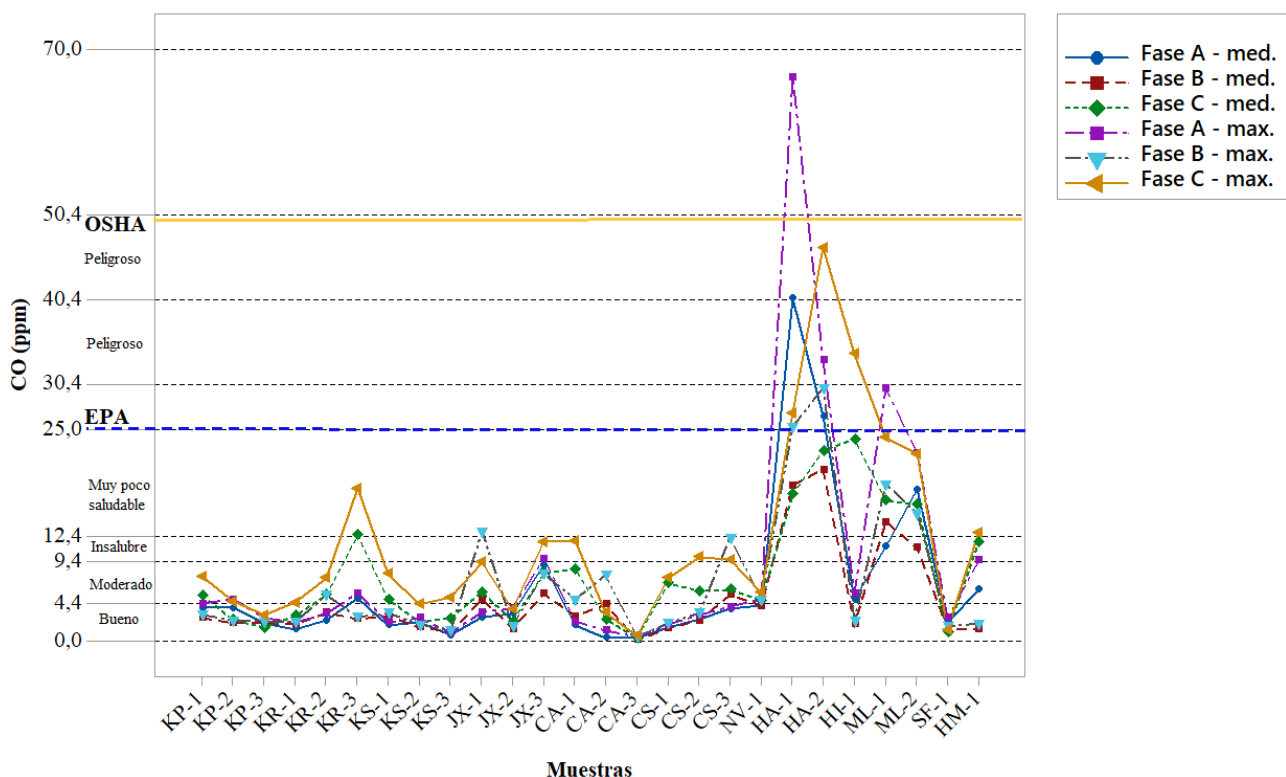


Figura 7. Concentraciones máximas y mínimas de CO registradas en la investigación

condiciones se registró en el vehículo HA-1 un valor medio de 40,46 ppm de CO. En contraste el trabajo [40], demuestra un valor medio de 15,9 al estar cerradas puertas y ventanas al activar el A/C y al abrir ventoleras la concentración aumenta a 23,9 ppm. Estos resultados concuerdan con investigaciones previas [25], [26], que han demostrado cambios en las concentraciones de CO en el habitáculo según el modo de ventilación empleado.

4. Conclusiones

Los resultados demuestran que la metodología utilizada en esta investigación es eficaz para evaluar el estado de salud del habitáculo en distintos tipos de vehículos. De acuerdo con las normativas que garantizan los límites máximos de exposición al CO, así como los rangos de calidad en el interior, se ha determinado que el 83,3% de los vehículos muestreados presentan una buena calidad de salud en el habitáculo.

Además, se identificaron las variables influyentes en las concentraciones de CO en cabina mientras los motores están en ralentí, siendo la presión de admisión, el porcentaje de CO en el sistema de escape y el modo de ventilación. Para el caso particular de HA-1 se produjo una reducción de 66,7 ppm a 29,9 ppm al utilizar ventanas y puertas cerradas con la recirculación externa de aire, dando entender que este modo de ventilación podría evitar posibles intoxicaciones.

Si bien la mayoría de los vehículos muestreados cumplen con los estándares de concentraciones máximas de CO, no podemos descuidar la seguridad y el bienestar de los pasajeros. Por consiguiente, es fundamental llevar a cabo futuras investigaciones que incluyen factores adicionales de estudio, como los compuestos orgánicos volátiles y los óxidos de nitrógeno, con el propósito de prevenir posibles intoxicaciones o muertes debido a niveles elevados de este gas nocivo.

Referencias

- [1] S. Ozkan and A. Ipekci, "Carbon Monoxide Poisoning," in *Environmental Emergencies and Injuries in Nature*, Nova Science Publishers, Inc., 2022, pp. 279–288. doi: 10.7748/ns2010.06.24.40.50.c7831.
- [2] J. C. U. Downs, "Carbon Monoxide Exposure: Autopsy Findings," *Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine: Second Edition*, pp. 444–460, Jan. 2016, doi: 10.1016/B978-0-12-800034-2.00058-6.
- [3] W. E. Lambert and J. M. Samet, "COMBUSTION PRODUCTS: Nitrogen Dioxide, Carbon Monoxide, and Wood Smoke," *Immunol Allergy Clin North Am*, vol. 14, no. 3, pp. 607–620, Aug. 1994, doi: 10.1016/S0889-8561(22)00747-0.
- [4] K. A. Nañagas, S. J. Penfound, and L. W. Kao, "Carbon Monoxide Toxicity," *Emerg Med Clin North Am*, vol. 40, no. 2, pp. 283–312, May 2022, doi: 10.1016/J.EMC.2022.01.005.
- [5] J. A. Chenoweth, T. E. Albertson, and M. R. Greer, "Carbon Monoxide Poisoning," *Crit Care Clin*, vol. 37, no. 3, pp. 657–672, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.CCC.2021.03.010.
- [6] B. G. Miller, "The Effect of Coal Usage on Human Health and the Environment," *Clean Coal Engineering Technology*, pp. 85–132, Jan. 2011, doi: 10.1016/B978-1-85617-710-8.00004-2.
- [7] P. A. Koushki, K. H. Al-Dhowalia, and S. A. Niaizi, "Vehicle occupant exposure to carbon monoxide," *J Air Waste Manage Assoc*, vol. 42, no. 12, pp. 1603–1608, 1992, doi: 10.1080/10473289.1992.10467104.
- [8] D. 20460 Office of Research and Development Washington, "Air Quality Criteria for Carbon Monoxide EPA," 2000. Accessed: Jun. 23, 2023. [Online]. Available:

- https://ordspub.epa.gov/ords/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=523412
- [9] EPA, “Guidelines for reporting of daily air quality - Air Quality Index (AQI),” 1999.
- [10] Osha, “Carbon Monoxide Poisoning,” 2012. [Online]. Available: www.osha.gov/workers
- [11] T. Dziubak and M. Karczewski, “Experimental Studies of the Effect of Air Filter Pressure Drop on the Composition and Emission Changes of a Compression Ignition Internal Combustion Engine,” *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 13, p. 4815, Jun. 2022, doi: 10.3390/en15134815.
- [12] A. T. Chan and M. W. Chung, “Indoor-outdoor air quality relationships in vehicle: effect of driving environment and ventilation modes,” *Atmos Environ*, vol. 37, no. 27, pp. 3795–3808, Sep. 2003, doi: 10.1016/S1352-2310(03)00466-7.
- [13] P. Panahi and C. Bayilmis, “Car indoor gas detection system,” in *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, IEEE, Oct. 2017, pp. 957–960. doi: 10.1109/UBMK.2017.8093579.
- [14] K. Galatsis, W. Wlodarski, Yongxiang Li, and K. Kalantar-zadeh, “Ventilation control for improved cabin air quality and vehicle safety,” in *IEEE VTS 53rd Vehicular Technology Conference, Spring 2001. Proceedings (Cat. No.01CH37202)*, IEEE, 2001, pp. 3018–3021. doi: 10.1109/VETECS.2001.944157.
- [15] E. L. Odekanle, B. S. Fakinle, L. A. Jimoda, O. B. Okedere, F. A. Akeredolu, and J. A. Sonibare, “In-vehicle and pedestrian exposure to carbon monoxide and volatile organic compounds in a mega city,” *Urban Clim*, vol. 21, pp. 173–182, Sep. 2017, doi: 10.1016/J.UCLIM.2017.06.004.
- [16] M. Osawa, H. Horiuchi, K. Yoshida, T. Tada, and A. Harada, “A death in a stationary vehicle whilst idling: unusual carbon monoxide poisoning by exhaust gases,” *Leg Med*, vol. 5, no. SUPPL. 1, pp. S132–S134, Mar. 2003, doi: 10.1016/S1344-6223(02)00094-9.
- [17] N. B. Hampson, “Residential carbon monoxide poisoning from motor vehicles,” *Am J Emerg Med*, vol. 29, no. 1, pp. 75–77, Jan. 2011, doi: 10.1016/J.AJEM.2009.09.010.
- [18] JAMA, “Deaths From Motor-Vehicle—Related Unintentional Carbon Monoxide Poisoning—Colorado, 1996, New Mexico, 1980-1995, and United States, 1979-1992,” *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, vol. 276, no. 24, p. 1942, Dec. 1996, doi: 10.1001/jama.1996.03540240020012.
- [19] L. C. Marr, G. C. Morrison, W. W. Nazaroff, and R. A. Harley, “Reducing the risk of accidental death due to vehicle-related carbon monoxide poisoning,” *J Air Waste Manage Assoc*, vol. 48, no. 10, pp. 899–906, 1998, doi: 10.1080/10473289.1998.10463745.
- [20] L. Y. Chan, C. Y. Chan, and Y. Qin, “The effect of commuting microenvironment on commuter exposures to vehicular emission in Hong Kong,” *Atmos Environ*, vol. 33, no. 11, pp. 1777–1787, May 1999, doi: 10.1016/S1352-2310(98)00338-0.
- [21] L. Y. Chan and Y. M. Liu, “Carbon monoxide levels in popular passenger commuting modes traversing major commuting routes in Hong Kong,” *Atmos Environ*, vol. 35, no. 15, pp. 2637–2646, May 2001, doi: 10.1016/S1352-2310(00)00450-7.
- [22] L. Y. Chan, Y. M. Liu, S. C. Lee, and C. Y. Chan, “Carbon monoxide levels measured in major commuting corridors covering different landuse and roadway microenvironments in Hong Kong,” *Atmos Environ*, vol. 36, no. 2, pp. 255–

- 264, Jan. 2002, doi: 10.1016/S1352-2310(01)00414-9.
- [23] A. T. Chan and M. W. Chung, "Indoor-outdoor air quality relationships in vehicle: effect of driving environment and ventilation modes," *Atmos Environ*, vol. 37, no. 27, pp. 3795–3808, Sep. 2003, doi: 10.1016/S1352-2310(03)00466-7.
- [24] L. Abi Esber, M. El-Fadel, I. Nuwayhid, and N. Saliba, "The effect of different ventilation modes on in-vehicle carbon monoxide exposure," *Atmos Environ*, vol. 41, no. 17, pp. 3644–3657, Jun. 2007, doi: 10.1016/J.ATMOSENV.2006.12.036.
- [25] K. N. Dirks, N. Talbot, J. A. Salmond, and S. B. Costello, "In-cabin vehicle carbon monoxide concentrations under different ventilation settings," *Atmosphere (Basel)*, vol. 9, no. 9, Aug. 2018, doi: 10.3390/atmos9090338.
- [26] A. Kadiyala and A. Kumar, "Study of In-Vehicle Pollutant Variation in Public Transport Buses Operating on Alternative Fuels in the City of Toledo, Ohio," 2011.
- [27] K. YOU *et al.*, "Measurement of in-vehicle volatile organic compounds under static conditions," *Journal of Environmental Sciences*, vol. 19, no. 10, pp. 1208–1213, Jan. 2007, doi: 10.1016/S1001-0742(07)60197-1.
- [28] S. Sasidharan and V. Kanagarajan, "Vehicle cabin safety alert system," in *2015 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, IEEE, Jan. 2015, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICCCI.2015.7218155.
- [29] L. Abi-Esber and M. El-Fadel, "Indoor to outdoor air quality associations with self-pollution implications inside passenger car cabins," *Atmos Environ*, vol. 81, pp. 450–463, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.09.040.
- [30] A. Sunawar and M. K. I. Garniwa, "Potential of hybrid thermoelectric and solar power energy to decrease temperature inside passenger car cabin," in *2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, IEEE, Mar. 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/IEECON.2017.8075784.
- [31] T.-B. Chang, Y.-S. Lin, and Y.-T. Hsu, "CFD simulations of effects of recirculation mode and fresh air mode on vehicle cabin indoor air quality," *Atmos Environ*, vol. 293, p. 119473, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.atmosenv.2022.119473.
- [32] L. Y. Chan, C. Y. Chan, and Y. Qin, "The effect of commuting microenvironment on commuter exposures to vehicular emission in Hong Kong," *Atmos Environ*, vol. 33, no. 11, pp. 1777–1787, May 1999, doi: 10.1016/S1352-2310(98)00338-0.
- [33] H. Wang *et al.*, "Observation, prediction, and risk assessment of volatile organic compounds in a vehicle cabin environment," *Cell Rep Phys Sci*, vol. 4, no. 4, p. 101375, Apr. 2023, doi: 10.1016/J.XCRP.2023.101375.
- [34] A. C. G. César, J. A. Carvalho Jr., and L. F. C. Nascimento, "Association between NO_x exposure and deaths caused by respiratory diseases in a medium-sized Brazilian city," *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, vol. 48, no. 12, pp. 1130–1135, Dec. 2015, doi: 10.1590/1414-431x20154396.
- [35] T. E. Lipman and M. A. Delucchi, "Emissions of Nitrous Oxide and Methane from Conventional and Alternative Fuel Motor Vehicles," *Clim Change*, vol. 53, no. 4, pp. 477–516, 2002, doi: 10.1023/A:1015235211266.
- [36] Russian Federation, "English version translated from Russian original INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION (ISC)

- INTERSTATE STANDARD GOST 33554-2015 Motor Vehicles CONTENT OF POLLUTANTS IN THE INTERIOR OF DRIVER'S CAB AND PASSENGER COMPARTMENT," 2016. Accessed: Jun. 24, 2023. [Online]. Available: https://wiki.unece.org/download/attachments/54429624/VIAQ-11-06_RU_GOST_33554-2015_EN.pdf?api=v2
- [37] H. Wang *et al.*, "Observation, prediction, and risk assessment of volatile organic compounds in a vehicle cabin environment," *Cell Rep Phys Sci*, vol. 4, no. 4, p. 101375, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.xcrp.2023.101375.
- [38] V. Rojas Reinoso, V. Romero Hidalgo, J. Pancha Ramos, and J. M. Nejer Guerrero, "Control de la temperatura en el interior del habitáculo de un vehículo," *Lámpsakos*, no. 23, p. 79, May 2020, doi: 10.21501/21454086.3462.
- [39] W. R. Contreras Urgiles, J. Maldonado Ortega, and R. León Japa, "Aplicación de una red neuronal feed-forward backpropagation para el diagnóstico de fallas mecánicas en motores de encendido provocado," *Ingenius*, no. 21, pp. 32–40, Dec. 2018, doi: 10.17163/ings.n21.2019.03.
- [40] James. Almeida and Luis. Barreno, "ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE CO Y CO2 EN EL HABITÁCULO DE UN VEHÍCULO TIPO TODO TERRENO Y TIPO SEDÁN CON RELACIÓN A SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE AIRE INTERIOR," ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2022.