



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**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**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

JAMES ESTEBAN ALMEIDA PADILLA

LUIS SEBASTIÁN BARRENO PALOMINO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**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**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: JAMES ESTEBAN ALMEIDA PADILLA

LUIS SEBASTIÁN BARRENO PALOMINO

DIRECTOR: Ing. JOHNNY MARCELO PANCHÁ RAMOS

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, James Esteban Almeida Padilla y Luis Sebastián Barreno Palomino

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.

Nosotros, JAMES ESTEBAN ALMEIDA PADILLA y LUIS SEBASTIÁN BARRENO PALOMINO, declaramos que el presente trabajo es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de marzo del 2022



James Esteban Almeida Padilla
172723389-0



Luis Sebastián Barreno Palomino
060453512-0

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, **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**, realizado por los señores: **JAMES ESTEBAN ALMEIDA PADILLA Y LUIS SEBASTIÁN BARRENO PALOMINO**, 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. Fernando Mauricio Tello Oquendo. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2022-03-14
Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos MsC. DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2022-03-14
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos MsC. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 _____	2022-03-14

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres Gladis y Elías quienes nunca han dejado de creer en mi capacidad de lograr todo lo que me proponga; que con su amor, paciencia y sacrificio han sido mi pilar fundamental para llegar a cumplir un sueño más e iniciar mi vida profesional con esfuerzo, dedicación y valentía. Mis hermanas Saira y Samanta por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso, por estar en todo momento conmigo. dejarme caer en los momentos más duros y difíciles. Finalmente quiero dedicar el proyecto de titulación a toda mi familia por estar conmigo cuando más lo necesito y no dejarme caer en los momentos más duros y difíciles.

James

Dedico el presente proyecto de investigación a Dios por brindarme la vida y salud para alcanzar mis metas, a mis padres Luis y Mariela quienes con su amor incondicional, su apoyo absoluto y su ejemplo han sido la luz de guía a lo largo de mi vida para llegar hasta aquí y ser una mejor persona, a mi hermana Doménica por su amor, paciencia y apoyo durante toda esta etapa de preparación y aprendizaje, a toda mi familia que siempre estuvieron apoyándome, aconsejándome y brindándome palabras de aliento para culminar con éxito mi preparación profesional, de manera especial dedico este proyecto de investigación en memoria de mi tía Susana quien depositó su confianza en mí, y formó parte importante de mi preparación y de mi vida.

Luis

AGRADECIMIENTO

Mi profundo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Carrera Ingeniería Automotriz, a mis maestros quienes han transmitido sus valiosos conocimientos y experiencia a sus alumnos e hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad. Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Johnny Pancha y al Ing. Juan Rocha, quienes fueron los principales colaboradores durante todo este proceso, quienes con su dirección, enseñanza, conocimiento, apoyo y colaboración permitieron el desarrollo de todo el presente trabajo de titulación.

James

Agradezco sinceramente a Dios por la vida y por permitirme disfrutar de estos momentos de alegría, a mis padres quienes han sido el pilar fundamental en mi vida y en mi formación profesional, a mi hermana y a toda mi familia y amigos que gracias a su apoyo me han permitido alcanzar este anhelado objetivo, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Carrera de Ingeniería automotriz por permitirme formar parte de tan magna institución, a sus docentes por compartir sus conocimientos y experiencias que han contribuido en mi desarrollo como persona y como profesional. De manera muy especial al Ing. Johnny Pancha y al Ing. Juan Carlos Rocha por su confianza, apoyo y amistad incondicional, gracias a la cual fue posible el desarrollo del presente trabajo de Titulación.

Luis

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE GRÁFICOS.....	xii
INDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCION	1

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Justificación	4
1.3. Planteamiento del problema	5
1.4. Objetivos	6
<i>1.4.1. Objetivo general</i>	<i>6</i>
<i>1.4.2. Objetivos específicos</i>	<i>6</i>
1.5. Hipótesis.....	6
1.6. Estado del arte	6

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO	25
2.1. Método científico	25
2.2. Métodos empíricos.....	25
<i>2.2.1. Medición.....</i>	<i>26</i>
<i>2.2.2. Experimentación.....</i>	<i>26</i>
2.3. Metodología cuantitativa	26
2.4. Niveles y determinación de CO y CO₂.....	29
<i>2.4.1. Normativas internacionales de calidad de aire interior</i>	<i>29</i>
<i>2.4.1.1. Norma interestatal rusa GOST 33554-2015</i>	<i>29</i>
<i>2.4.1.2. ASHRAE standard 62.1-2019.....</i>	<i>30</i>
<i>2.4.1.3. Guía de la OMS para calidad de aire interior</i>	<i>30</i>
<i>2.4.1.4. Norma OSHA 3430-04-2011.....</i>	<i>31</i>
<i>2.4.1.5. Guía OSMAN calidad de aire interior</i>	<i>32</i>
<i>2.4.2. Método estático (régimen de ralenti)</i>	<i>33</i>

2.4.2.1.	<i>Equipos utilizados.....</i>	33
2.4.2.2.	<i>Procedimiento de la prueba.....</i>	35
2.5.	Medición de emisiones contaminantes al interior del habitáculo.....	37
2.5.1.	Pre-proceso	37
2.5.1.1.	<i>Toma de datos del vehículo.....</i>	38
2.5.1.2.	<i>Revisión de ventanas.....</i>	38
2.5.1.3.	<i>Verificación de cierre de puertas y ventanas</i>	38
2.5.1.4.	<i>Verificación del sistema de ventilación y climatización</i>	39
2.5.1.5.	<i>Calentamiento y ventilación del vehículo.....</i>	39
2.5.1.6.	<i>Calentamiento y preparación de equipos.....</i>	40
2.5.2.	Proceso	40
2.5.2.1.	<i>Colocación de sondas y configuración de los equipos.....</i>	40
2.5.2.2.	<i>Medición de concentración de CO, CO2 y confort ambiental con filtro A/C usado....</i>	42
2.5.2.3.	<i>Medición de concentraciones de CO, CO2 y confort ambiental con filtro A/C nuevo</i>	44
CAPITULO III.....		45
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	45
3.1.	Gráficas de dispersión.....	45
3.2.	Gráficas de barras.....	55
3.2.1.	Concentraciones de CO y CO2 según el modo de ventilación	57
3.2.1.1.	<i>Concentraciones de CO para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C usado</i>	57
3.2.1.2.	<i>Concentraciones de CO2 para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C usado ..</i>	60
3.2.1.3.	<i>Concentraciones de CO para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C nuevo</i>	63
3.2.1.4.	<i>Concentraciones de CO2 para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C nuevo ..</i>	66
3.2.1.5.	<i>Concentraciones de CO para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C usado.....</i>	69
3.2.1.6.	<i>Concentraciones de CO2 para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C usado.....</i>	72
3.2.1.7.	<i>Concentraciones de CO para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C nuevo.....</i>	75
3.2.1.8.	<i>Concentraciones de CO2 para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C nuevo.....</i>	78
3.2.2.	Concentraciones de CO y CO2 en pruebas completas	81
3.2.2.1.	<i>Concentraciones de CO para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C usado</i>	82
3.2.2.2.	<i>Concentraciones de CO para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C nuevo</i>	83
3.2.2.3.	<i>Concentraciones de CO2 para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C usado ..</i>	84
3.2.2.4.	<i>Concentraciones de CO2 para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C nuevo ..</i>	85
3.2.2.5.	<i>Concentraciones de CO para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C usado.....</i>	86
3.2.2.6.	<i>Concentraciones de CO para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C nuevo.....</i>	87
3.2.2.7.	<i>Concentraciones de CO2 para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C usado.....</i>	88
3.2.2.8.	<i>Concentraciones de CO2 para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C nuevo.....</i>	89
3.3.	Análisis ANOVA.....	90

3.3.1. Kia Sportage Active	91
3.3.1.1. <i>Primer modo de ventilación CO</i>	91
3.3.1.2. <i>Segundo modo de ventilación CO</i>	94
3.3.1.3. <i>Tercer modo de ventilación CO</i>	97
3.3.1.4. <i>Primer modo de ventilación CO2</i>	100
3.3.1.5. <i>Segundo modo de ventilación CO2</i>	102
3.3.1.6. <i>Tercer modo de ventilación CO2</i>	105
3.3.1.7. <i>Prueba completa CO</i>	108
3.3.1.8. <i>Prueba completa CO2</i>	110
3.3.2. Kia Cerato Forte	113
3.3.2.1. <i>Primer modo de ventilación CO</i>	113
3.3.2.2. <i>Segundo modo de ventilación CO</i>	116
3.3.2.3. <i>Tercer modo de ventilación CO</i>	119
3.3.2.4. <i>Primer modo de ventilación CO2</i>	121
3.3.2.5. <i>Segundo modo de ventilación CO2</i>	124
3.3.2.6. <i>Tercer modo de ventilación CO2</i>	127
3.3.2.7. <i>Prueba completa CO</i>	130
3.3.2.8. <i>Prueba completa CO2</i>	132
CONCLUSIONES	136
RECOMENDACIONES	137
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Efectos del CO ₂ en las personas.....	9
Tabla 2-1:	Efectos del CO en las personas.....	10
Tabla 1-2:	Valores referenciales de emisiones contaminantes	30
Tabla 2-2:	Valores referenciales de CO según WHO.....	31
Tabla 3-2:	Límites superior e inferior de las mediciones de algunos contaminantes.....	34
Tabla 4-2:	Características de medición de la sonda de CO	35
Tabla 5-2:	Características de medición de la sonda de CO ₂	35
Tabla 6-2:	Muestra.....	36
Tabla 7-2:	Proceso de medición filtro usado.....	43
Tabla 8-2:	Proceso de medición filtro nuevo	44
Tabla 1-3:	Variables de medición	45
Tabla 2-3:	Nomenclatura para gráficas de dispersión	46
Tabla 3-3:	Tabla para evaluar calidad de aire interior	56
Tabla 4-3:	Promedio concentraciones de CO y CO ₂ Kia Sportage filtro usado.....	57
Tabla 5-3:	Promedio concentraciones CO y CO ₂ Kia Sportage filtro nuevo	64
Tabla 6-3:	Promedio concentraciones CO y CO ₂ Kia Cerato filtro usado	69
Tabla 7-3:	Promedio concentraciones CO y CO ₂ Kia Cerato filtro nuevo.....	75
Tabla 8-3:	Promedio concentraciones CO y CO ₂ Kia Sportage, prueba completa.....	82
Tabla 9-3:	Promedio concentraciones de CO y CO ₂ Kia Cerato, prueba completa	82
Tabla 10-3:	Análisis de varianza para CO – primer modo de ventilación Kia Sportage	92
Tabla 11-3:	Prueba de múltiples rangos CO tipo de filtro, ventilación (a) Kia Sportage	92
Tabla 12-3:	Análisis de varianza para CO – segundo modo de ventilación Kia Sportage.....	95
Tabla 13-3:	Prueba múltiples rangos CO tipo de filtro, ventilación (b) Kia Sportage	95
Tabla 14-3:	Análisis de varianza para CO – tercer modo de ventilación Kia Sportage	97
Tabla 15-3:	Prueba múltiples rangos CO tipo de filtro, ventilación (c) Kia Sportage	98
Tabla 16-3:	Análisis de varianza para CO ₂ – primer modo de ventilación Kia Sportage	100
Tabla 17-3:	Prueba múltiples rangos CO ₂ tipo de filtro, ventilación (a) Kia Sportage	100
Tabla 18-3:	Análisis de varianza CO ₂ – segundo modo de ventilación Kia Sportage.....	103
Tabla 19-3:	Prueba múltiples rangos CO ₂ tipo de filtro, ventilación (b) Kia Sportage	103
Tabla 20-3:	Análisis de varianza CO ₂ – tercer modo de ventilación Kia Sportage.....	105
Tabla 21-3:	Prueba múltiples rangos CO ₂ tipo de filtro, ventilación (c) Kia Sportage	106
Tabla 22-3:	Análisis de varianza CO – prueba completa Kia Sportage.....	108
Tabla 23-3:	Prueba múltiples rangos CO tipo de filtro, prueba completa Kia Sportage	109
Tabla 24-3:	Análisis de varianza CO ₂ – prueba completa Kia Sportage.....	110
Tabla 25-3:	Prueba múltiples rangos CO ₂ tipo de filtro prueba completa Kia Sportage	111
Tabla 26-3:	Análisis de varianza CO – primer modo de ventilación Kia Cerato.....	113
Tabla 27-3:	Pruebas múltiples rangos CO tipo de filtro, ventilación (a) Kia Cerato	114

Tabla 28-3:	Análisis de varianza CO – Segundo modo de ventilación Kia Cerato	116
Tabla 29-3:	Prueba múltiples rangos CO tipo de filtro, ventilación (b) Kia Cerato	117
Tabla 30-3:	Análisis de varianza CO – tercer modo de ventilación Kia Cerato	119
Tabla 31-3:	Pruebas múltiples rangos CO tipo de filtro, ventilación (c) Kia Cerato	119
Tabla 32-3:	Análisis de varianza CO2 – primer modo de ventilación Kia Cerato.....	121
Tabla 33-3:	Prueba de múltiples rangos CO2 tipo de filtro, ventilación (a) Kia Cerato	122
Tabla 34-3:	Análisis de varianza CO2 – segundo modo de ventilación Kia Cerato	124
Tabla 35-3:	Prueba múltiples rangos CO2 tipo de filtro, ventilación (b) Kia Cerato	125
Tabla 36-3:	Análisis de varianza CO2 – tercer modo de ventilación Kia Cerato	127
Tabla 37-3:	Pruebas múltiples rangos CO2 tipo de filtro, ventilación (c) Kia Cerato	128
Tabla 38-3:	Análisis de varianza CO – prueba completa Kia Cerato	130
Tabla 39-3:	Pruebas múltiples rangos CO tipo de filtro, prueba completa Kia Cerato	131
Tabla 40-3:	Análisis de varianza CO2 – prueba completa Kia Cerato	133
Tabla 41-3:	Prueba múltiples rangos CO2 tipo de filtro prueba completa Kia Cerato	133

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Principales fuentes de emisiones contaminantes en el vehículo.....	12
Figura 2-1:	Influencia del filtro A/C en el nivel de concentraciones de contaminantes	24
Figura 1-2:	Estructura de la metodología	28
Figura 2-2:	Punto de muestreo	41
Figura 3-2:	Punto de colocación de las sondas	41
Figura 4-2:	Ubicación de las sondas.....	42

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Temperatura de la cabina.....	8
Gráfico 2-1:	Concentraciones de CO en función del número de ocupantes	8
Gráfico 3-1:	Efectos de CO en la salud de las personas.	9
Gráfico 4-1:	Concentraciones de CO ₂ en el vehículo (Dos adultos)	11
Gráfico 5-1:	Concentraciones de CO ₂ en el vehículo (Familia).....	11
Gráfico 6-1:	Concentración de CO ₂ sin ocupantes.	12
Gráfico 7-1:	Concentración de CO ₂ en la cabina en función de la ventilación	13
Gráfico 8-1:	Concentraciones de CO ₂ recirculación.....	14
Gráfico 9-1:	Variación temporal de la concentración de CO ₂	15
Gráfico 10-1:	Comparación del CO ₂ entre recirculación y aire fresco	16
Gráfico 11-1:	Concentración de CO durante el ralentí (10 vehículos)	17
Gráfico 12-1:	Concentración de CO ₂ durante el ralentí (10 vehículos)	18
Gráfico 13-1:	Concentraciones de CO ₂ para diferentes modos de ventilación	18
Gráfico 14-1:	Concentración de HC / CO a ralentí	20
Gráfico 15-1:	Concentración de CO y CO ₂ en diferentes modos de ventilación	21
Gráfico 16-1:	Concentraciones de contaminantes en función de vehículos circundantes	22
Gráfico 17-1:	Concentraciones de CO en modo de recirculación.	23
Gráfico 18-1:	Concentraciones de CO en modo de entrada de aire fresco.	23
Gráfico 1-3:	Perfiles de concentración de CO para Kia Sportage, según vehículo probado	48
Gráfico 2-3:	Perfiles de concentración de CO para Kia Cerato, según vehículo probado	50
Gráfico 3-3:	Perfiles de concentración de CO ₂ para Kia Sportage, según vehículo probado ..	52
Gráfico 4-3:	Perfiles de concentración de CO ₂ para Kia Cerato, según vehículo probado	55
Gráfico 5-3:	Modo de ventilación 1 de CO filtro usado Kia Sportage	58
Gráfico 6-3:	Modo de ventilación 2 de CO filtro usado Kia Sportage	59
Gráfico 7-3:	Modo de ventilación 3 de CO filtro usado Kia Sportage	60
Gráfico 8-3:	Modo de ventilación 1 de CO ₂ filtro usado Kia Sportage	61
Gráfico 9-3:	Modo de ventilación 2 de CO ₂ filtro usado Kia Sportage	62
Gráfico 10-3:	Modo de ventilación 3 de CO ₂ filtro usado Kia Sportage	63
Gráfico 11-3:	Modo de ventilación 1 de CO filtro nuevo Kia Sportage.....	64
Gráfico 12-3:	Modo de ventilación 2 de CO filtro nuevo Kia Sportage.....	65
Gráfico 13-3:	Modo de ventilación 3 de CO filtro nuevo Kia Sportage.....	66
Gráfico 14-3:	Modo de ventilación 1 de CO ₂ filtro nuevo Kia Sportage.....	67
Gráfico 15-3:	Modo de ventilación 2 de CO ₂ filtro nuevo Kia Sportage.....	68
Gráfico 16-3:	Modo de ventilación 3 de CO ₂ filtro nuevo Kia Sportage.....	69
Gráfico 17-3:	Modo de ventilación 1 de CO filtro usado Kia Cerato Forte.....	70
Gráfico 18-3:	Modo de ventilación 2 de CO filtro usado Kia Cerato Forte.....	71
Gráfico 19-3:	Modo de ventilación 3 de CO filtro usado Kia Cerato Forte.....	72

Gráfico 20-3: Modo de ventilación 1 de CO2 filtro usado Kia Cerato Forte.....	73
Gráfico 21-3: Modo de ventilación 2 de CO2 filtro usado Kia Cerato Forte.....	74
Gráfico 22-3: Modo de ventilación 3 de CO2 filtro usado Kia Cerato Forte.....	75
Gráfico 23-3: Modo de ventilación 1 de CO filtro nuevo Kia Cerato Forte	76
Gráfico 24-3: Modo de ventilación 2 de CO filtro nuevo Kia Cerato Forte	77
Gráfico 25-3: Modo de ventilación 3 de CO filtro nuevo Kia Cerato Forte	78
Gráfico 26-3: Modo de ventilación 1 de CO2 filtro nuevo Kia Cerato Forte	79
Gráfico 27-3: Modo de ventilación 2 de CO2 filtro nuevo Kia Cerato Forte	80
Gráfico 28-3: Modo de ventilación 3 de CO2 filtro nuevo Kia Cerato Forte	81
Gráfico 29-3: Prueba completa de CO filtro usado Kia Sportage.....	83
Gráfico 30-3: Prueba completa de CO filtro nuevo Kia Sportage	84
Gráfico 31-3: Prueba completa de CO2 filtro usado Kia Sportage.....	85
Gráfico 32-3: Prueba completa de CO2 filtro nuevo Kia Sportage	86
Gráfico 33-3: Prueba completa de CO filtro usado Kia Cerato	87
Gráfico 34-3: Prueba completa de CO filtro nuevo Kia Cerato.....	88
Gráfico 35-3: Prueba completa de CO2 filtro usado Kia Cerato	89
Gráfico 36-3: Prueba completa de CO2 filtro nuevo Kia Cerato.....	90
Gráfico 37-3: Medias e interacciones de CO por tipo de filtro ventilación (a) Kia Sportage	93
Gráfico 38-3: Gráfica de intervalos para CO primer modo de ventilación Kia Sportage	94
Gráfico 39-3: Medias e interacciones de CO por tipo de filtro ventilación (b) Kia Sportage	96
Gráfico 40-3: Gráfica de intervalos para CO segundo modo de ventilación Kia Sportage.....	97
Gráfico 41-3: Medias e interacciones de CO por tipo de filtro ventilación (c) Kia Sportage	99
Gráfico 42-3: Gráfica de intervalos para CO tercer modo de ventilación Kia Sportage	99
Gráfico 43-3: Medias e interacciones CO2 por tipo de filtro ventilación (a) Kia Sportage	101
Gráfico 44-3: Gráfica de intervalos para CO2 primer modo de ventilación Kia Sportage	102
Gráfico 45-3: Medias e interacciones CO2 por tipo de filtro ventilación (b) Kia Sportage.....	104
Gráfico 46-3: Gráfica de intervalos para CO2 segundo modo de ventilación Kia Sportage....	105
Gráfico 47-3: Medias e interacciones CO2 por tipo de filtro ventilación (c) Kia Sportage	107
Gráfico 48-3: Gráfica de intervalos para CO2 tercer modo de ventilación Kia Sportage	107
Gráfico 49-3: Medias e interacciones CO tipo de filtro para prueba completa Kia Sportage ..	109
Gráfico 50-3: Gráfica de intervalos para CO prueba completa Kia Sportage.....	110
Gráfico 51-3: Medias e interacciones CO2 tipo de filtro prueba completa Kia Sportage	112
Gráfico 52-3: Gráfica de intervalos para CO2 prueba completa Kia Sportage	112
Gráfico 53-3: Medias e interacciones CO por tipo de filtro ventilación (a) Kia Cerato	115
Gráfico 54-3: Gráfica de intervalos para CO primer modo de ventilación Kia Cerato	116
Gráfico 55-3: Medias e interacciones CO por tipo de filtro ventilación (b) Kia Cerato	118
Gráfico 56-3: Gráfica de intervalos para CO segundo modo de ventilación Kia Cerato	118
Gráfico 57-3: Medias e interacciones CO por tipo de filtro ventilación (c) Kia Cerato	120
Gráfico 58-3: Gráfica de intervalos para CO tercer modo de ventilación Kia Cerato	121

Gráfico 59-3: Medias e interacciones CO2 por tipo de filtro ventilación (a) Kia Cerato	123
Gráfico 60-3: Gráfica de intervalos para CO2 primer modo de ventilación Kia Cerato	124
Gráfico 61-3: Medias e interacciones CO2 por tipo de filtro ventilación (b) Kia Cerato	126
Gráfico 62-3: Gráfica de intervalos para CO2 segundo modo de ventilación Kia Cerato	127
Gráfico 63-3: Medias e interacciones CO2 por tipo de filtro ventilación (c) Kia Cerato	129
Gráfico 64-3: Gráfica de intervalos para CO2 tercer modo de ventilación Kia Cerato	129
Gráfico 65-3: Medias e interacciones CO por tipo de filtro prueba completa Kia Cerato	131
Gráfico 66-3: Gráfica de intervalos para CO prueba completa Kia Cerato	132
Gráfico 67-3: Medias e interacciones CO2 por tipo de filtro prueba completa Kia Cerato	134
Gráfico 68-3: Gráfica de intervalos para CO2 prueba completa Kia Cerato	135

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ESTRUCTURA DE INVESTIGACIÓN

ANEXO B: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN SONDA DE CO

ANEXO C: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN SONDA DE CO₂

ANEXO D: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN TESTO 440

ANEXO E: DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL VEHÍCULO DE PRUEBA CON RESPECTO AL
CONTENIDO DE CO Y CO₂

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue establecer un estudio de la concentración de CO y CO₂, en el habitáculo de 10 vehículos tipo todo terreno (Kia Sportage Active) y 10 vehículos tipo sedán (Kia Cerato Forte), por medio de dos instrumentos de medida de IAQ Testo 440 en conjunto con sondas para CO y CO₂ generando valores de estos contaminantes en función del tiempo de medición para evaluar su comportamiento. Las mediciones se realizaron con dos tipos de filtro de habitáculo (usado / nuevo), tres diferentes modos de uso del sistema de climatización y aire acondicionado, el vehículo estacionado y motor en régimen de ralentí. Para la toma de datos se adoptaron los métodos de prueba planteados en la norma interestatal rusa de VIAQ GOST 33554 – 2015 y se ajustaron ciertos parámetros meteorológicos detallados en la normativa a las condiciones ambientales de la ciudad de Quito. Con los resultados obtenidos se determinó el comportamiento de las concentraciones de CO y CO₂, las cuales dependen del modo de funcionamiento en el que se encuentre el sistema de climatización y A/C, además se caracterizó cada uno de los vehículos estudiados, en donde se estableció que el nivel de CO depende del adecuado funcionamiento del sistema de climatización del vehículo. En tal virtud se concluyó que con un funcionamiento adecuado del climatizador de los vehículos se puede reducir significativamente el nivel de concentraciones de monóxido y dióxido de carbono, además que empleando filtros de habitáculo en buen estado se consigue una reducción significativa en las concentraciones de estos contaminantes, por lo cual se recomienda realizar los mantenimientos correspondientes a estos sistemas y componentes para su adecuado funcionamiento y por consiguiente la disminución de contaminantes en el habitáculo de los vehículos.

Palabras clave: <CALIDAD DE AIRE>, <FILTRO DE HABITÁCULO>, <EMISIONES CONTAMINANTES>, <CONFORT AMBIENTAL>, <SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN>.

1046-DBRA-UPT-2022



SUMMARY

The objective of this research was to establish a study of CO and CO₂ concentration in the interior of 10 all-terrain vehicles (Kia Sportage Active) and 10 sedan-type vehicles (Kia Cerato Forte) using two measuring instruments of IAQ Testo 440 with probes for CO and CO₂ generating values of these contaminants based on the measurement time to evaluate their behavior. The measurements were made with two types of cabin filters (used/new), three different modes of use of the air-conditioning system, the vehicle parked, and the engine idling. For data collection, the test methods proposed in the Russian interstate standard of VIAQ GOST 33554 – 2015 were adopted, and certain meteorological parameters detailed in the regulations were adjusted to the environmental conditions of the city of Quito. With the results obtained, the behavior of the concentrations of CO and CO₂ was determined, which depends on the operating mode in which the air conditioning and A/C system are found, in addition, each of the vehicles studied was characterized, which established that the level of CO depends on the proper functioning of the vehicle's air conditioning system. Consequently, it was concluded that with an adequate operation of the air conditioning of the vehicles, the level of concentrations of carbon monoxide and dioxide can be significantly reduced. In addition to using cabin filters in good condition, a significant reduction in the concentrations of these pollutants is achieved. For this, it is recommended to carry out the maintenance corresponding to these systems and components for their proper functioning and therefore the reduction of pollutants in the vehicle interior.

Keywords: <AIR QUALITY>, <CABIN FILTER>, <POLLUTING EMISSIONS>, <ENVIRONMENTAL COMFORT>, <AIR CONDITIONING SYSTEM>.



Lcda. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCION

La calidad del aire es uno de los aspectos fundamentales de seguridad pasiva dentro del vehículo, ya que influye en el comportamiento, confort y salud de los ocupantes. El microambiente de la cabina de los vehículos de motor ha sido de particular interés para el público, aunque los viajeros suelen pasar solo el 5.5% de su tiempo en vehículos, las emisiones de varios componentes interiores de los vehículos de motor, así como las emisiones de los gases de escape transportados por el suministro de aire de ventilación, son fuentes importantes de contaminantes atmosféricos nocivos que podrían conducir a una exposición humana no saludable debido a sus altas concentraciones dentro de las cabinas de los vehículos (Xu, Chen y Xiong 2018).

Las concentraciones de Monóxido de Carbono y de Dióxido de Carbono en el medio ambiente pueden ser perjudiciales cuando los niveles alcanzan la susceptibilidad de las personas que están siendo expuestas al realizar actividades relacionadas con su vida laboral como el transporte en automóviles, humo de cigarrillo, incendios o uso de elementos de gas sin ventilación adecuada. Según (Bejarano Garzon y Barrero Prieto 2014) “La mayor parte de exposición a estos gases se genera en los automóviles y ambientes pequeños con pobre corriente de aire”.

Las emisiones contaminantes como el CO₂ y el CO producida por la combustión tiene una gran incidencia en la calidad del aire en el interior del vehículo y esto puede tener consecuencias graves o fatales para los ocupantes. Según (EL UNIVERSO 2020) “Dos servidores policiales fueron encontrados sin vida en el interior de un patrullero, en el sector del Valle de los Geranios, norte de Guayaquil”. Cada vez son más comunes las noticias referentes a esta problemática en el Ecuador suscitándose principalmente en personas que trabajan en horario nocturno y por el cansancio físico requieren descansar en sus vehículos.

Lo mencionado anteriormente demuestra la relevancia que tienen las concentraciones de emisiones como el CO y el CO₂ dentro del habitáculo del vehículo las cuales dependiendo de múltiples factores pueden llegar a elevarse a tal punto de producir riesgos graves para la salud e incluso la vida de sus ocupantes. (EL UNIVERSO 2020) menciona que “La concentración de monóxido de carbono en un vehículo de gasolina cuando está parado y con el motor en marcha es la causa principal de muerte por intoxicación en Estados Unidos, según registra la Biblioteca Nacional de Medicina de ese país”. Cabe mencionar que estos casos se han producido cada vez con mayor frecuencia en nuestro país siendo la causa de deceso de algunos servidores policiales en fechas recientes.

Por todas estas razones, se realizó este proyecto de investigación con el fin de determinar las concentraciones de CO y CO₂ al interior del habitáculo de vehículos tipo todo terreno y sedán,

utilizando diferentes variables de funcionamiento del climatizador y filtros de habitáculo nuevo/usados, basándonos en la metodología y parámetros establecidos en la norma Interestatal Rusa Content of pullants in the interior of driver's cab and Passenger compartment (GOST 33554 2015).

El presente documento está dividido de la siguiente manera, el capítulo 1 hace referencia al marco teórico referencial en el cual se reúne la información documental y teórica que nos proporcionó un conocimiento profundo dando significado y validez a la investigación, en el capítulo 2 se establece el marco metodológico, el cual se encarga de revisar los procesos y metodología que se siguió para realizar la investigación, y finalmente en el capítulo 3 se plantea los resultados y discusión de los mismo, y la estructura planteada se encuentra en el anexo A.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

La calidad del aire interior es un aspecto fundamental, pues está directamente relacionado con el confort y salud de las personas en espacios cerrados, por lo cual varios países alrededor del mundo han establecido estándares de confort ambiental en cuanto a aspectos como temperatura, humedad y emisiones contaminantes presentes. Entre las emisiones contaminantes se pueden destacar el monóxido y dióxido de carbono, que son gases que, en ciertas condiciones, pueden ser altamente tóxicos y peligrosos para la salud de las personas. Llegando, en algunos casos, a producir el deceso de las personas por una prolongada exposición a estos gases. Debido a las razones mencionadas anteriormente las investigaciones y medidas de seguridad, con respecto a la calidad de aire interior, han tomado cada vez más impulso y relevancia, investigando los efectos que producen estas emisiones en la salud de las personas, los decesos que se han producido y estandarizando niveles de concentraciones de CO y CO₂ para alcanzar el confort ambiental en un espacio cerrado y mitigar estos sucesos.

En los Estados Unidos “los vehículos de motor dominan las emisiones antropogénicas totales de CO, contribuyendo el 79% de las emisiones totales estimadas en 1996” (Marr et al. 1998). Una dimensión importante del problema del CO son las intoxicaciones fatales accidentales. Según (Marr et al. 1998) una revisión publicada de los certificados de defunción indica que el escape de los automóviles causó 6600 muertes por intoxicación por CO no intencional en los Estados Unidos durante 1979–1988, y en 1988, los gases de escape de los vehículos causaron 500 muertes no intencionales por envenenamiento por CO.

En un estudio de muertes no intencionales por envenenamiento por CO y CO₂ realizado por el Departamento de Servicios de Salud de California, se evaluaron los certificados de defunción y los informes de los médicos forenses de 1979 a 1988 para determinar la ubicación y la causa de envenenamiento. Entre 128 informes de intoxicaciones accidentales por CO debido a gases de vehículos, 80 incidentes ocurrieron en un garaje o una casa, 38 involucraron un vehículo estacionado afuera, 4 ocurrieron mientras conducía y las circunstancias de las muertes restantes no se especificaron. Entre todos los casos, la causa más común de intoxicación fue conducir al garaje y dejar el automóvil en marcha (42% de las muertes). Arrancar el automóvil para realizar el mantenimiento (25%) y/o para proporcionar calor (23%) fueron los siguientes casos de muertes más frecuentes (Marr et al. 1998).

Durante 1980 – 1995, un total de 56 muertes por intoxicación por CO relacionadas con vehículos de motor ocurrieron en Nuevo México: 24 (43%) fueron causadas por la combinación de un sistema de escape defectuoso y un compartimiento de pasajeros con ventilación inadecuada; 22 (39%), por la operación de un vehículo de motor dentro de una estructura mal ventilada; y 10 (18%), mediante el uso de un dispositivo de calefacción que queme combustible en el interior de un habitáculo con ventilación inadecuada. Durante este periodo el número de muertes aumentó drásticamente durante octubre y alcanzó su punto máximo durante diciembre y enero ((CDC) 1996).

El CO y el CO₂, en el microambiente de la cabina del vehículo, no solo influye en la salud de las personas, sino también en la calidad de aire interior del vehículo (VIAQ) que, según (Barnes et al. 2018) las personas de las sociedades modernas pasan el 70% de su tiempo en interiores lo cual es motivo para que la calidad de aire interior reciba una atención significativa por parte de investigadores, funcionarios gubernamentales, y el público en general. En base a este tipo de análisis se han desarrollado diversos estudios que buscan de alguna manera establecer la concentración de emisiones contaminantes al interior del habitáculo, y así prevenir los acontecimientos antes mencionados y mejorar la VIAQ.

1.2. Justificación

La importancia de la calidad de aire interior radica principalmente en los efectos que esta puede producir en las personas, pues en el ámbito laboral y empresarial, son factores que determinan su rendimiento y productividad, de este modo, al producirse un deterioro en la calidad del aire por factores como la temperatura, humedad y gases contaminantes, influirá directamente en el confort de las personas, así como los aspectos mencionados con anterioridad e incluso su salud e integridad.

La calidad de aire entonces se contrasta con el creciente incremento de vehículos y con el tiempo que las personas pasan en ellos, pues según (Xu, Chen y Xiong 2018), “Las personas pasan un promedio del 5.5% de su tiempo en automóviles”. Lo que implica que, al estar en un espacio cerrado, se pueden dar exposiciones a varios contaminantes ambientales como el material particulado, compuestos orgánicos volátiles (VOCs), y compuestos semi orgánicos volátiles (SVOCs) como el monóxido de carbono y dióxido de nitrógeno.

Las exposiciones mencionadas se tornan especialmente peligrosas cuando las personas, por sus distintas necesidades, ocupan los vehículos por periodos prolongados, exponiéndose a estos gases contaminantes por periodos que pueden afectar su salud, e incluso su vida, como lo menciona

((CDC) 2021) “Cada año, al menos 430 personas mueren en los EE. UU. Por intoxicación accidental con CO”. Además, según la ((CDC) 1992) “Las muertes por intoxicación involuntaria por monóxido de carbono (CO) en los Estados Unidos son el resultado principalmente de la exposición a los gases de escape de los vehículos de motor y ocurren con más frecuencia durante los meses fríos del año y en los estados del norte y medio-oeste”.

Una exposición a altas concentraciones de gases contaminantes puede causar efectos muy peligrosos para el desempeño del conductor, pues incide directamente sobre la fatiga que este experimenta como lo menciona (Galatsis et al. 2001) “La fatiga a menudo es asociada con sensaciones de ahogo, somnolencia, pérdida de alerta, inhabilidad para concentrarse y reacciones lentas”. Estos aspectos representan un factor extremadamente peligroso debido a que bajo estas condiciones se pueden producir accidentes por la incapacidad del conductor de dirigir el vehículo.

Uno de los factores que se encuentran altamente relacionados con la calidad de aire interior en vehículos, es el climatizador, pues debido a las condiciones ambientales, se lo utiliza para alcanzar una temperatura que facilite el confort ambiental al interior del habitáculo, sin embargo, esto puede dar paso a mayores concentraciones de contaminantes dependiendo de su modo de utilización, lo cual daría lugar a las condiciones revisadas previamente, en tal virtud es un elemento que debe ser analizado en cuanto a su influencia en la concentración de emisiones como CO y CO₂ al interior del habitáculo del vehículo.

1.3. Planteamiento del problema

Uno de los principales causantes del deterioro de la calidad del aire interior son el CO y CO₂ provenientes de la combustión de los vehículos, los cuales pueden ingresar al habitáculo del vehículo por diversos factores, provocando que los ocupantes se expongan a estos gases, incidiendo en su salud y su confort ambiental. En el Ecuador, muchas personas desconocen de la importancia de las concentraciones de monóxido y dióxido de carbono en el microambiente de la cabina del vehículo y su incidencia en la calidad de aire interior. Debido a esta problemática se busca establecer un estudio acerca de la concentración de CO y CO₂ en el habitáculo del vehículo mediante ensayos y el uso del instrumento de medida de IAQ, para determinar su incidencia en la calidad de aire.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Establecer un estudio de la concentración de CO y CO₂ en el habitáculo de vehículos tipo todo terreno y sedán, mediante el uso del instrumento de medida de velocidad de aire e IAQ Testo 440, para determinar su incidencia en la calidad del aire.

1.4.2. Objetivos específicos

- Efectuar la medición de concentración de gases contaminantes y calidad de aire mediante el uso del instrumento de medida de IAQ Testo 440.
- Identificar las circunstancias en las que las emisiones contaminantes se acumulan en el habitáculo del vehículo por medio de una revisión bibliográfica de artículos científicos y otros estudios al respecto.
- Aplicar diferentes variables de funcionamiento del climatizador con el motor encendido, para alcanzar las condiciones de confort ambiental al interior del habitáculo.
- Determinar la influencia del filtro de habitáculo usado/nuevo en la calidad de aire interior y la concentración de CO y CO₂.
- Analizar los resultados de la medición de concentración de CO y CO₂, comparándolos con valores estándar de las normas ASHRAE 62.1 2019, GOST 33554-2015 y artículos científicos, mediante un análisis estadístico.

1.5. Hipótesis

Mediante el análisis de calidad de aire interior (IAQ) y confort ambiental, con el vehículo encendido en régimen de ralentí y la aplicación de distintas condiciones de funcionamiento del climatizador en conjunto con el filtro de habitáculo, se determinará si las concentraciones de CO y CO₂ dentro de la cabina del vehículo sobrepasan los valores estándar recomendados por las normas (GOST 33554 2015), (World Health Organization 2010) y (ANSI/ASHRAE Standard 62.1 2019).

1.6. Estado del arte

En los últimos años, se ha puesto más énfasis en optimizar el confort térmico para los ocupantes de vehículos para proporcionar una experiencia de conducción agradable (Alahmer, Abdelhamid y Omar 2012). Debido a que los seres humanos somos diferentes, el confort térmico en el habitáculo generalmente se refiere a ciertos parámetros óptimos aceptables por el mayor porcentaje posible

de un grupo de personas (Simion, Socaciu y Unguresan 2016). La mayoría de los fabricantes de automóviles se centran en aumentar el confort térmico humano, para lo cual proporcionan un sistema para sus automóviles que asegure la ventilación, calefacción y refrigeración del aire en el habitáculo. Según (Simion, Socaciu y Unguresan 2016) “una agradable sensación térmica podría aportar a los ocupantes no solo con lucidez y un buen estado físico, sino también con más concentración y motivación al estar conduciendo”.

La evaluación del confort térmico del cuerpo humano en el interior de los vehículos está relacionada con factores ambientales, organismo humano y la ropa (Simion, Socaciu y Unguresan 2016) todos los factores que contribuyen deben tenerse en cuenta para lograr condiciones que la mayoría de los pasajeros perciban como cómodas. Los factores medibles que influyen en el confort térmico son: temperatura del aire, velocidad del aire, temperatura radiante y humedad relativa. Según (Rojas Reinoso et al. 2020) “la temperatura ambiente ideal para mantener la concentración, lucidez y confort oscila entre 18 °C y 25 °C, a diferencia de la del cuerpo humano que oscila entre los 33.5 °C y los 37 °C”. Con relación a la humedad relativa (Simion, Socaciu y Unguresan 2016) mencionan que la humedad relativa entre 30% - 70% no influye en el confort térmico; cuando la HR es superior al 70%, evitará el sudor, se evapora y luego causa una sensación de clima bochornoso y deja que los ocupantes caigan incómodos ,cuando la HR es inferior al 30%, causa sensación de sequedad y tiene un efecto negativo en las membranas mucosas En condiciones normales de operación, la diferencia de temperatura del habitáculo y el exterior debe estar entre los 8°C a 10°C, siendo menor la del habitáculo; cuando la temperatura ambiental excede los 26.6°C, el interior del vehículo puede alcanzar los 40.6°C en menos de 20 minutos y resultar perjudicial para las personas que se encuentran dentro del habitáculo (Rojas Reinoso et al. 2020).

Para alcanzar el confort térmico en el vehículo se hace uso del sistema de climatización y el aire acondicionado, dentro del climatizador existe el control de temperatura para lo cual su función principal, según (Rojas Reinoso et al. 2020), es mantener lúcido al conductor e incidir en el cuidado de la salud de todos sus ocupantes, de modo que brinda confort climático, mediante el tratamiento del aire en el habitáculo y, permitiendo su regulación por medio de controles de fácil operación. El confort térmico no solo sirve para mantener la lucidez de los ocupantes de un vehículo, también es un aspecto muy importante para determinar las concentraciones de emisiones contaminantes al interior del habitáculo, pues dependiendo de distintos factores como la temperatura y el número de ocupantes se hará uso de distintas estrategias del climatizador para alcanzar el confort térmico, tal como lo menciona (Angelova et al. 2019) en un estudio realizado para determinar los niveles de dióxido de carbono producto del proceso metabólico de las personas, determinó que el cambio más importante en la temperatura del aire y la humedad relativa se da en el caso de un solo ocupante del vehículo, debido al prolongado tiempo de exposición como se muestra en la figura

1-1; en base a sus hallazgos, este aspecto cobra gran importancia en los niveles de concentración de CO₂, pues también se determinó que con un mayor número de ocupantes se alcanza el límite de 2500 ppm mucho más rápido como se aprecia en la figura 2-1.

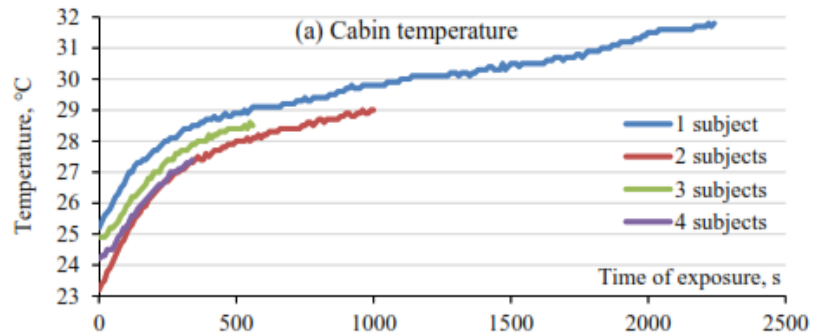


Gráfico 1-1: Temperatura de la cabina
Fuente: (Angelova et al. 2019)

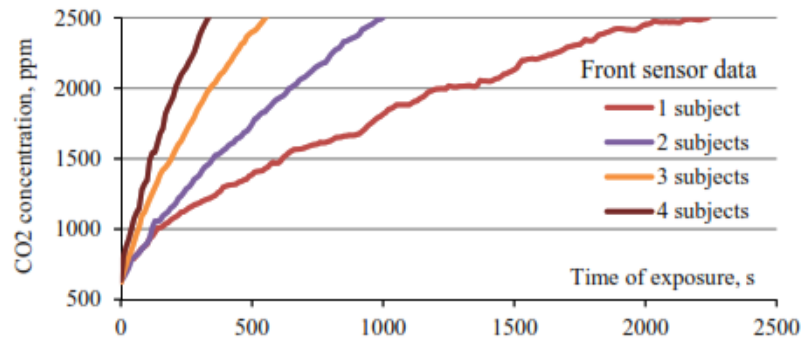


Gráfico 2-1: Concentraciones de CO en función del número de ocupantes
Fuente: (Angelova et al. 2019)

La calidad de aire interior como se ha evidenciado está compuesta por varios aspectos como la temperatura, humedad, y emisiones contaminantes, y su importancia radica en la influencia de estos aspectos en la salud y comodidad de los ocupantes, principalmente en los conductores, pues como se mencionó el confort térmico y ambiental en general influye en la lucidez de este y por ende en su capacidad de reacción para prevenir siniestros de tránsito, según (Kilic y Akyol 2012) “los conductores de automóviles en vehículos con ventilación inadecuada tienen una alta probabilidad de quedarse dormidos y una frecuencia de accidentes relativamente alta”, en tal virtud es fundamental contar con valores de referencia que permitan determinar los efectos de las concentraciones de CO y CO₂ en los ocupantes del vehículo, estos efectos los determina (Mathur 2018), estableciendo que dependiendo incluso del ritmo de respiración, las concentraciones de CO₂ se incrementarán, y estas permanecerán en la cabina si no se emplea un método de ventilación adecuado; también describe los efectos psicológicos del dióxido de carbono, como se puede apreciar en la tabla 1-1.

Tabla 1-1: Efectos del CO2 en las personas.

% VOL OF CO2 IN AIR	EFFECT ON AN AVERAGE ADULT
<0.07%	Normal Air
0.1%	Confort Limit
0.2%	Increase in the breathing rate
2%	50% increase in the breathing rate
3%	100% Increase in the breathing rate, 10 minutes short term exposure limit (PEL)
5%	300% Increase in breathing rate; headache and sweating may begin in 1 hour. Note this is tolerated by most persons, but is physical burdening
8%	STEL
8-10%	Head ache after 10 to 15 minutes, dizziness, buzzing in ears, rise blood pressure, high pulse rate, excitation and nausea.
10-18%	Cramps after a few minutes, epileptic fits, loss on consciousness, a Sharp drop in the blood pressure. Note the victims Will recovery very quickly in fresh air
18-20%	Symptoms similar those of stroke
30%	Unconsciousness in 24 seconds
ppm	To convert to ppm multiply values in % by 10000

Fuente: (Mathur 2018)

El riesgo que se experimenta con una prolongada exposición a monóxido de carbono es muy alto, pues como lo describe (Colwill y Hickman 2012), indicando que la afinidad del CO con la hemoglobina en la sangre humana es de aproximadamente 210 veces más alto que el oxígeno y es por esta razón que incluso en concentraciones de CO relativamente bajas, en tiempos de exposición prolongados se produce una falta de oxígeno a los tejidos; estos efectos y síntomas los podemos evidenciar en la figura 3-1 y en la tabla 2-1.

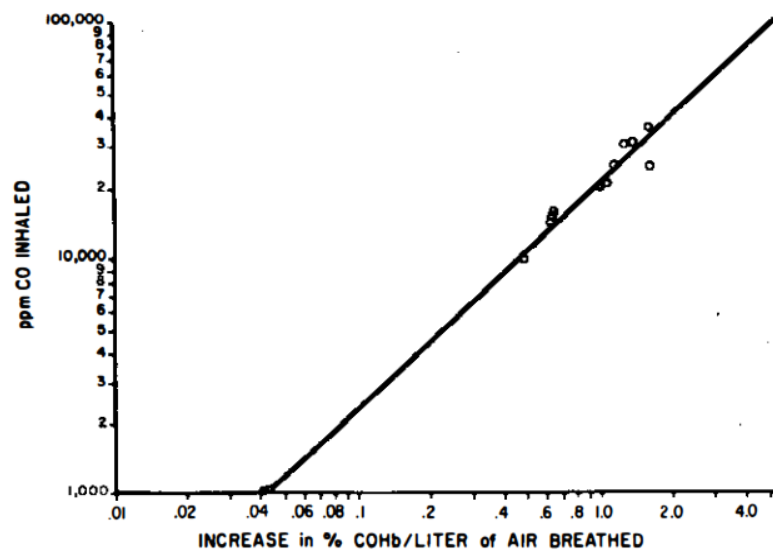


Gráfico 3-1: Efectos de CO en la salud de las personas.

Fuente: (Stewart 1975)

Tabla 2-1: Efectos del CO en las personas

Blood saturation COHb (%)	Response of healthy adult	Response of patient ill with severe heart disease
0.3-0.7	Normal range due to endogenous CO production; no known detrimental effect	
1-5	Selective increase in blood Flow to certain vital organs to compensate for reduction in oxygen carrying capacity of the blood	Patient with advanced cardiovascular disease may lack suficiente cardiac reserve to compensate
5-9	Visual light threshold increased	Less exertion required to induce chest pain in patients with angina pectoris
16-20	Headache; visual-evoked response abnormal	May be lethal for patients with severely compromised cardiac function
20-30	Throbbing headache; nausea; fine manual dexterity abnormal	
30-40	Severe headache; nausea and vomiting; syncope	
50-60	Coma; convulsions	
67-70	Lethal if not treated	

Fuente: (Stewart 1975)

En un análisis adecuado de la calidad de aire al interior del vehículo, se deben determinar las fuentes de contaminantes, y de qué manera ingresan estas emisiones al habitáculo. Para el caso de las emisiones de CO y CO₂ se podría pensar que están relacionadas directamente con el motor de combustión interna, sin embargo, no es la única fuente de CO₂, como mencionan (Gładyszewska-Fiedoruk 2011) en su estudio de nivel de concentraciones de CO₂ al interior del habitáculo en un vehículo. Los investigadores realizaron pruebas en las que determinaron que una persona conduciendo un vehículo exhala tanto CO₂ al igual que durante el ejercicio físico, y no como una persona realiza un trabajo sedentario liviano. Además, determinaron el nivel de concentraciones al considerar la cantidad de ocupantes del vehículo, en donde obtuvieron niveles de concentración de hasta 5000 ppm de CO₂ con dos ocupantes como se observa en la figura 4-1 y en la figura 5-1, para el caso de una familia conformada por dos adultos y dos niños.

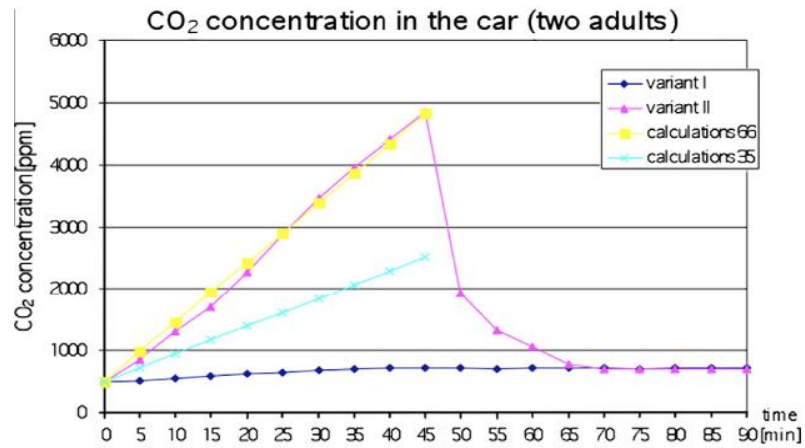


Gráfico 4-1: Concentraciones de CO2 en el vehículo (Dos adultos)
Fuente:(Gladyszewska-Fiedoruk 2011)

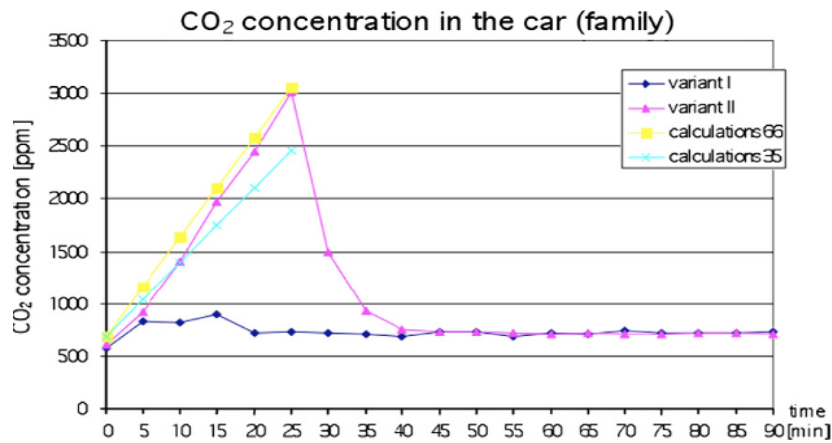


Gráfico 5-1: Concentraciones de CO2 en el vehículo (Familia)
Fuente:(Gladyszewska-Fiedoruk 2011)

Este aspecto se puede sustentar por medio de un estudio realizado por (Deng et al. 2020), en el que se realizó una prueba para determinar que las concentraciones de CO2 al interior de la cabina son independientes de la operación del motor, en el cual se realizó la medición con el modo de recirculación de aire encendida, con y sin ocupantes al interior del vehículo, se determinó que la concentración de CO2 no se acumulaban cuando no se encontraban los ocupantes en la cabina del vehículo, lo cual nos indica que las personas son la principal fuente de CO2 en el interior del vehículo, respaldando también lo que afirma (Chung y Kim 2020), indicando que el CO2 proveniente de la respiración de los ocupantes es una de las principales fuentes de contaminantes internos que afectan a la calidad de aire, esto se aprecia más claramente en las figuras 6-1 y 7-1 respectivamente, sin embargo esto no excluye que se pueda dar ingreso de CO2 proveniente del motor, pues depende en gran medida del cierre adecuado de puertas y ventanas del vehículo y del modo de utilización del climatizador.

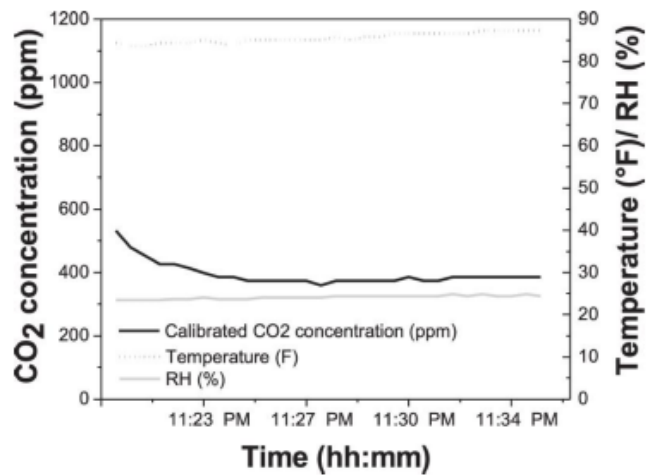


Gráfico 6-1: Concentración de CO2 sin ocupantes.
Fuente: (Deng et al. 2020)

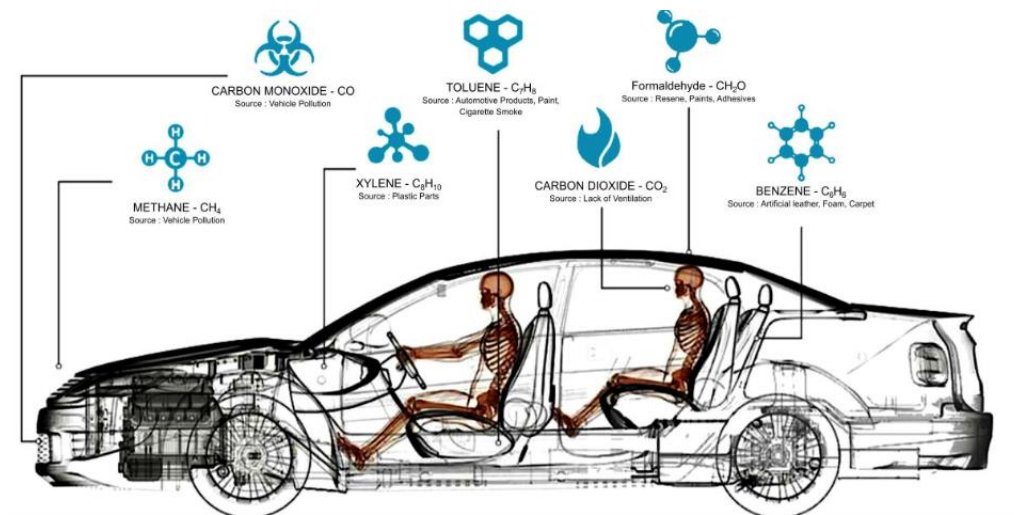


Figura 1-1: Principales fuentes de emisiones contaminantes en el vehículo.
Fuente: (Chung y Kim 2020)

Un aspecto de análisis es la auto contaminación de los vehículos que de acuerdo con un estudio realizado por (Harik et al. 2017), concluye que para los tres vehículos analizados se confirma la ocurrencia de la auto contaminación de los vehículos y establece su porcentaje de exposición en 15% para el CO y 30% para PM. De esta manera se evidencia que las emisiones contaminantes del propio vehículo pueden llegar a causar cierto nivel de concentraciones de CO al interior del habitáculo. Sin embargo, este aspecto también se ve altamente influenciado por el estado y edad del vehículo pues como menciona (Mathur 2011), para un vehículo más antiguo del mismo modelo, la fuga, infiltración o exfiltración de la carrocería es mayor debido al deterioro de las juntas o sellos de la cabina y por lo tanto niveles más bajos de concentraciones de CO₂, este aspecto es importante pues dependiendo de la circunstancias si el habitáculo no es totalmente hermético, podría darse un intercambio de emisiones de la cabina con el ambiente exterior.

La ventilación de los espacios cerrados es muy importante, pues influye directamente en la concentración de contaminantes al interior de este, este aspecto es analizado por (Tessathan et al. 2017), el cual estudio el efecto de la apertura y cierre de puertas en las concentraciones de CO₂ en la cabina del vehículo, en el cual se determinó que las concentraciones de dióxido de carbono experimentaron una caída cuando las puertas se abrieron, este aspecto depende del número de puertas que se abran y el tiempo que permanezcan abiertas. Además este aspecto se respalda con la investigación de (Gładyszewska-Fiedoruk 2011), en el cual estudio el efecto de la velocidad del ventilador en el nivel de concentraciones de dióxido de carbono como se muestra en la figura 8-1.

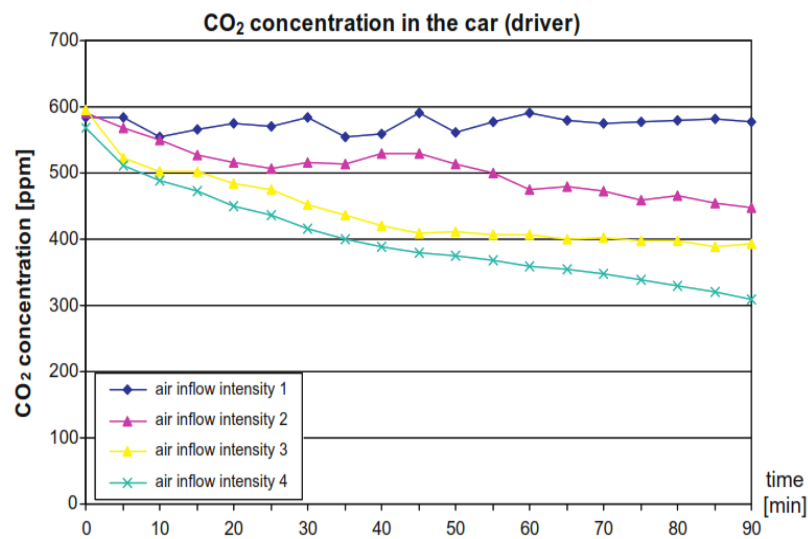


Gráfico 7-1: Concentración de CO₂ en la cabina en función de la ventilación
Fuente: (Gładyszewska-Fiedoruk 2011)

Como se estableció con anterioridad, una de las principales fuentes de dióxido de carbono al interior de un espacio cerrado es la misma persona, de esta manera se podrían generar concentraciones de dióxido de carbono aunque el motor del vehículo se encontrara apagado, y en este punto es donde la ventilación de los espacios cerrados desarrolla un papel fundamental, pues con la ayuda del climatizador se pueden establecer condiciones en las que se disminuyan o se incrementen estas concentraciones, así lo expresa (Ruiz et al. 2018) en su estudio, en el cual realizaron un análisis de las concentraciones de CO₂ en dos parámetros ambientales como las aulas de clase y los vehículos. Para el caso de los vehículos, los investigadores realizaron estudios en 4 autos, tres de ellos en los meses de marzo y abril del 2017, midieron las condiciones ambientales en la cual la temperatura se establecía en un rango de 75 a 83 °F, y 25% - 30% de humedad relativa, además se colocaron sensores para determinar el número de personas y si estas se encontraban hablando durante la prueba. Consideraron dos condiciones para la prueba, la

primera incluía la recirculación de aire encendida y la otra condición se realizó con las ventanas abiertas; bajo estas condiciones se determinó que “las concentraciones de CO₂ en los vehículos alcanzan niveles tan altos como 3000ppm y raramente disminuyen a menos de 600ppm” (Ruiz et al. 2018). Tomando en consideración que uno de las condiciones realizadas durante la prueba es la recirculación de aire interior, y que según (Gladyszewska-Fiedoruk 2011), “la calidad de aire dentro de la cabina cae rápidamente bajo los estándares recomendados si la circulación de aire interior es encendida”. Se puede destacar la influencia que tiene el climatizador en las concentraciones de emisiones contaminantes en espacios cerrados.

El motor de combustión interna es responsable del 87% de las emisiones de monóxido de carbono (Pérez Darquea 2017), sin embargo, también comparten similitudes con el dióxido de carbono en cuanto a las concentraciones que se producen en una determinada condición de climatización y ventilación. Esto se puede evidenciar en un estudio realizado por (Esber y El-Fadel 2008), en el cual analizaron el ingreso de monóxido de carbono a la cabina del vehículo, por medio de varias pruebas de campo entre los meses de Junio a Agosto del 2005 en zonas comerciales y residenciales en Beirut, en el horario de 7:30 a 9:30 en días laborales, colocando analizadores de gases al interior y exterior del vehículo, en el cual determinaron que los niveles más altos de CO se establecieron para la condición de ventanas cerradas y con el sistema de aire acondicionado en recirculación, alcanzando un nivel medio de 30.2 ppm excediendo los valores de calidad de aire. Estos valores detallados los podemos encontrar en la figura 9-1, lo que se demuestra y corrobora una relación entre las emisiones de CO y CO₂ con espacios cerrados y con la función de recirculación.

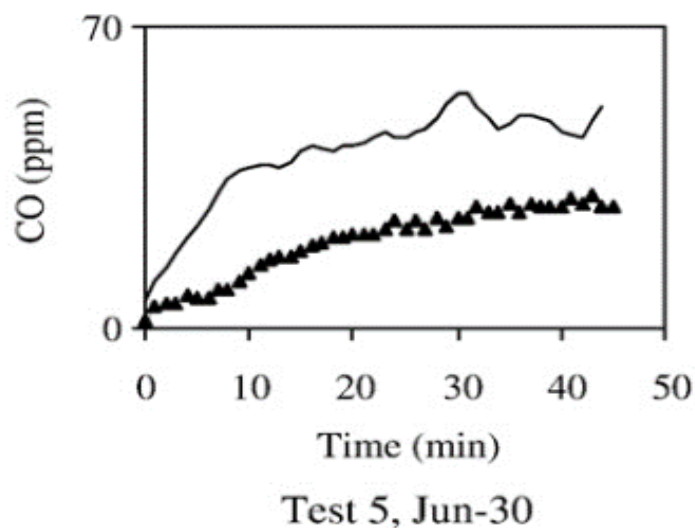


Gráfico 8-1: Concentraciones de CO₂ recirculación
Fuente: (Esber y El-Fadel 2008)

Se sabe que la concentración de CO₂ en el vehículo tiende a aumentar debido a la exhalación de los ocupantes cuando el aire HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) está en modo de recirculación. En un estudio realizado por (Luangprasert et al. 2017) se realizaron experimentos para medir la concentración de CO₂ durante el viaje típico en Bangkok, Tailandia. Llegando a la conclusión de que cuando el vehículo se encuentra encendido, con el aire acondicionado en el modo de recirculación, hay un rápido incremento en el nivel de CO₂ alcanzando niveles superiores a los valores de seguridad prescritos por las normas de calidad de aire interior. Los valores encontrados en la investigación se pueden apreciar en la figura 10-1. Es importante considerar que el aire al interior de la cabina debe renovarse periódicamente para proteger a los ocupantes de efectos de altos niveles de concentración de CO₂ cuando se alcanza o supera el valor umbral de 1200ppm; cabe recalcar que usando el aire acondicionado en modo de recirculación las concentraciones de CO₂ tienden a elevarse, por otro lado activando el modo de renovación de aire o entrada de aire fresco, las concentraciones disminuyen hasta llegar a valores estables y aceptables dentro del confort ambiental, esta comparación se la puede apreciar en la figura 11-1 (Kilic y Akyol 2012). Para complementar los resultados obtenidos por los autores antes mencionados, (Atkinson, Hill y Mathur 2017) indican que el uso del aire 100% recirculado da como resultado altos niveles de dióxido de carbono en la cabina de pasajeros.

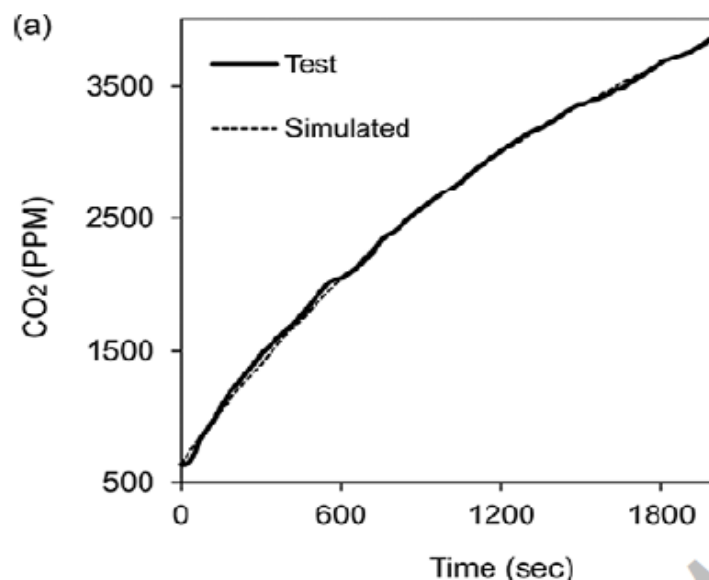


Gráfico 9-1: Variación temporal de la concentración de CO₂
Fuente: (Luangprasert et al. 2017)

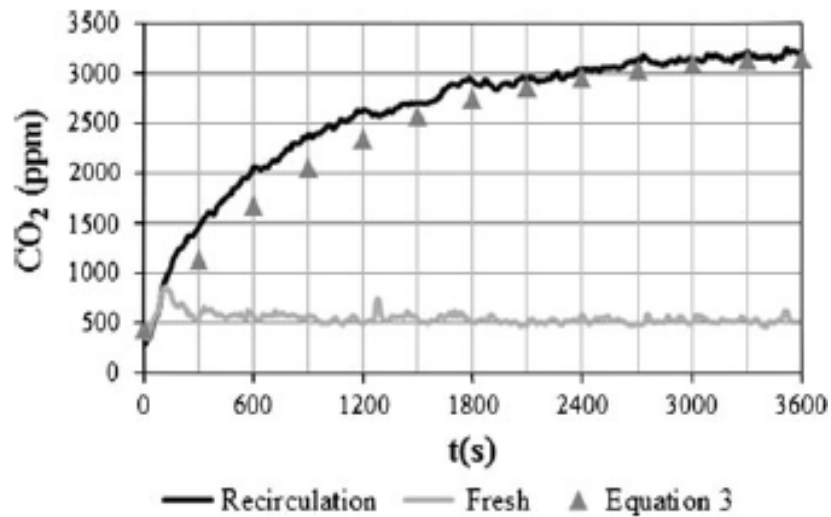


Gráfico 10-1: Comparación del CO₂ entre recirculación y aire fresco
Fuente: (Kilic y Akyol 2012)

Un aspecto importante para considerarse para medir las concentraciones de monóxido y dióxido de carbono, son las condiciones en las que se miden estos parámetros. En un estudio realizado por (Barnes et al. 2018), reclutaron y probaron 51 vehículos de forma voluntaria y aleatoria para realizarse pruebas de emisiones contaminantes interiores durante la conducción, desde mayo hasta septiembre de 2017. Este período fue verano en Hong Kong y todos los vehículos tenían aire acondicionado durante las mediciones del aire. De los cuales 10 de los 51 vehículos fueron seleccionados al azar para realizar una investigación más detallada sobre PM 0.3, PM 2.5, TVOC, CO y CO₂ durante el ralentí del motor. En la condición de ralentí, después de que el motor del automóvil se encendiera durante 10 minutos, midieron los parámetros antes mencionados en un lapso de 10 minutos. Los autores detectaron CO en el 35% de los vehículos durante la conducción y en el 40% de los vehículos durante el ralentí del motor. “Las concentraciones medias de CO durante estas condiciones no fueron significativamente diferentes y dentro de la clase excelente recomendada por IAQ (1.7 ppmv)”(Barnes et al. 2018). Los valores que obtuvieron de CO los autores, durante la prueba de ralentí, se pueden apreciar en la Figura 12-1.

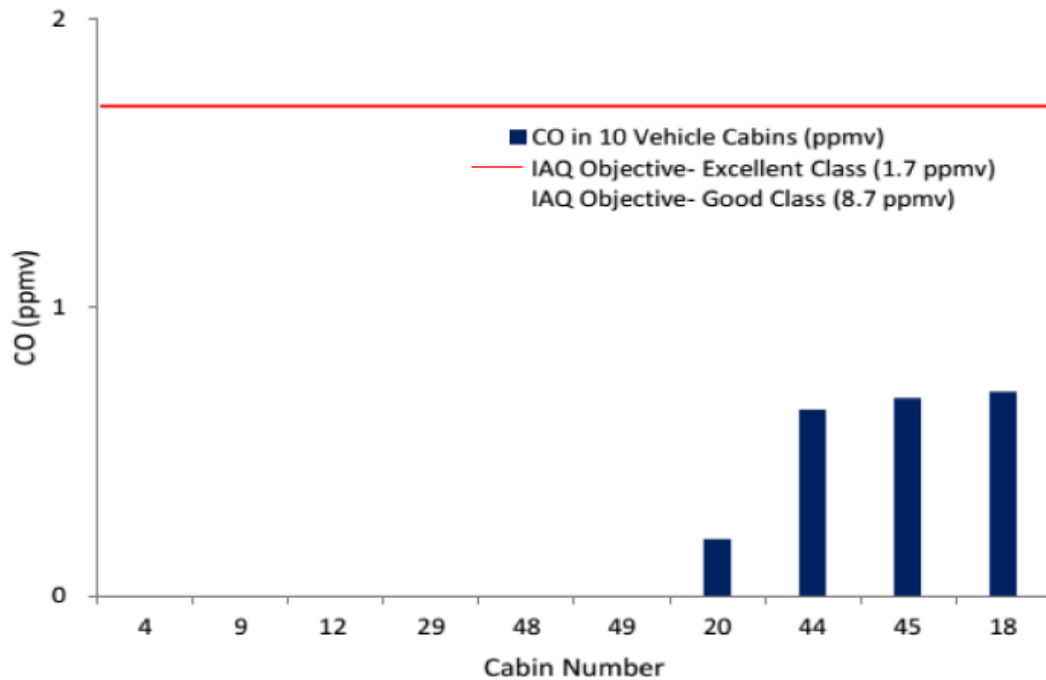


Gráfico 11-1: Concentración de CO durante el ralentí (10 vehículos)
Fuente: (Barnes et al. 2018)

Adicionalmente, (Barnes et al. 2018) indican que entre los vehículos que se probaron, el 96% excedió la recomendación IAQ sobre CO₂ (Buena clase, <1000 ppmv) durante la conducción y el 90% excedió el nivel de clase buena durante el ralentí del motor, y de manera alarmante, ocho vehículos (casi el 16%) tenía niveles superiores a 5000 ppmv (partes por millón en volumen) de CO₂ durante la prueba. En la figura 13-1 se puede apreciar los valores encontrados por los autores durante su investigación. Hay que tomar en cuenta que los altos valores de concentración de CO₂ se dan cuando el aire acondicionado se encuentra encendido en el modo de recirculación como lo sugieren (Tartakovsky et al. 2013) y estos resultados se aprecian en la figura 14-1. El A/C en modo de recirculación no solo tiende a elevar el CO₂, también el CO como lo mencionan (Zulauf et al. 2019).

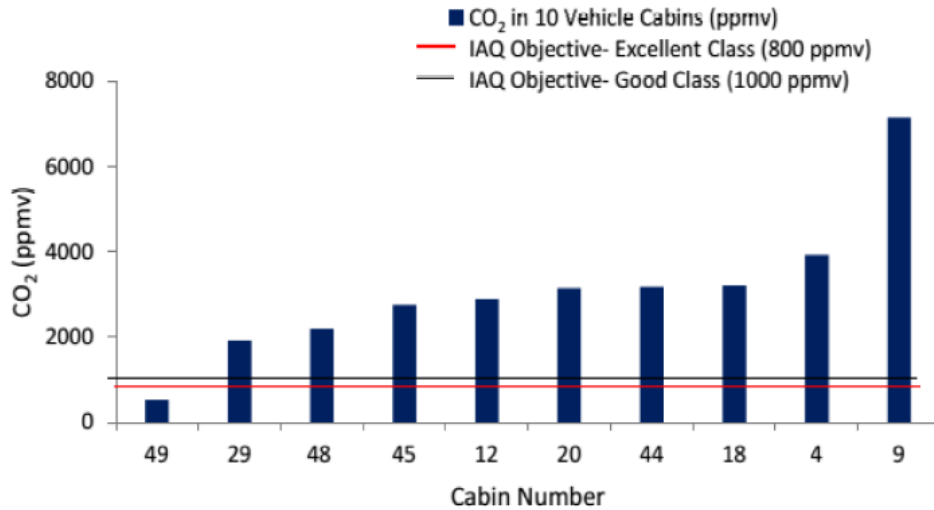


Gráfico 12-1: Concentración de CO₂ durante el ralentí (10 vehículos)
Fuente: (Barnes et al. 2018)

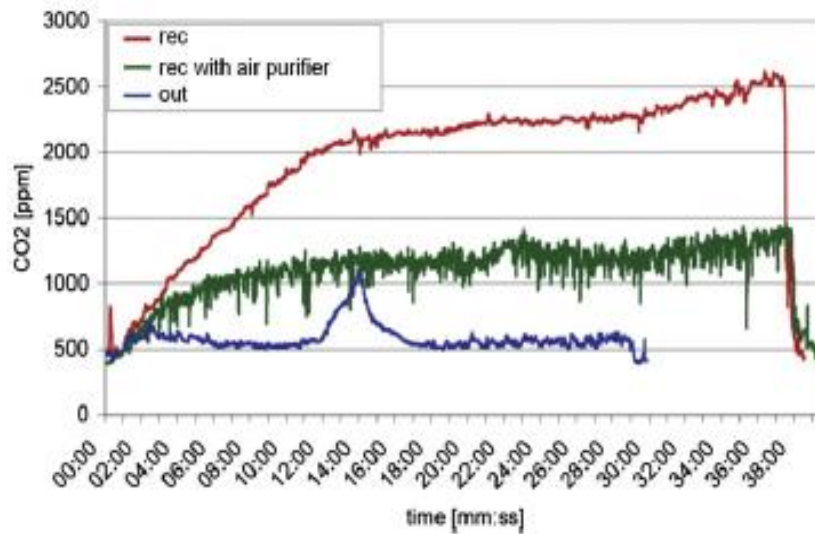


Gráfico 13-1: Concentraciones de CO₂ para diferentes modos de ventilación
Fuente: (Tartakovsky et al. 2013)

Otro aporte significativo dentro de las investigaciones relacionadas al tema de concentraciones de CO y CO₂ en la cabina del vehículo, lo realizaron (Abi Esber et al. 2007) en el cual se fijaron en los perfiles de concentración de monóxido de carbono (CO) en el vehículo, monitoreando un vehículo de pasajeros conducido a lo largo de una ruta muy transitada de un área comercial / residencial de Beirut, Líbano, bajo varios modos de ventilación. Durante los resultados, los investigadores encontraron que los niveles de CO en el vehículo variaron desde debajo del límite de detección hasta tan alto como 120,5 ppm. El nivel medio general de CO en el vehículo fue de 20 ppm, la exposición media más alta la experimentaron para los ajustes de ventilación WC, VC (ventanas cerradas-ventilaciones cerradas) y WC, AC Rec ventanas cerradas-aire acondicionado

en recirculación, con niveles medios de CO de 37,4 y 30,8 ppm, respectivamente, superando así la guía de IAQ de CARB (California Air Resources Board) 1h (20 ppm) y la pauta de la OMS para 1h IAQ (26 ppm).

En la investigación antes mencionada, los autores concluyeron que, la exposición fue menos significativa para los modos WC, AC FA (ventanas cerradas-aire acondicionado en entrada de aire fresco o renovación de aire) y W1/2O, VC (ventana semi abierta-ventilaciones cerradas) con valores medios de 19 y 18,4 ppm, respectivamente (Abi Esber et al. 2007). Finalmente, para los últimos modos de ventilación, los autores indican que el nivel medio de CO no excedió las pautas de IAQ existentes, aunque algunos viajes individuales de 45 min tuvieron un nivel medio que excedió la pauta de IAQ de CARB (Abi Esber et al. 2007). Por otro lado, existen pruebas en entornos controlados, y según (Mathur 2007) este tipo de pruebas tienen como objetivo determinar con precisión la influencia de la velocidad del vehículo y la temperatura ambiente en la cantidad de CO, HC y NOX al entrar en la cabina del vehículo.

Según (Mathur 2007) al ser un entorno controlado, las pruebas fueron realizadas con un túnel de viento, instalando dos sensores en el vehículo para monitorear la concentración exterior e interior de CO, HC y NOX. Dichas pruebas fueron realizadas a varias velocidades del vehículo para determinar su influencia en la cantidad de gases que entran en la cabina. Una de las pruebas más importantes que realiza el investigador (Mathur 2007) es la que se lleva a cabo con el vehículo a ralentí, los resultados de esta prueba presenta valores referenciales de concentración de monóxido de carbono dentro del habitáculo en un entorno controlado como se puede apreciar en la figura 15-1. Durante esta prueba la concentración máxima de CO dentro de la cabina fue de aproximadamente 3ppm y la concentración en el exterior llegó a un máximo de 78ppm. Esto se debe al efecto de las características de fuga corporal. “En ralentí, la fuga corporal fue casi insignificante, por esta razón, la concentración de CO en la cabina se mantiene, en aproximadamente, 3ppm durante mucho tiempo” (Mathur 2007).

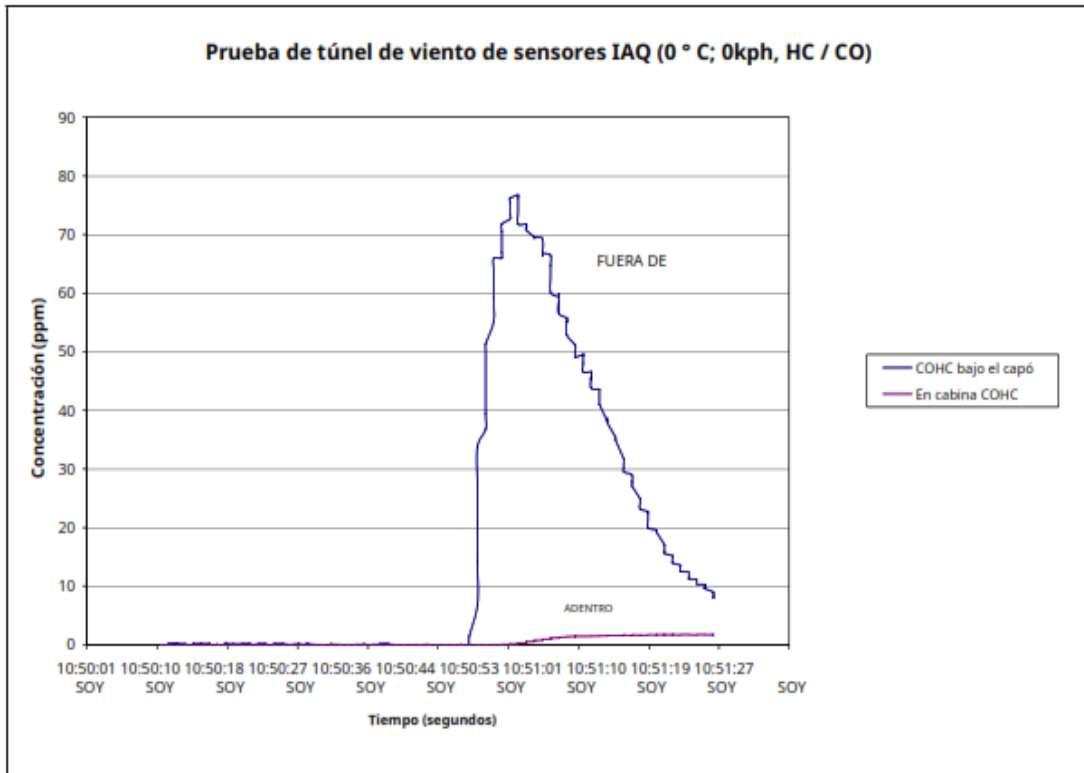


Gráfico 14-1: Concentración de HC / CO a ralentí
Fuente: (Mathur 2007)

Otra investigación de alta relevancia es la realizada por (Xu et al. 2016a), en la cual se resumen los tipos y concentraciones de contaminantes gaseosos medidos dentro de los vehículos que se probaron. Al comparar con el estándar nacional de China, todas las concentraciones, específicamente los VOC, dentro de las cabinas de los vehículos, estuvieron por debajo de los límites, también encontraron que las concentraciones de TVOC, H₂S y CO₂ cambiaron significativamente bajo diferentes condiciones de ventilador (aire exterior, ventilador apagado RC apagada, ventilador encendido RC apagado y ventilador encendido RC encendido). Según (Xu et al. 2016a) bajo la primera condición de ventilación las concentraciones de TVOC y CO₂ aumentaron linealmente a 614.54 y 5.41 $\times 10^6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, bajo la segunda condición de ventilación las concentraciones disminuyeron rápidamente debido al intercambio de aire con el exterior y bajo la tercera condición, las concentraciones de TVOC y CO₂ aumentaron continuamente a 961.89 y 5.01 $\times 10^6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Llegaron a la conclusión de que las concentraciones más altas se observaron en los modos de ventilación 1 y 2 lo cual se puede apreciar en la figura 16-1.

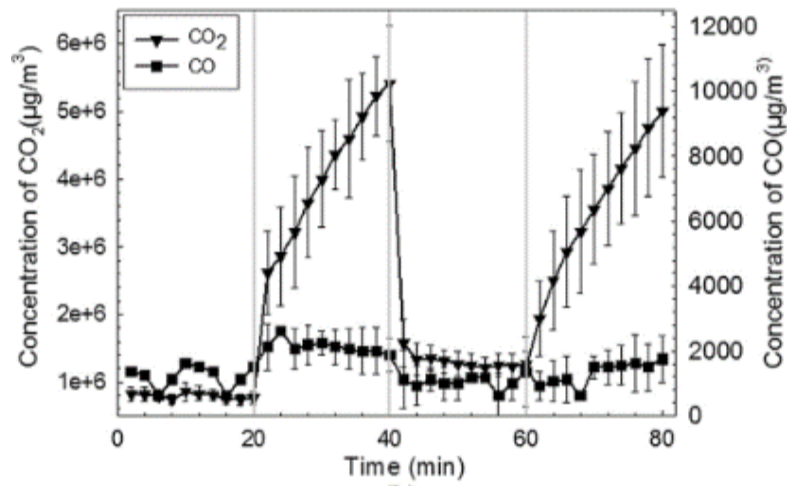


Gráfico 15-1: Concentración de CO y CO₂ en diferentes modos de ventilación
Fuente: (Xu et al. 2016a)

Los investigadores también determinaron que “durante toda la medición, las concentraciones de CO fueron relativamente constantes y cercanas a los niveles ambientales urbanos” (Xu et al. 2016a). Además, afirmaron que la influencia del compartimiento del motor con el aire de la cabina fue pequeña. Varios estudios han demostrado que los factores ambientales tienen gran influencia en la concentración de CO al interior del habitáculo; (Alameddine et al. 2016) encontraron que las concentraciones de CO en la cabina durante un viaje se reducen en función de la meteorología, la calidad de aire ambiental, el tráfico y predictores vehiculares.

Con lo anterior en consideración, uno de los factores que pueden determinar un incremento de concentraciones de monóxido de carbono, son los vehículos circundantes al mismo como fuente de emisión de CO, este aspecto puede verse altamente influenciado por la ubicación del vehículo y las zonas de tráfico, en las cuales se presenten mayor cantidad de vehículos, esto lo determinó (Fruin et al. 2008), indicando que las concentraciones de UFP, CO y NO, en las carreteras arteriales fueron determinadas por la frecuencia de semáforos, aceleraciones y número de vehículos circundantes en cada luz, en función del número de vehículos de gasolina y la congestión, estos datos se aprecian en la figura 17-1.

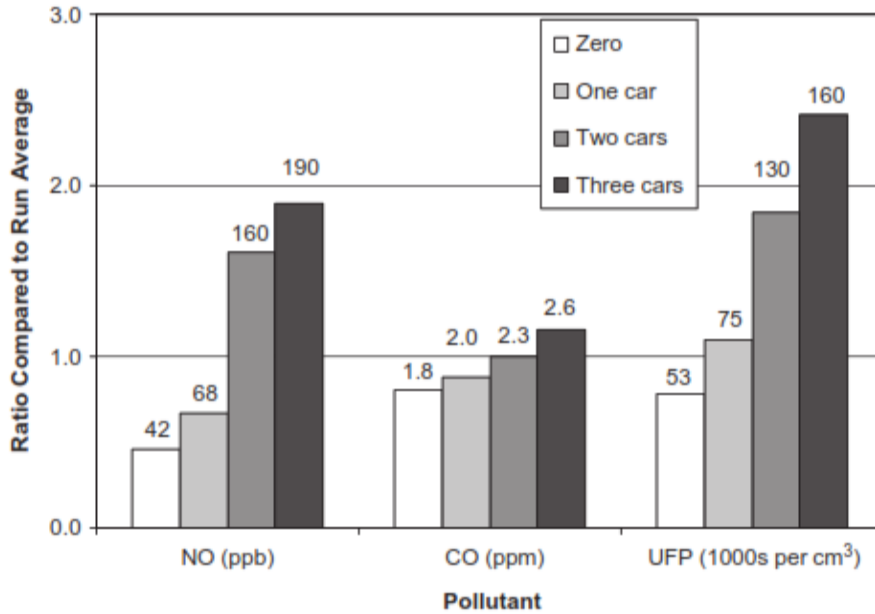


Gráfico 16-1: Concentraciones de contaminantes en función de vehículos circundantes
Fuente: (Fruin et al. 2008)

En base a lo anterior se determina que los vehículos circundantes tienen una influencia significativa en las concentraciones de contaminantes, sin embargo esto también va a depender del cierre de las ventanas y puertas del vehículo, y el modo del sistema de climatización que se emplee, pues se podría pensar que en la función de entrada de aire fresco se producirían mayores concentraciones de CO, sin embargo (Esber y El-Fadel 2008), determinó que las concentraciones de CO exterior fluctúan ampliamente de acuerdo a los parámetros establecidos por (Fruin et al. 2008), en contraste, el patrón de variación de las concentraciones de CO al interior del habitáculo fue relacionado al modo de ventilación empleado, estableciendo una tendencia continuamente creciente en el modo de ventilación de recirculación y las ventanas cerradas, sin embargo también se determinó que para otros modos de ventilación se dio un patrón fluctuante en función de los vehículos circundantes. Estas conclusiones se pueden evidenciar en las figuras 18-1 y 19-1.

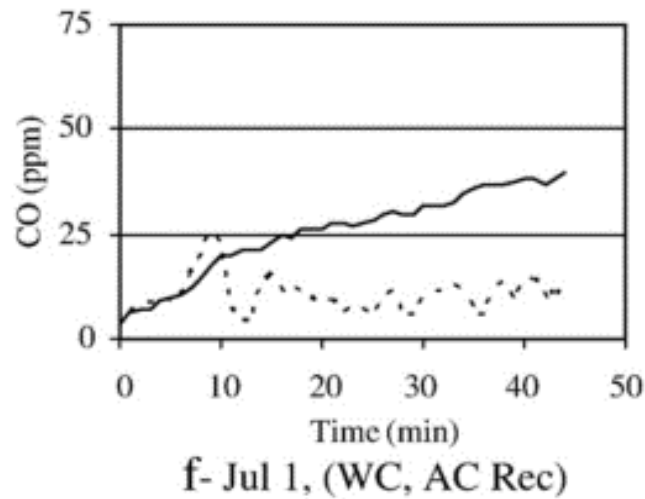


Gráfico 17-1: Concentraciones de CO en modo de recirculación.
Fuente: (Esber y El-Fadel 2008)

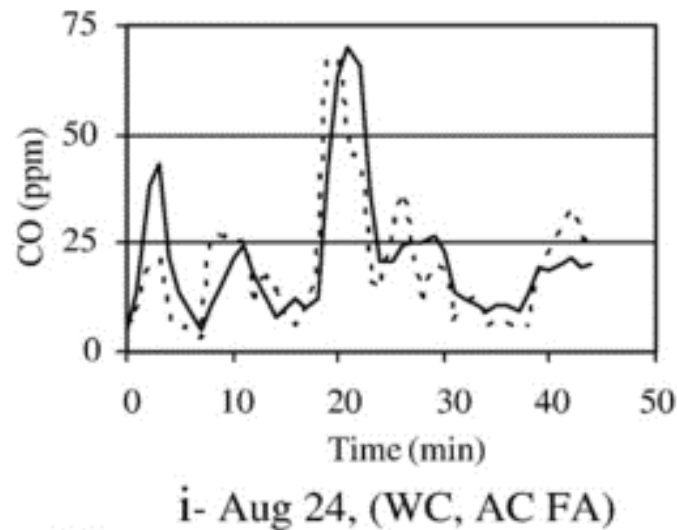


Gráfico 18-1: Concentraciones de CO en modo de entrada de aire fresco.
Fuente: (Esber y El-Fadel 2008)

En las dos figuras se ve que la línea continua representa la concentración de emisiones al interior del habitáculo, mientras que la línea entrecortada representa la concentración de emisiones al exterior del vehículo y se puede apreciar que no existe una correlación de concentraciones de CO al exterior con respecto a las concentraciones de CO interior en el modo de recirculación de aire, sin embargo en el modo de entrada de aire fresco se evidencia una clara relación, lo cual implica que la concentración de emisiones contaminantes al interior del habitáculo depende del modo de ventilación del vehículo.

En cuanto al monóxido de carbono se observa una relación de la concentración de monóxido de carbono con las condiciones ambientales, como lo afirma (Giri, Karthikeyan y Raj 2021), en su estudio

para determinar el efecto de la concentración ambiente de CO, al interior del habitáculo, se encontró que los mayores picos de concentración de CO se dieron entre las 9AM a 11:30 AM en horario matutino y entre las 4.00 PM y 5.00 PM en horario vespertino; esto nos indica que existe una relación de las condiciones ambientales con las concentraciones de CO al interior de la cabina, entre uno de los aspectos ambientales que más influyen en la concentración de monóxido de carbono es el viento como lo expresa (Zulauf et al. 2019), aspecto con el que concuerda (El-Fadel y Abi-Esber 2009), destacando que la velocidad y dirección del viento determina la magnitud y patrón de dispersión en el microambiente, la influencia ambiental en las concentraciones de CO también los determina (Alameddine et al. 2016), indicando que la ocurrencia de un día de lluvia antes del viaje, se encontró que disminuye las concentraciones de CO en un 13%.

Con todas estas consideraciones, es necesario analizar las causas que puedan incrementar las concentraciones de monóxido y dióxido de carbono, y una de ellas es el sistema de filtración de aire de la cabina del vehículo como lo menciona (Lee y Zhu 2014) en su estudio en el que analizaron doce vehículos de diferentes modelos, diferentes manufactureros y países de origen. Monitorearon las concentraciones de UFPs, PM2.5, carbono negro, y CO₂, las condiciones ambientales tanto al interior como exterior del vehículo, y el flujo de aire de ventilación. Las mediciones las tomaron bajo tres condiciones diferentes de funcionamiento las cuales incluyen el vehículo estacionado, en rutas locales y en autopista; en base a estas condiciones se determinó que el reacondicionamiento de los filtros de alta eficiencia (HECA) permite la mitigación simultánea de las concentraciones de UFPs, y CO₂, además en un estudio realizado por (Rudell et al. 1999), en el cual se determinó la influencia de varios filtros en el nivel de concentraciones de contaminantes en la cabina del vehículo como se muestra en la figura 20-1.

Exposure/ test situation	NO ppm	NO ₂ ppm	Particles* mg/m ³	Particles† ×10 ⁶ /cm ³ 0.01–1 μm	Particles EMED† nm	Particles ×10 ⁶ / cm ³ SEM† ≥0.4 μm	CO ppm	HC ppm	Total aliphatics † μg/m ³	Total aromatics† μg/m ³	Formaldehyde* μg/m ³	Acetaldehyde† μg/m ³
Air	<0.02	<0.02	<0.03	<0.001	—	0	<0.05	<0.9	4	11	<6	5
DDE	11.0 (0.13)	0.7 (0.04)	0.29 (0.03)	2.8	55	9.8	1.1 (0.2)	1.4 (0.07)	45	57	36 (6)	27
Filter 1	11.0 (0.13)	0.7 (0.05)	0.17 (0.03)	1.2	51	3.2	1.1 (0.1)	1.3 (0.10)	35	16	35 (5)	27
Filter 2	11.1 (0.13)	0.7 (0.05)	0.11 (0.02)	0.6	55	4.9	1.1 (0.2)	1.3 (0.05)	34	16	39 (3)	27
Filter 3	11.1 (0.16)	0.4 (0.07)	0.16 (0.01)	0.6	57	6.6	1.2 (0.3)	1.0 (0.06)	15	12	40 (7)	29
Filter 4	11.0 (0.16)	0.3 (0.11)	0.15 (0.05)	0.9	56	3.0	1.1 (0.4)	1.0 (0.26)	6	9	36 (2)	30

EMED=Geometric mean of electric mobility equivalent diameter; SEM = scanning electron microscopy; — = not measured; n = 32 except * n=6, † n=1.

Figura 2-1: Influencia del filtro A/C en el nivel de concentraciones de contaminantes
Fuente: (Rudell et al. 1999)

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Método científico

En la presente investigación se planteó la utilización del método hipotético-deductivo, debido a que se considera una metodología que concuerda con nuestros objetivos, y los resultados que se buscan obtener. El método hipotético-deductivo según (Rodríguez y Pérez 2017), “se parte de una hipótesis inferida de principios o leyes o sugerida por los datos empíricos, y aplicando las reglas de la deducción, se arriba a predicciones que se someten a verificación empírica, y si hay correspondencia con los hechos, se comprueba la veracidad o no de la hipótesis de partida”. Este aspecto es corroborado por (Sánchez 2019), el cual menciona que la comprobación de la hipótesis permitiría un incremento de la teoría desde la que esta fue fundamentada, además plantearía la solución a problemas tanto prácticos como teóricos, pero en el caso de no ser así, se podría impulsar a su reformulación hasta agotar los intentos de verificarla o abandonarla.

Además, según argumenta (Han, Boyatzis y Mckee 2019), en este método el investigador combina el razonamiento reflexivo para la creación de la hipótesis y la realización de deducciones; así como la experimentación durante los momentos de la observación y verificación de la hipótesis; de esta manera se destaca la importancia de la observación y de la experimentación en esta metodología, que en el estudio planteado, será fundamental para que, además de la obtención de los valores de concentración de monóxido y dióxido de carbono en el interior de la cabina de los vehículos, por medio de este método se logren establecer conclusiones que permitan verificar o refutar la hipótesis planteada y también la generación de nuevo conocimiento.

En base a lo planteado, consideramos que la presente investigación se ajusta a las condiciones descritas por el método hipotético-deductivo, pues, se parte de la hipótesis planteada en el capítulo anterior con la cual se busca determinar la calidad de aire en el interior de los vehículos en base al nivel de concentraciones de CO y CO₂, y de esta manera, de ser verificada por medio de un análisis estadístico, se establecerán conclusiones generales que podría plantear soluciones para disminuir los niveles de concentración de emisiones contaminantes en el habitáculo de los vehículos, sin embargo, en caso de no ser así, se contribuirá con una base para el posible replanteamiento de la hipótesis y para su verificación en estudios futuros.

2.2. Métodos empíricos

En el presente estudio se utilizaron dos métodos empíricos, ya que, según (Cobas, Romeu y Macías 2010), se emplean fundamentalmente en la primera etapa de acumulación de información empírica

y la tercera de comprobación experimental de la hipótesis de trabajo. Los dos métodos empíricos que se consideraron para el estudio son medición y experimentación, debido a que se realizan mediciones de concentración de CO y CO₂ al interior del habitáculo del vehículo y se plantea la experimentación utilizando el filtro de habitáculo usado y nuevo, con lo cual se busca determinar la influencia que tienen dichos filtros en el nivel de concentraciones.

2.2.1. Medición

El objetivo de desarrollar las mediciones fue obtener información numérica acerca de una propiedad o cualidad del objeto, donde se comparan magnitudes medibles y conocidas (Cobas, Romeu y Macías 2010). En el presente estudio los parámetros fundamentales a medirse fueron las concentraciones de CO y CO₂ en la cabina del vehículo haciendo uso de un equipo de medición de velocidad de aire e IAQ (Indoor Air Quality) Testo 440, siguiendo la guía de la norma interestatal rusa (GOST 33554 2015) y artículos científicos referentes al tema.

A parte de medir las concentraciones de CO y CO₂, también se midieron parámetros importantes para lograr el confort ambiental en el habitáculo como lo son la temperatura, presión y humedad relativa (Rojas Reinoso et al. 2020) haciendo uso del equipo antes mencionado y controlando estas condiciones con la aplicación del aire acondicionado y el sistema de climatización del vehículo a probarse.

2.2.2. Experimentación

En la experimentación se crean condiciones necesarias o adecuan las existentes, para el esclarecimiento de las propiedades y las relaciones del objeto (Cobas, Romeu y Macías 2010). Haciendo énfasis en esta consideración, en la presente investigación se utilizó la experimentación al realizar las mediciones de concentraciones haciendo uso de un filtro de habitáculo o de A/C usado y uno nuevo, con diferentes condiciones de funcionamiento del aire acondicionado. Estas pruebas se realizaron con el objetivo de determinar la influencia que tienen los filtros de habitáculo usados / nuevos y los diferentes modos de funcionamiento del sistema de aire acondicionado en la concentración de CO y CO₂.

2.3. Metodología cuantitativa

Según (Sánchez 2019).La investigación bajo el enfoque cuantitativo se denomina así, pues trata de factores o fenómenos que se pueden medir, lo cual se lo realiza por medio de técnicas estadísticas, con las que se analizan los datos obtenidos, bajo un uso riguroso de la métrica o cuantificación

procesándolos y analizándolos e interpretándolos a través del método hipotético-deductivo, con el propósito de describir, explicar y predecir las causas de estos fenómenos.

Bajo esta consideración, la investigación planteada, utilizó un método cuantitativo, pues se analizarán los valores de concentraciones de CO y CO₂ al interior del habitáculo, y estos datos serán procesados estadísticamente, y por medio del método hipotético-deductivo, se establecerán las conclusiones correspondientes, además un aspecto fundamental con respecto al método cuantitativo es la experimentación, la cual es un instrumento que nos ayudó a determinar la influencia del filtro de habitáculo en el nivel de concentraciones de CO y CO₂.

Según menciona (Sánchez 2019), “el enfoque cuantitativo consiste en formular una hipótesis sobre la base de conocimientos teóricos y de hechos observables en la realidad y llevarlos a la contrastación a través de pruebas e instrumentos debidamente acreditados para ello”. Se destaca entonces que se parte de fenómenos observables o cuantificables para por medio de la experimentación que en el caso del presente estudio serían las mediciones de concentraciones de CO y CO₂, con las distintas variables y condiciones planteadas, poder alcanzar un resultado final del análisis.

En definitiva, al analizar lo que plantean los autores con respecto al método cuantitativo, se consideró que nuestra investigación está enfocada en obtener resultados de esta índole, pues por medio de las mediciones de concentraciones de monóxido y dióxido de carbono al interior del habitáculo se obtendrán valores cuantificables, que por medio de un análisis estadístico se busca analizar el nivel de estas concentraciones y bajo que parámetros y condiciones suceden, para de esta manera, complementar la metodología hipotética-deductiva y la experimental, para así establecer las conclusiones correspondientes, en base a estos valores y amparados en la confiabilidad y precisión de los equipos a utilizarse.

La estructura de la metodología planteada se puede apreciar en la Figura 1-2 en la cual está dividida en 3 secciones importantes. La primera sección hace referencia a los niveles y la determinación de las emisiones durante las pruebas en donde se consideraron algunas normativas internacionales con relación a la calidad de aire al interior del habitáculo de los vehículos, y el método que se va a seguir para la realización de las pruebas en donde se especifica los equipos a usarse y el procedimiento de las pruebas. En la segunda sección se establece la medición de emisiones contaminantes al interior del habitáculo, en la cual se describe el preproceso y el proceso a seguirse. Finalmente, en la tercera sección hace referencia a la obtención y evaluación de resultados realizando las respectivas comparativas con los valores estándar recomendados de las normativas internacionales con respecto a las concentraciones de CO y CO₂

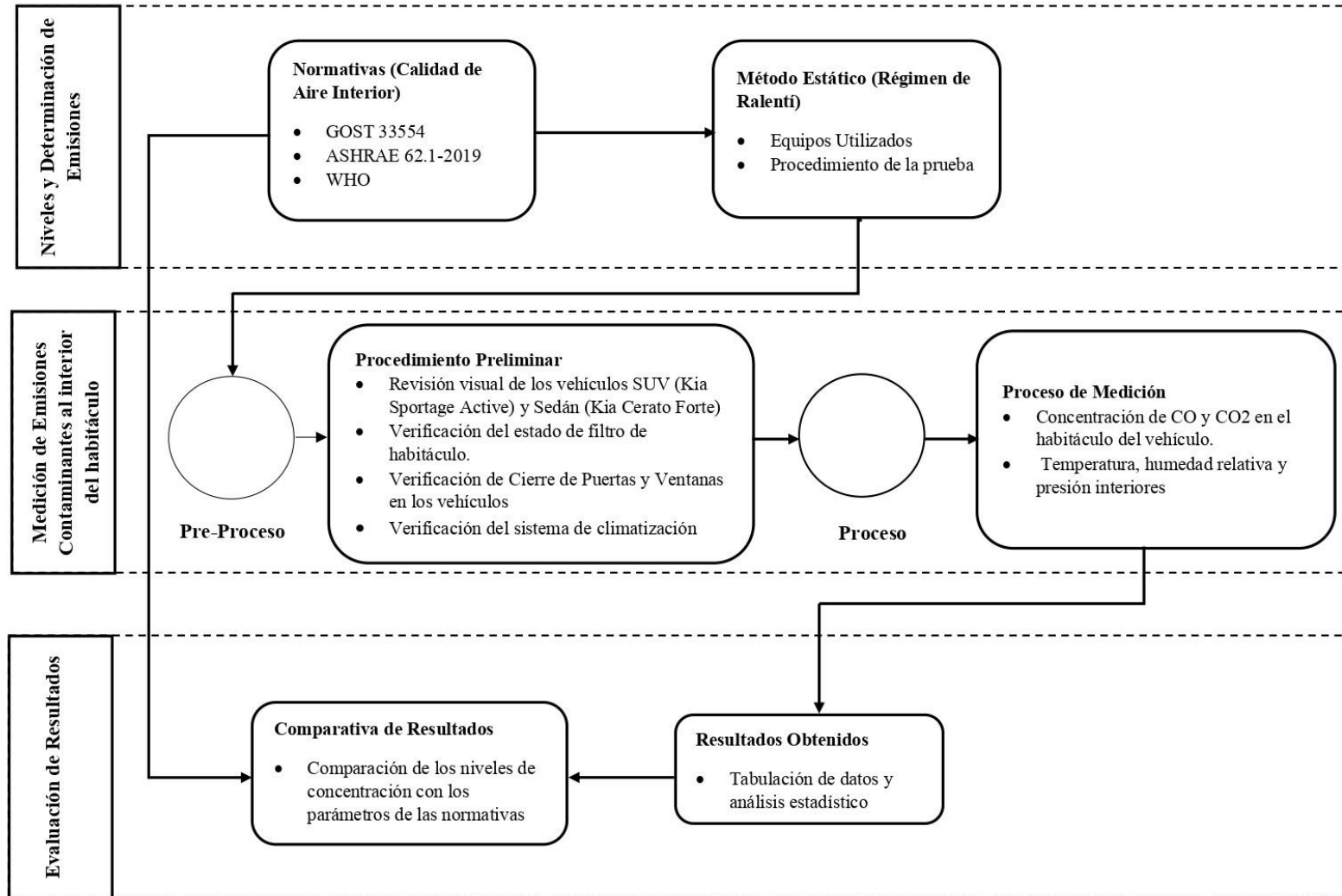


Figura 1-2: Estructura de la metodología
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

2.4. Niveles y determinación de CO y CO2

2.4.1. Normativas internacionales de calidad de aire interior

Es importante la recopilación de varias normativas internacionales que hacen referencia a la calidad de aire en interiores ya que presentan métodos de prueba y valores referenciales recomendados para monóxido y dióxido de carbono. Se realizó la recopilación de varias normativas internacionales que proporcionan niveles de concentración de CO y CO2 y métodos de prueba de calidad de aire al interior del habitáculo de los vehículos lo cual es fundamental en el presente estudio. Las normas que se revisaron se presentan a continuación.

2.4.1.1. Norma interestatal rusa GOST 33554-2015

La norma Interestatal Rusa (GOST 33554 2015) es una norma que determina los límites, métodos de prueba y medición de contaminantes del aire en el compartimiento interior del vehículo, es aplicada para vehículos de las categorías M, N, L₆, L₇, con motores de combustión interna que tengan un compartimiento interior cerrado y una velocidad máxima por diseño de al menos 25 km/h. Esta norma fue desarrollada por la Empresa Unitaria del Estado Federal “Instituto Central de Investigaciones Científicas para automóviles y transporte automotor” NAMI (FGUP “NAMI”), y fue implementada por el Comité Técnico Interestatal de Normalización MTK “Transporte de Carretera” y entró en vigor como norma nacional de la Federación de Rusia el 1 de abril de 2017.

La norma (GOST 33554 2015), determina el procedimiento de medición de contaminantes al interior del habitáculo, además de valores referenciales de estos contaminantes expresados en la tabla 1-2, sin embargo para la metodología planteada se tomaron como referencia además de esta norma varios artículos científicos, es decir que se tomó como base la norma (GOST 33554 2015), y se estableció una metodología propia basada en la norma y en los artículos científicos, debido a que las condiciones ambientales y de medición son diferentes en nuestro medio.

La tabla 1-2 refleja los valores referenciales de emisiones contaminantes establecidos por la norma (GOST 33554 2015), en la que se describen los tipos de contaminantes, su valor de referencia y el tipo de motor en el que son testados en función del tipo de combustible, de esta tabla se utilizará el valor de referencia de monóxido de carbono, como un parámetro a comparar con los valores obtenidos en este estudio, destacando que se utilizaran valores de otras normas para establecer un criterio adecuado de comparación.

Tabla 1-2: Valores referenciales de emisiones contaminantes

Normalized pollutants	MAC; mg/m ³	Tested engine types*
Formaldehyde CH ₂ O	0.05	3,4,5
Nitrogen dioxide NO ₂	0.2	1,2,3,4,5
Nitrogen Oxide NO	0.4	1,2,3,4,5
Carbon Monoxide CO	5.0	1,2,3,4,5
Saturated hydrocarbons		
(C ₂ H ₅ -C ₇ H ₁₆)	50.0	1,2,3
Methane CH ₄	50.0	3,5
*Engine Types		
1. Positive-ignition engine working on gasolina		
2. Positive-ignition engine working on liquefied petroleum gas (LGP)		
3. Positive ignition engines working on compressed natural gas (GNC)		
4. Compression ignition engines working on mixed fuel (diesel + GNC)		

Fuente: (GOST 33554 2015)

2.4.1.2. ASHRAE standard 62.1-2019

La norma (ANSI/ASHRAE Standard 62.1 2019) establece la ventilación para una calidad de aire interior aceptable, con lo que se plantea especificar los rangos mínimos de ventilación y otras medidas para establecer condiciones de calidad de aire (IAQ) que sean aceptables para la ocupación humana y con ello minimizar los efectos adversos en la salud. Esta norma es empleada en varios artículos científicos para establecer los niveles de concentración de CO₂ en espacios interiores los cuales mencionan un valor de referencia de 700 ppm sobre las concentraciones ambientales, con lo que se utilizará esta norma como un valor referencial de los niveles de CO₂ aceptables en espacios interiores. También menciona que el valor estándar recomendado es de 1000 ppm para un promedio de 8 horas de exposición al CO₂.

2.4.1.3. Guía de la OMS para calidad de aire interior

La (World Health Organization 2010), se trata de una guía de calidad de aire interior elaborada por la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization “WHO”) en su oficina regional para Europa, esta guía es aplicada para contaminantes seleccionados en espacios interiores, entre ellos el monóxido de carbono, en la cual se incluye información general acerca de este contaminante, además de los efectos que este causa en la salud y valores referenciales de concentraciones de CO, en base a diferentes estudios, en diferentes legislaciones y ubicaciones considerando el tiempo promedio de exposición, estos valores límite se pueden apreciar en la tabla 2-2; es importante mencionar que como tal esta norma no indica valores referenciales en cuanto a vehículos de manera específica, puesto que considera diferentes fuentes de contaminantes, sin embargo constituye un importante referente para

determinar los valores permisibles de concentraciones de monóxido de carbono independientemente de la fuente de emisión, para que así no produzcan efectos en la salud de las personas.

Tabla 2-2: Valores referenciales de CO según WHO

Valores guía según la OMS basados en efectos conocidos para la salud			
<i>Compuesto</i>	<i>Efecto sobre la salud</i>	<i>Valor guía ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	<i>Tiempo de exposición</i>
Dióxido de Azufre	Cambios en la función pulmonar en asmáticos Aumento de los síntomas respiratorios en individuos sensibles	500	10 minutos
		125	24 horas
		50	1 año
Dióxido de Nitrógeno	Ligeros cambios de la función pulmonar en asmáticos	200 (0.1 ppm)	1 hora
		40 (0.02 ppm)	1 año
Monóxido de Carbono	Nivel crítico de Carboxihemoglobina < 2.5%	100.000 (90 ppm)	15 minutos
		60.000 (50 ppm)	30 minutos
		30.000 (25 ppm)	1 hora
		10.000 (10 ppm)	8 horas
Ozono	Respuestas de la función respiratoria	120	8 horas

Fuente: (OSMAN 2011)

Otro aspecto importante que es mencionado en esta guía son las fuentes de emisiones de monóxido de carbono, en la cual establece que una de las principales fuentes de monóxido de carbono son los vehículos automotores, que es de gran relevancia para este estudio, además establece parámetros de ventilación, pues considera la relación de concentraciones exteriores e interiores, la cual está estrechamente relacionadas con el nivel de ventilación del área en cuestión, este parámetro nos ayudará a establecer criterios para el nivel de concentraciones al interior del habitáculo.

En base a esta información se utilizó la norma (World Health Organization 2010), como fuente de información referente al monóxido de carbono, para realizar la comparativa en el nivel de concentraciones de este contaminante, debido a que esta norma recopila los niveles de concentraciones de CO realizado en varios estudios y en distintos países, facilitando de esa manera la comparativa para determinar la situación actual de nuestro medio en cuanto a los niveles de concentración de este contaminante en espacios interiores, en este caso el habitáculo de los vehículos.

2.4.1.4. Norma OSHA 3430-04-2011

La norma (OSHA 2011), establece información referente al monóxido y dióxido de carbono, definiendo valores referenciales de concentraciones permisibles en función del tiempo de exposición, el cual es un aspecto fundamental al momento de determinar la peligrosidad de este contaminante, esta norma

también incluye recomendaciones para evitar o disminuir los riesgos de la exposición al monóxido de carbono. En tal virtud esta norma complementará las anteriores estableciendo los valores referenciales con los cuales podremos realizar la comparativa planteada.

La normativa (OSHA 2011), determina que la prolongada exposición a altos niveles de CO, puede conducir a daños cerebrales e incluso la muerte, resaltando que el modo de ventilación es un aspecto importante para controlar el nivel de concentraciones; esta norma establece el Límite Permissible de Exposición (PEL) en 50 ppm en un tiempo promedio de 8 horas, y establece un límite recomendado de 35 ppm en un tiempo medio de exposición de 10 horas, además plantea que de acuerdo a la Conferencia Americana de Higiene Industrial Gubernamental (ACGIH), establece un valor límite de CO de 25 ppm en un tiempo de exposición medio de 8 horas.

En lo referente al dióxido de carbono la normativa (OSHA 2011) establece un Límite Permissible de Exposición (PEL) de 5000 ppm en un tiempo medio de exposición de 8 horas, también se hace mención de que el nivel de concentración de CO₂ es una manera algo ambigua para determinar el nivel de ventilación del lugar, manifestando que depende en gran medida del número de personas, en este caso los ocupantes del vehículo y también del sistema de ventilación de los espacios interiores.

2.4.1.5. Guía OSMAN calidad de aire interior

La Guía (OSMAN 2011), plantea la calidad de aire interior, determinando los contaminantes principales, su clasificación y sus principales fuentes de emisión, además de los efectos a la salud en función de varios factores ligados a la concentración y tiempo de exposición, se establece también una revisión a la legislación nacional, en las que se incluyen las normas ISO y de iniciativas privadas conjuntamente con otros programas para la gestión de calidad de aire interior, además también se brindan varias recomendaciones referentes a este tema.

Al igual que las normas y guías citadas con anterioridad, la normativa (OSMAN 2011) también proporciona valores referenciales aceptables de concentraciones de emisiones contaminantes entre ellos el monóxido de carbono considerándolo como un compuesto químico de alta prioridad y establece un valor guía medio de 1 hora de 30 mg/m³ y un valor guía medio para 8 horas de 10 mg/m³, considerando el tiempo de exposición a estos contaminantes, destacando que en esta norma se visualiza de manera muy clara y precisa la influencia de este aspecto en los efectos nocivos para la

salud, de esta manera se tiene una percepción más clara de los límites estándar del CO y CO₂ ajustando estos valores a los parámetros establecidos en este estudio.

2.4.2. Método estático (régimen de ralentí)

En la norma interestatal Rusa (GOST 33554 2015) se establecen métodos de prueba para medir el contenido de sustancias contaminantes en la cabina del conductor y el habitáculo de un vehículo, en la cual se especifican los requerimientos generales para las pruebas, procedimientos, condiciones, equipos y los modos de prueba que contempla la norma. En los modos de prueba existen dos diferentes metodologías o modos de funcionamiento del vehículo.

La primera consiste en realizar las pruebas con el método dinámico, es decir, con el vehículo en movimiento a una velocidad permanente y una ruta o ciclo de conducción definidos. La segunda prueba es la que se aplicó para la realización del presente estudio y consiste en realizar las mediciones de CO y CO₂ al interior del habitáculo con el método estático, es decir, con el vehículo estacionado, en régimen de ralentí de motor y con las revoluciones mínimas por minuto (rpm) declaradas por el fabricante.

2.4.2.1. Equipos utilizados

Las mediciones cuantitativas de contaminantes en el microambiente del habitáculo del vehículo se realizaron mediante un método de medición calificado y con un instrumento de medición aprobado y homologado (GOST 33554 2015). Las mediciones de concentraciones máxicas de contaminantes del aire se llevaron a cabo mediante diferentes métodos planteados en la norma (GOST 33554 2015) para los siguientes compuestos: formaldehído (CH₂O), óxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos saturados (C₂H₅ – C₇H) y el metano (CH₄).

Debido a que la presente investigación busca medir las concentraciones de CO y CO₂, la norma (GOST 33554 2015) menciona los siguientes métodos de medición con los cuales se pueden realizar las pruebas de los compuestos antes mencionados:

1. Espectroscopia foto acústica infrarroja
2. Detección electroquímica

3. Cromatografía de gases con detección de fotoionización (PID) después de la reducción catalítica de monóxido de carbono a metano

Basándonos en estos tres métodos aprobados por la normativa utilizada, se adquirió el instrumento de medida de velocidad de aire e IAQ Testo 440 en conjunto con las sondas de CO y CO₂. Estas sondas utilizan el principio de funcionamiento de detección electroquímica cumpliendo así lo especificado por la norma (GOST 33554 2015). Este equipo no solo nos permite medir las concentraciones de CO y CO₂, también mide los “parámetros fundamentales para el confort ambiental en el habitáculo como son la temperatura, humedad relativa y presión” (Rojas Reinoso et al. 2020).

La medición de contaminantes en la cabina del vehículo se realizó mediante instrumentos de medición homologados que superaron la verificación de su calibración y están trabajando en base a los métodos especificados por la norma (GOST 33554 2015). La normativa también proporciona los límites superior e inferior, en mg/m³, de contaminantes que los instrumentos de medición deben proporcionar para ser aprobados en la realización de pruebas y se pueden apreciar en la Tabla 3-2. Cabe recalcar que 1 mg/m³ es equivalente a 1 ppm.

Tabla 3-2: Límites superior e inferior de las mediciones de algunos contaminantes

Nombre del contaminante	Límite inferior de medición, mg/m ³ , no más que	Límite superior de medida, mg/m ³
Formaldehído	0.015	0.350
Dióxido de nitrógeno	0.02	2.00
Óxido de nitrógeno	0.03	4.00
Monóxido de carbono	1.0	50.0
Hidrocarburos saturados	1.0	500.0

Fuente: (GOST 33554 2015)

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

El equipo de medida de velocidad de aire e IAQ Testo 440 que se utilizó para realizar las mediciones de concentraciones contaminantes y la calidad de aire, hace uso de dos sondas con detección electroquímica. La primera sonda, que mide únicamente la concentración de monóxido de carbono, cumple con los requisitos, en relación al límite superior e inferior de las mediciones de CO, establecidos en la norma (GOST 33554 2015) y se puede apreciar en la Tabla 4-2. La segunda sonda, aparte de medir la concentración de CO₂ también realiza mediciones de la calidad de aire como son la temperatura, presión y humedad relativa al interior del vehículo, y de igual forma cumple con los parámetros establecidos con la normativa utilizada se los puede verificar en la Tabla 5-2, también el equipo cuenta con el certificado de calibración de fabrica adjuntos en los anexos B, C y D.

Tabla 4-2: Características de medición de la sonda de CO

Características	Valor
Rango de medición	0 ... 100 ppm (500 ppm1)
Exactitud (a 22 °C, ±1 dígito)	±3 ppm (0 ... 30 ppm) ±5 ppm (30.1 ... 100 ppm) ±10% del v.m. (100.1 ... 500 ppm)
Resolución	0.1 ppm
Temperatura de almacenamiento	-20 ... +50 °C / recomendado: -10 ... +30 °C
Temperatura de servicio	-5 ... +50 °C
Medidas	195 mm x 40 mm x 40 mm
Ø del cabezal de la sonda	30 mm
Directrices, normas y comprobaciones	Directiva CE: 2014/30/UE

Fuente: Manual de usuario sondas para climatización Testo de generación moderna

Tabla 5-2: Características de medición de la sonda de CO2

Características	Valor
Rango de medición	0 ... +50 °C 5 ... 95 %HR 0 ... 10000 ppm CO2 700 ... 1100 hPa
Exactitud (a 22 °C, ±1 dígito)	±0.5 °C ± (50 ppm + 3% del v.m.) (0 ... 5000 ppm) ± (100 ppm + 5% del v.m.) (5001 ... 10000 ppm) ±3 hPa
Exactitud (a 25 °C, ±1 dígito)	±3.0 %HR (10 %HR ... 35 %HR) ±2.0 %HR (35 %HR ... 65 %HR) ±3.0 %HR (65%HR ... 90 %HR) ±5 %HR (Rango restante) Imprecisión adicional: -Histéresis: ±1 %HR -Estabilidad a largo plazo: ±1 %HR/año
Resolución	0.1 °C 0.1 %HR 1 ppm 0.1 hPa
Coefficiente de temperatura	Tipo (k=1) 0.06 %HR/K (0 ... +50 °C) ± (2 ppm + 0.4 % del v.m.) / K
Temperatura de almacenamiento	-20 °C ... +60 °C
Temperatura de servicio	-5 °C ... +50 °C
Medidas	290 mm x 50 mm x 40 mm
Ø del cabezal de la sonda	21 mm
Directrices, normas y comprobaciones	Directiva CE: 2014/30/UE

Fuente: Manual de usuario sondas para climatización Testo de generación moderna

2.4.2.2. Procedimiento de la prueba

Las pruebas se realizaron en 20 vehículos, de los cuales 10 son Kia Cerato Forte 2014 – 2017, y 10 son Kia Sportage Active 2014 – 2017, ambos modelos de vehículos cuentan con aire acondicionado y tienen un kilometraje similar que está entre los 80000 a 250000 Km como se observa en la Tabla 6-2. Todas las mediciones fueron realizadas en el rango de 7:00 am hasta la 13:00pm, empezando desde el mes de junio y finalizando en julio en la ciudad de Quito, durante todos los días de la semana y con dos ocupantes en el vehículo. En cada vehículo se realizó 3 pruebas con filtro de habitáculo

usado y 3 pruebas con filtro nuevo, concluyéndose un total de 40 días de mediciones. El espacio que se escogió para las pruebas fue al aire libre según la norma (GOST 33554 2015), y con una cubierta superior para evitar el calentamiento del vehículo y de las sondas producido por los rayos solares.

Tabla 6-2: Muestra

Vehículo	Año	Kilometraje (Km)	Fecha de prueba	Combustible	Cilindraje
Kia Sportage	2016	154587	11 y 12 de junio, 2021	Gasolina	2000 cc
Kia Sportage	2017	160472	14 y 15 de junio, 2021		
Kia Sportage	2017	108265	16 y 17 de junio, 2021		
Kia Sportage	2017	161519	18 y 19 de junio, 2021		
Kia Sportage	2017	81892	23 y 24 de junio, 2021		
Kia Sportage	2014	269512	25 y 26 de junio, 2021		
Kia Sportage	2014	135666	27 y 28 de junio, 2021		
Kia Sportage	2017	188277	29 y 30 de junio, 2021		
Kia Sportage	2016	101607	1 y 2 de julio, 2021		
Kia Sportage	2017	94000	3 y 4 de julio, 2021		
Kia Cerato	2014	203777	20 y 21 de junio, 2021		1600 cc
Kia Cerato	2014	327338	5 y 6 de julio, 2021		
Kia Cerato	2014	126291	7 y 8 de julio, 2021		
Kia Cerato	2014	261246	9 y 10 de julio, 2021		
Kia Cerato	2017	81069	11 y 12 de julio, 2021		
Kia Cerato	2015	105400	13 y 14 de julio, 2021		
Kia Cerato	2016	80611	16 y 17 de julio, 2021		
Kia Cerato	2016	166638	18 y 19 de julio, 2021		
Kia Cerato	2014	317485	20 y 21 de julio, 2021		
Kia Cerato	2016	93232	22 y 23 de julio, 2021		

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

Las pruebas se realizaron al aire libre para lo cual las condiciones meteorológicas normales durante las pruebas, según la norma (GOST 33554 2015), son las siguientes:

1. Temperatura del aire ambiente de -15 °C a +30 °C
2. Humedad relativa del 30% al 90%
3. Presión atmosférica de 84 a 108.7 kPa

Se utilizó la sonda de CO₂ para medir los valores de temperatura, humedad y presión atmosférica en el ambiente de tal modo que las condiciones ambientales en el lugar donde se realizaron las pruebas cumplan con los rangos especificados en la normativa utilizada. Cabe recalcar que, como Quito es una ciudad de altura, la presión atmosférica difiere de lo planteado en la norma ya que se encuentra aproximadamente en los 72.6 kPa, por lo cual al realizar las mediciones se busca experimentar y adaptar esta normativa con las condiciones ambientales de Quito.

Mientras se verifica que las condiciones ambientales cumplan con lo establecido en la normativa, se realiza una inspección del vehículo a probarse para verificar el estado en el que se encuentra, el cierre adecuado de puertas y ventanas, funcionamiento del aire acondicionado y aspectos generales

especificados en la norma (GOST 33554 2015) que se explicarán durante el pre proceso. Después de la inspección el vehículo se somete a un proceso de calentamiento del motor en un espacio alejado de la zona de prueba, y una vez que el vehículo ha alcanzado su temperatura óptima de funcionamiento se procede a colocarlo en la zona de prueba y se realiza el proceso de ventilación de este. También se termina de realizar la verificación de las condiciones ambientales para posteriormente tomar apuntes de los valores de temperatura, presión y humedad ambiental en los que se va a comenzar la prueba.

Una vez que se finaliza con el proceso de ventilación del vehículo y la verificación y apuntes de las condiciones ambientales, se procede a la colocación de las sondas y la programación de los equipos conforme a lo establecido en la normativa. Finalmente, se cierran todas las ventanas, compartimientos, puertas, ventilas y el capó según (GOST 33554 2015) y se procede a realizar las respectivas mediciones con el vehículo estático y el motor en ralentí.

La prueba tiene una duración de 1 hora y 30 minutos en la cual, según (Abi Esber et al. 2007), el primer modo de ventilación es con las ventanas cerradas, ventilaciones cerradas y A/C apagado; el segundo modo de ventilación es con las ventanas cerradas, ventilaciones abiertas y A/C en modo de renovación de aire conforme a la norma (GOST 33554 2015) y según estudios realizados por (Alameddine et al. 2016; Harik et al. 2017; Abi Esber et al. 2007); Finalmente, basándose en (GOST 33554 2015; Abi Esber et al. 2007; Alameddine et al. 2016; Harik et al. 2017), el tercer modo de ventilación es con las ventanas cerradas, ventilaciones abiertas y A/C en modo de recirculación. Cabe recalcar que los modos de ventilación propuestos y el tiempo de prueba fueron adaptados de la normativa a utilizarse y los artículos científicos antes mencionados.

2.5. Medición de emisiones contaminantes al interior del habitáculo

2.5.1. Pre-proceso

El preproceso incluye el conjunto de pasos a realizarse antes de realizar las mediciones correspondientes, verificando que el vehículo a medirse cumpla con determinados parámetros necesarios para la toma de datos. Según lo establece la norma (GOST 33554 2015), el vehículo debe cumplir con ciertas condiciones que se han tomado como base para realizar el procedimiento preliminar a las mediciones en función a las condiciones del estudio planteado.

La norma (GOST 33554 2015), establece que se debe realizar una identificación del vehículo en conformidad con sus especificaciones técnicas , facilitando un esquema para la realización de este aspecto, que fue modificado de acuerdo a las necesidades del presente estudio y que se encuentra en el Anexo E, también se establece una evaluación visual de la cabina del vehículo, revisando aspectos como los sellos de las ventanas, el cierre correcto de las puertas y el sistema de escape del vehículo, se establece que no deben existir defectos como fisuras, astillado en las ventanas, pérdida de sellado entre otras. Este proceso será detallado a continuación:

2.5.1.1. Toma de datos del vehículo

El preproceso inició con la toma de datos del vehículo en donde se incluye el tipo de vehículo, el modelo y el año, además el número de VIN y el kilometraje. Posterior a ello se realiza una revisión visual en busca de aspectos que puedan alterar las mediciones, se verifica aspectos rutinarios como el nivel de aceite, el nivel del refrigerante y el estado en general del vehículo. Estos datos son colocados en un documento de registro del vehículo, y se evalúa si cumple o no cumple con los aspectos propuestos en dicho documento.

2.5.1.2. Revisión de ventanas

En la revisión de ventanas se verificó que todas las ventanas suban y bajen de manera adecuada, esto con el propósito de cumplir con el protocolo de ventilación establecido por la norma (GOST 33554 2015), además se revisó el estado de los vidrios, verificando que no exista ningún tipo de grieta o fisura que pueda provocar la entrada por ellos de contaminantes exteriores, finalmente se revisó cuidadosamente que estas cierren de manera completa y adecuada.

2.5.1.3. Verificación de cierre de puertas y ventanas

Conjuntamente con la revisión de las ventanas del vehículo se realizó una verificación exhaustiva del nivel de sellado de este, visualizando que las ventanas cierren de manera adecuada y completa, además de comprobar que los sellos de estas y de las puertas se encuentren en buen estado, o que cumplan con la condición de buen cierre, también se comprobaron elementos externos del vehículo como la carrocería o el cofre del motor en busca de espacios o agujeros que pudieran provocar pérdida de sellado.

Además de estos aspectos, como parte de las condiciones planteadas en el presente estudio, se adicionó la revisión del sistema de climatización, en las que se verificó el estado de la ventilación y el nivel de enfriamiento proporcionado por el sistema de aire acondicionado conjuntamente con el cierre adecuado de las puertas, ventanas ventoleras, además se revisó el estado del filtro de habitáculo, basado en su nivel de desgaste y su tiempo de uso, en base a estos parámetros se estableció el estado del vehículo previo a las mediciones correspondientes.

2.5.1.4. Verificación del sistema de ventilación y climatización

Como parte de los elementos de análisis propuestos por la norma (GOST 33554 2015), se encuentra en el sistema de climatización y aire acondicionado, el cual se revisó en cada una de sus modalidades de funcionamiento para comprobar que se encuentre en buen estado. Se verificó el estado de las ventoleras para comprobar que estas se puedan abrir y cerrar de manera adecuada, pues también constituyen un elemento fundamental para la entrada de contaminantes al habitáculo del vehículo. Se comprobó la potencia del sistema de ventilación en cada una de las velocidades del ventilador, y el nivel de enfriamiento proporcionado por el aire acondicionado.

Como se establece en la norma (GOST 33554 2015) el vehículo debe alcanzar la temperatura de operación apropiada con el objetivo de que se normalice y se tenga la uniformidad de elementos como líquidos refrigerantes, lubricantes, al igual que la presión en el sistema de lubricación, por ello se realizó el calentamiento previo del vehículo durante 20 +5 minutos que es establecido por la norma, posterior a ello se procede a realizar la ventilación abriendo puertas, ventanas, compartimentos, ventilas, capó y el maletero del vehículo de acuerdo a lo establecido por la norma (GOST 33554 2015). Un aspecto a considerar es el equipo, pues este requiere de ciertas preparaciones previas al inicio de las mediciones las cuales se encuentran detalladas a continuación.

2.5.1.5. Calentamiento y ventilación del vehículo

El proceso de calentamiento de vehículo se realizó en conformidad con lo establecido por la norma (GOST 33554 2015), se realizó durante el tiempo especificado por la norma que es de 20 a 25 minutos con las puertas y ventanas cerradas y en régimen de ralentí, sin embargo se la realizó en un área alejada de la zona de prueba, esto con el objetivo de evitar la presencia de contaminantes en esta área, una vez terminado el proceso de calentamiento del vehículo, se procedió a trasladarlo a la zona de prueba en donde se realizó el procedimiento correspondiente a la ventilación que esta especificado

por la norma (GOST 33554 2015) con el vehículo apagado, con las puertas y ventanas abiertas en una duración de 1 a 5 minutos, sin embargo este tiempo se prolongó a 10 minutos debido a aspectos referentes al equipo.

2.5.1.6. Calentamiento y preparación de equipos

Antes de iniciar con la toma de datos es necesario realizar un calentamiento de las sondas tanto de CO como de CO₂, este procedimiento se lo realiza en un lugar apartado al de la zona de medición, en el cual la presencia de emisiones contaminantes sea muy reducida. Se encienden los equipos y se mide el nivel de concentraciones de CO y CO₂ en condiciones ambientales, hasta que los valores se estabilicen, los valores estabilizados van a depender de la concentración que se encuentre en el ambiente, para el CO se tomó valores de concentración ambiente entre 2 y 6 ppm y para el CO₂, según (TESTO 2021), la concentración ambiental debe estar entre las 350 hasta 700 ppm. Posteriormente se toma apuntes de las condiciones ambientales en las que la prueba será realizada, de tal modo que se verifique el cumplimiento con lo establecido en la norma (GOST 33554 2015).

2.5.2. Proceso

Una vez finalizado los pasos definidos en el preproceso, se realiza la colocación de las sondas a utilizarse y la configuración de los equipos, posteriormente se cierran puertas, ventanas, ventilas para encender el vehículo en la zona de prueba y empezar a registrar los datos de concentraciones. El proceso describe los pasos a seguirse en el momento en que se va a realizar la prueba, durante la prueba y al final de esta, también el procedimiento que se tiene al finalizar cada medición y al iniciarla, estos pasos son descritos a continuación.

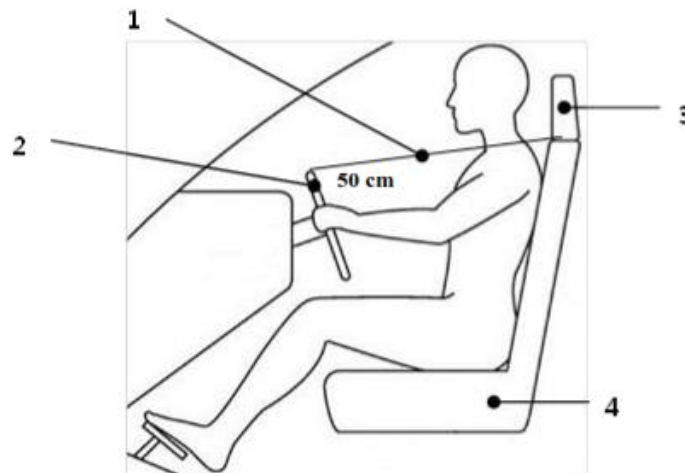
2.5.2.1. Colocación de sondas y configuración de los equipos

El punto de muestreo se encuentra ubicado en la zona de respiración del conductor del vehículo, a la altura de la cabeza (GOST 33554 2015) como se observa en la Figura 2 – 2. Las sondas de CO y CO₂ se ubicaron a 50 cm medidos a partir de la parte superior del volante hasta la parte inferior del reposacabezas, en la zona de respiración del conductor, el volante esta hacia arriba, el reposacabezas en la posición más baja, y el asiento formando un ángulo de aproximadamente 90° conforme a lo establecido por la norma (GOST 33554 2015), el consejo económico y social de las naciones unidas

(Economic and Social Council 2020) y un estudio realizado por (Skreńtowicz et al. 2018). Este punto se lo puede apreciar en las Figuras 2 – 2 y 3 – 2.



Figura 2-2: Punto de muestreo
Fuente: (GOST 33554 2015)



1. Vehicle Sampling Point Location, 50 centimeters from top of steering wheel to bottom of headrest.
2. Steering Wheel, in up and in most position.
3. Headrest in lowest position.
4. Seat in rearmost and lowest position with seatback at about 90° from seat bottom.

Figura 3-2: Punto de colocación de las sondas
Fuente: (Economic and Social Council 2020)

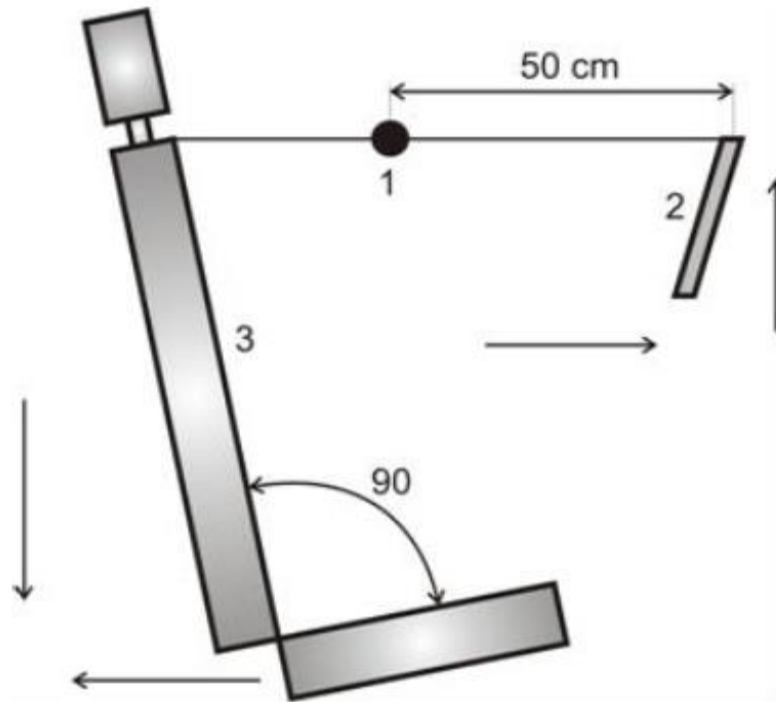


Figura 4-2: Ubicación de las sondas
Fuente: (Skrełowicz et al. 2018)

Una vez que se colocaron las sondas en el punto de muestreo se procede a configurar los equipos, primero se configuran las condiciones ambientales de presión y de temperatura, se verifica que la hora y la fecha sean correctos y finalmente, se selecciona la opción de medición de modo registro y se configura el tiempo total de medición y los intervalos en los que el equipo va a tomar datos. El tiempo en el que se configura cada medición es de 1 hora y 30 minutos con intervalos de 1 segundo. Al finalizar la medición, los datos en el equipo se almacenan automáticamente para poder exportarlos hacia un libro de Excel.

2.5.2.2. Medición de concentración de CO, CO2 y confort ambiental con filtro A/C usado

Posteriormente a la colocación de las sondas y la configuración de los equipos, se enciende el vehículo y se cierra todas las puertas, ventanas, ventilas, y compartimentos para empezar la primera medición, y se toman apuntes del CO y de la hora a la que se inicia la prueba. La medición está dividida en 3 modos de ventilación diferentes como se expresó en el procedimiento de prueba, y en cada modo, según la norma (GOST 33554 2015) y un estudio realizado por (Barnes et al. 2018), el análisis se lo realizó durante un período de 30 minutos, concluyéndose un total de 90 minutos de medición (Harik et al. 2017; Barnes et al. 2018) y se puede apreciar en la Tabla 7 – 2.

Tabla 7-2: Proceso de medición filtro usado

Núm.	Modo ventilación	Filtro habitáculo	Tiempo
Ventilación 1	Ventanas cerradas Ventoleras cerradas A/C apagado	Usado	30 minutos
Ventilación 2	Ventanas cerradas Ventoleras abiertas A/C encendido en modo renovación de aire		30 minutos
Ventilación 3	Ventanas cerradas Ventoleras abiertas A/C encendido en modo de recirculación		30 minutos
Total			90 minutos

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

Durante las mediciones se busca controlar la temperatura del habitáculo de tal modo que se alcance el confort térmico, los operarios deberán utilizar el control de velocidad del ventilador y control de la calefacción del climatizador y A/C para proporcionar la temperatura al interior de la cabina (GOST 33554 2015). Según estudios realizados por (Harik et al. 2017; Alameddine et al. 2016), cuando se enciende el aire acondicionado, el ajuste del ventilador es en la posición medio o comúnmente conocido en 2. La temperatura para alcanzar el confort térmico en el habitáculo, según (Rojas Reinoso et al. 2020), es de 22 °C esto lo corrobora la norma (GOST 33554 2015) mencionando que la temperatura recomendada en el interior del vehículo para la realización de las pruebas debe ser de 20 ± 1 °C, sin embargo, debido a las condiciones meteorológicas la normativa menciona que se puede mantener la temperatura en un rango de +18 a +30 °C, sin embargo considerando las condiciones ambientales de la ciudad de Quito y el estado de funcionamiento de los vehículos se decidió ampliar este rango hasta 35 °C. Cabe recalcar que en el caso de no conseguir regular la temperatura a 22 °C con el ventilador en la posición 2, el operario procede a subir la velocidad del ventilador de tal modo que se logre controlar este parámetro de climatización.

Se realizaron dos pruebas en un vehículo, una prueba con filtro de habitáculo usado y la otra con filtro nuevo, y en cada prueba se toman 3 mediciones (Xu et al. 2016b) cada una de 90 minutos. Al finalizar la primera medición se apaga el motor del vehículo, se abren las ventanas, puertas, ventoleras, capó y maletero, y se ventila el habitáculo del vehículo durante 10 minutos (GOST 33554 2015). Se miden las condiciones ambientales para la segunda medición y se toma apuntes de estas, también se verifica que los valores de CO y CO₂ se estabilicen, y una vez que estos valores se encuentran en los rangos especificados en el preproceso se realiza la segunda medición siguiendo los parámetros establecidos de la primera medición. El proceso de la segunda medición se lo vuelve a realizar para la tercera y última medición de la prueba con filtro usado.

2.5.2.3. Medición de concentraciones de CO, CO2 y confort ambiental con filtro A/C nuevo

La prueba con filtro de A/C nuevo se realizó al siguiente día de la prueba con filtro usado, antes de comenzar con el preproceso, se realiza el cambio del filtro de habitáculo por uno nuevo, posteriormente se siguen los pasos descritos en el preproceso antes de comenzar la prueba. Las mediciones se realizan de la misma forma que en la prueba con filtro usado, se siguen los mismos pasos, tiempos, modos de ventilación, número de mediciones y se procura que los horarios de las mediciones coincidan con los horarios de la prueba con filtro usado. El proceso de medición se observa en la Tabla 8 – 2.

Tabla 8-2: Proceso de medición filtro nuevo

Núm.	Modo ventilación	Filtro habitáculo	Tiempo
Ventilación 1	Ventanas cerradas Ventoleras cerradas A/C apagado	Nuevo	30 minutos
Ventilación 2	Ventanas cerradas Ventoleras abiertas A/C encendido en modo renovación de aire		30 minutos
Ventilación 3	Ventanas cerradas Ventoleras abiertas A/C encendido en modo de recirculación		30 minutos
Total			90 minutos

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis estadístico del nivel de concentraciones se realizará en base a 3 modos de ventilación según lo establecido por (GOST 33554 2015; Abi Esber et al. 2007; Alameddine et al. 2016; Harik et al. 2017), haciendo uso del aire acondicionado y empleando filtros de habitáculo nuevo / usado, dichos modos se encuentran detallados en la tabla 1 – 3 siendo a el primer modo de ventilación, b el segundo y c el tercero; cabe recalcar que se realizaron 3 mediciones para los modos de ventilación establecidos con una duración de 90 minutos por medición. En el estudio se obtendrá valores de concentración de CO y CO₂ en ppm, también aspectos fundamentales de IAQ como presión, humedad relativa y temperatura, que nos permitirá determinar la calidad del aire al interior del habitáculo.

Tabla 1-3: Variables de medición

Medición de concentraciones de CO y CO ₂			
Ventilación	Modo ventilación	Filtro habitáculo	Tiempo
a	Ventanas cerradas Ventoleras cerradas A/C apagado	Usado/Nuevo	30 minutos
b	Ventanas cerradas Ventoleras abiertas A/C encendido en modo renovación de aire		30 minutos
c	Ventanas cerradas Ventoleras abiertas A/C encendido en modo de recirculación		30 minutos
Total			90 minutos

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En base a los parámetros en los que fueron desarrolladas las mediciones, la presentación de resultados se lo hizo mediante la utilización de tres tipos de gráficos que han sido cuidadosamente revisadas en varios artículos referentes y con los cuales se puede visualizar de manera clara y concisa los resultados obtenidos. Los tipos de gráficas que se usaron para el análisis de los resultados son: gráficos de dispersión, gráficas de barras y el análisis Anova con diagramas de cajas y bigotes.

3.1. Gráficas de dispersión

La toma de datos se realizó en intervalos de 1 segundo para cada modo de ventilación planteado, es decir que se obtendrán resultados de concentraciones de CO y CO₂ segundo a segundo, por lo cual se considera necesario realizar una gráfica de dispersión para observar el comportamiento que tienen las emisiones en cada modo de ventilación al interior del habitáculo, esto se realizó basándose en

estudios realizados por (Hudda y Fruin 2018; Grady et al. 2013) en los cuales para analizar los resultados obtenidos emplean este tipo de gráficos.

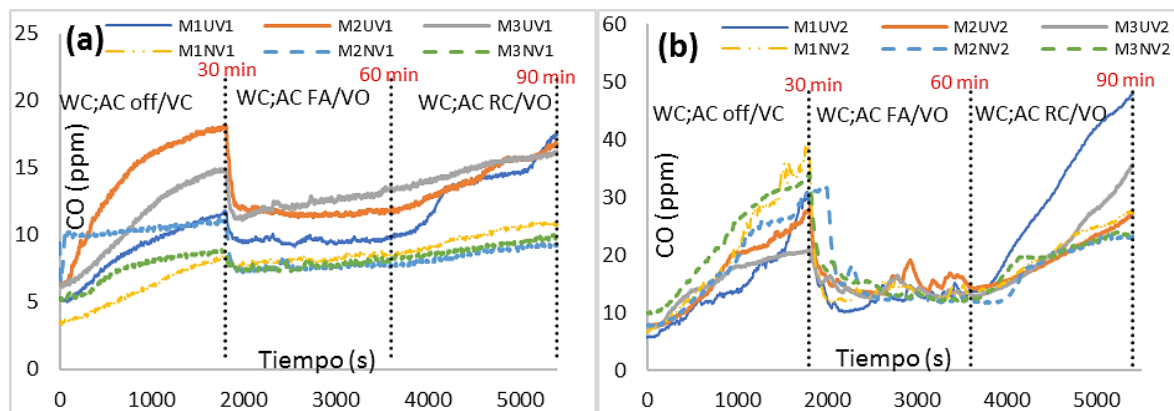
En base a estos estudios, a continuación se presentan las gráficas de dispersión obtenidas en las mediciones, estas gráficas ilustran toda la prueba de 90 minutos, por lo que se han colocado separadores cada 30 minutos para diferenciar los modos de ventilación correspondientes, además de que se encuentran contenidas tanto las mediciones con el filtro de A/C nuevo como para usado, de esta manera, poder observar la influencia de este elemento en el nivel de concentraciones de CO y CO2 al interior del habitáculo, la simbología a usarse en las gráficas se encuentra en la tabla 2 – 3:

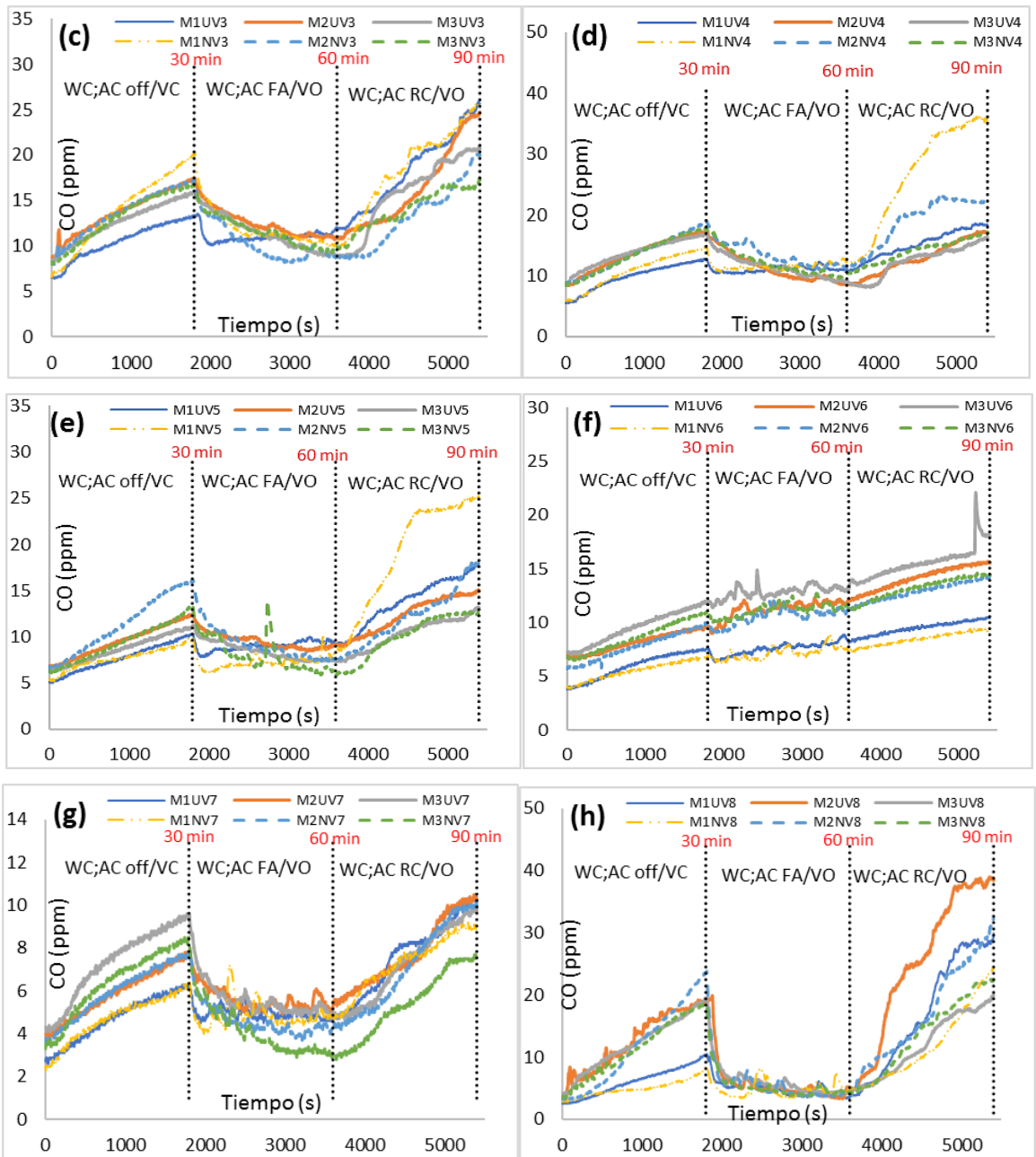
Tabla 2-3: Nomenclatura para gráficas de dispersión

Nomenclatura	Interpretación
WC; A/C off; VC	Ventanas Cerradas; Aire Acondicionado apagado; Ventilación Cerrada
WC; A/C FA; VO	Ventanas Cerradas; Aire Acondicionado entrada de aire fresco; Ventilación Abierta
WC; A/C RC; VO	Ventanas Cerradas; Aire Acondicionado recirculación de Aire; Ventilación Abierta
M1UV1	Medición 1, Filtro Usado, Vehículo 1
M1NV1	Medición 1, Filtro Nuevo, Vehículo 1

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 1-3 se representa los gráficos de dispersión con relación a las mediciones de CO correspondientes a los 10 vehículos tipo todo terreno Kia Sportage Active. En cada gráfica se observa las 3 mediciones realizadas con filtro usado que están presentadas con líneas continuas y de diferente color. También se aprecia las 3 mediciones realizadas con filtro nuevo presentadas con líneas entre cortadas y cada una de diferente color diferenciando así cada medición que se realizó. Se puede observar que cada gráfica tiene designada una letra del abecedario, estas letras representan al vehículo de prueba en el que se realizó las respectivas mediciones siendo la gráfica a perteneciente al vehículo 1 y siguiendo de esta manera sucesivamente para cada letra y vehículo.





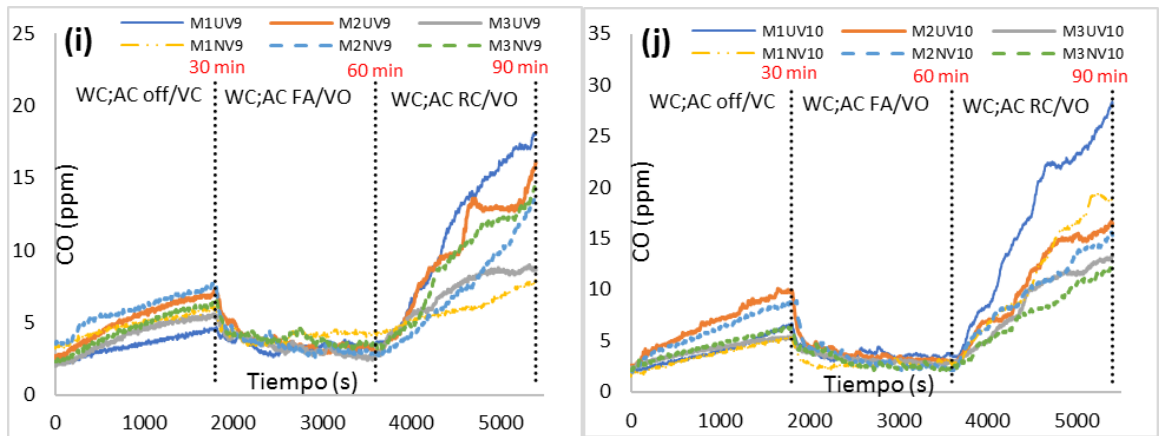


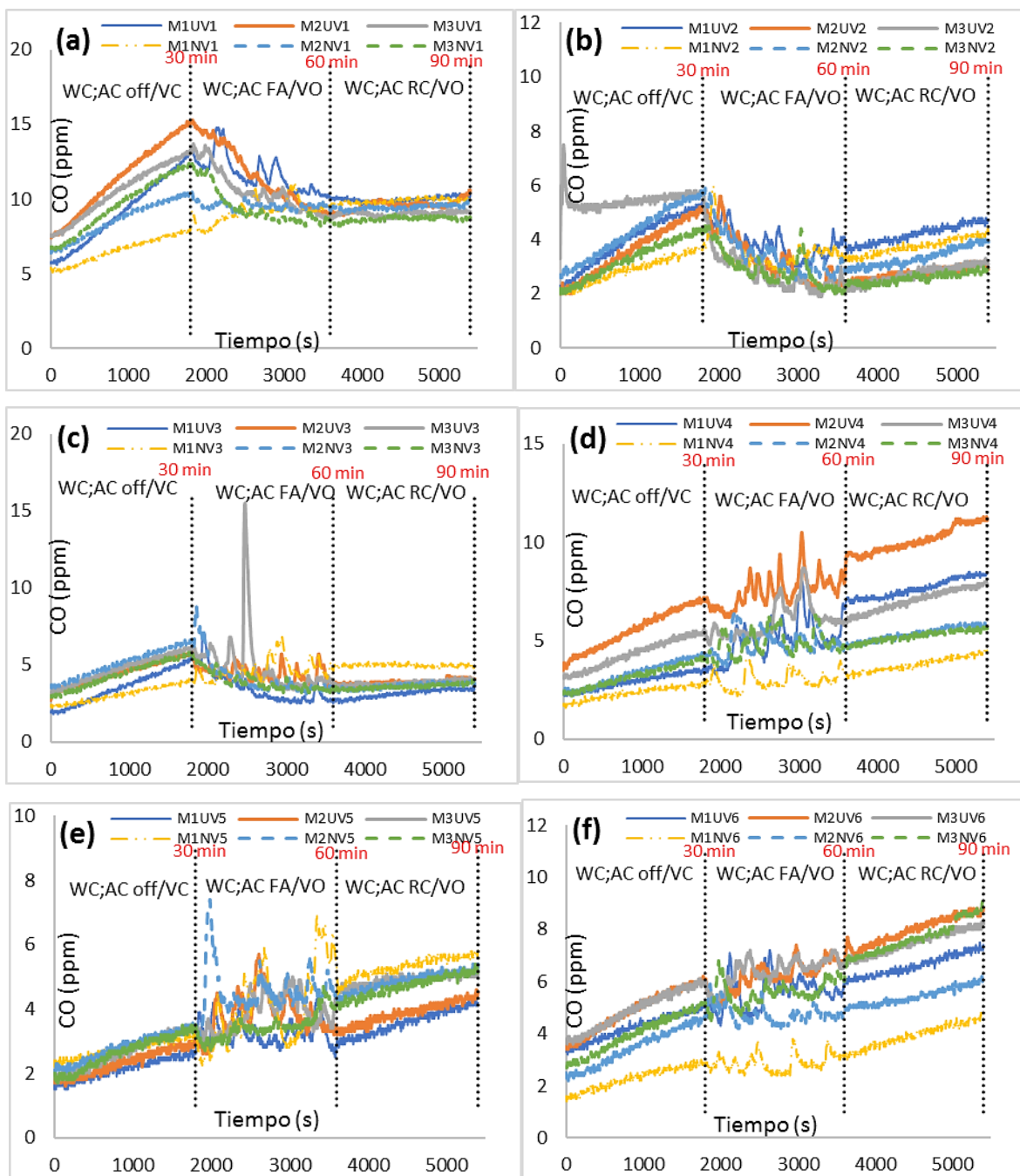
Gráfico 1-3: Perfiles de concentración de CO para Kia Sportage, según vehículo probado
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

La tendencia del CO para este tipo de vehículo es que durante el primer modo de ventilación las concentraciones se elevan tanto con filtro usado como con nuevo, sin embargo, las concentraciones tienden a ser menores con filtro nuevo. Este comportamiento también se observa en un estudio realizado por (Abi Esber et al. 2007) en el cuál las concentraciones de CO, con este modo de ventilación, llegan a alcanzar las 40 ppm en un tiempo de 40 minutos. Los resultados de (Esber y El-Fadel 2008) indican un aumento de CO con las ventanas cerradas y el A/C apagado, cuestión que corrobora los resultados obtenidos.

Se observa que al cambiar al segundo modo de ventilación las concentraciones bajan hasta cierto punto en el que se mantienen estables a pesar de que aparecen pequeños picos debido a factores externos al vehículo, de esta manera se contrasta los resultados de (Abi Esber et al. 2007) en el que notaron una reducción de CO de 25 ppm en comparación al primer modo de ventilación. Los resultados de (Esber y El-Fadel 2008) indican que el CO, con las ventanas cerradas y A/C en renovación de aire, se mantiene por debajo de las 25 ppm corroborando los resultados plasmados en el gráfico 1-3.

En el tercer modo de ventilación el CO se eleva de forma considerable en comparación a los dos primeros modos, en la mayoría de casos se dan las concentraciones mas elevadas de toda la prueba durante este modo. Este resultado concuerda con los datos obtenidos por (Abi Esber et al. 2007; Esber y El-Fadel 2008) donde, durante este modo de ventilación, las concentraciones de CO se elevan llegando a superar las 50 ppm. Cabe recalcar que en el vehículo del gráfico f el sistema de A/C no funcionaba de manera adecuada provocando que las concentraciones no logren bajar en el segundo modo de ventilación y sigan elevándose hasta finalizar la prueba.

En el gráfico 2-3 se presenta los gráficos de las mediciones de CO correspondientes a los 10 vehículos tipo sedán Kia Cerato Forte. Al igual que en el gráfico 1-3 se puede observar que cada gráfica tiene designada una letra del abecedario, estas letras representan al vehículo de prueba en el que se realizó las respectivas mediciones. También se observa las 3 mediciones que se realizaron con Filtro usado / nuevo siguiendo el formato del gráfico 1 – 2.



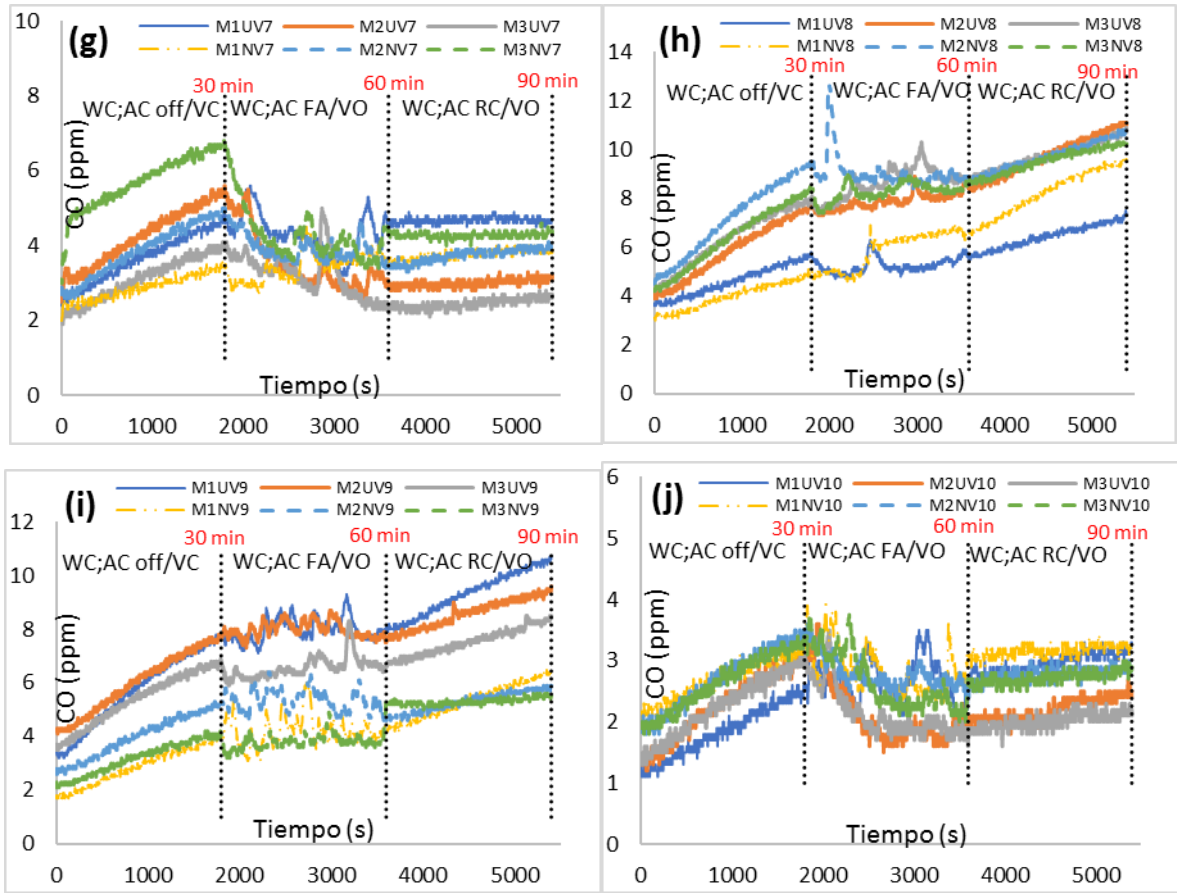


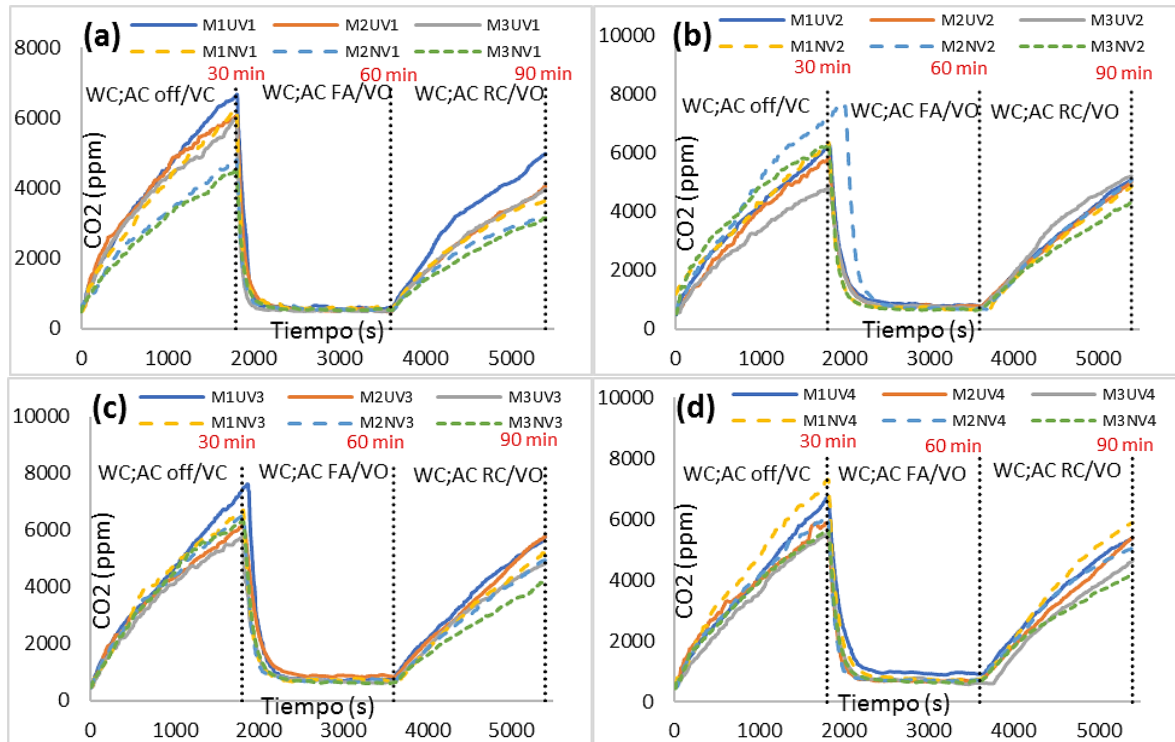
Gráfico 2-3: Perfiles de concentración de CO para Kia Cerato, según vehículo probado
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En este tipo de vehículo el comportamiento del CO es distinto al del Kia Sportage, ya que en 5 de los 10 vehículos Cerato el sistema de A/C no funcionaba de manera eficiente lo cual se encuentra demostrado en el comportamiento de las gráficas d, e, f, h, i del gráfico 2 – 3, este mal funcionamiento produce irregularidades en las concentraciones CO provocando que estas, en vez de disminuir en el segundo modo de ventilación, tiendan a seguir elevándose hasta acabar la medición.

Los 5 vehículos que se encontraron en buenas condiciones de funcionamiento de A/C; vehículos a, b, c, g, j; presentan un comportamiento diferente, ya que durante el primer modo de ventilación las concentraciones suben al igual que en los estudios realizados por (Esber y El-Fadel 2008; Abi Esber et al. 2007), al cambiar al segundo modo las concentraciones bajan, a pesar de que durante este modo se dan ciertos picos por factores externos el CO se mantiene estable hasta finalizar la medición, incluso en el tercer modo las concentraciones también se mantienen estables. Este comportamiento se observa

en el estudio realizado por (Xu et al. 2016b) en donde el CO, con estos 2 últimos modos de ventilación, se mantiene estable hasta finalizar la medición, sin superar las 3 ppm.

En el gráfico 3 – 3 se presenta los gráficos correspondientes a las mediciones de CO₂ de los vehículos Kia Sportage en los cuales, al igual que los gráficos 1 – 3 y 2 – 3, se observa las 3 mediciones realizadas con filtro usado / nuevo, también la identificación del vehículo probado según la letra del abecedario asignada en la gráfica. Se logra apreciar los 3 modos de ventilación probados con los respectivos separadores verticales puestos cada 30 minutos de medición.



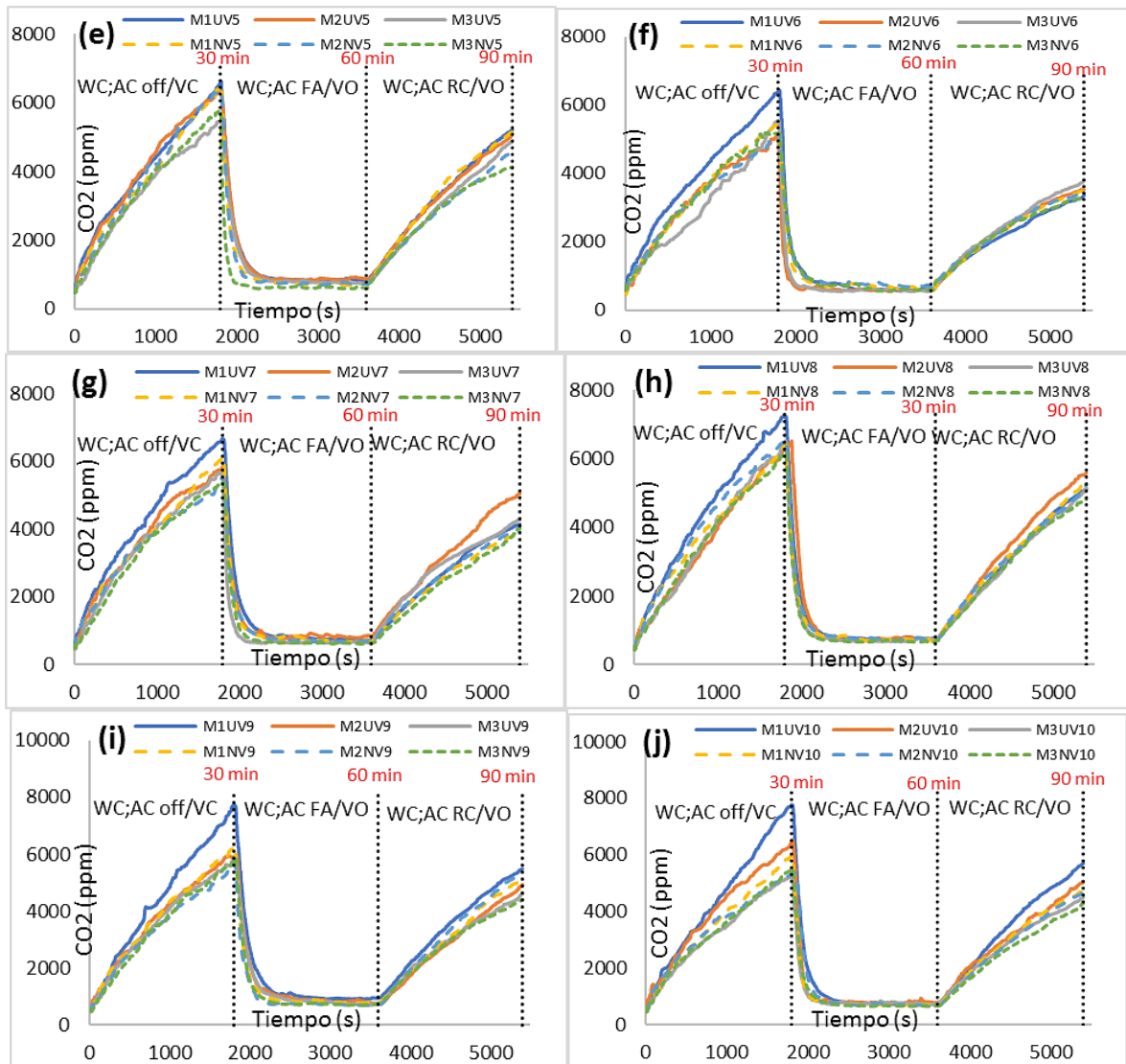


Gráfico 3-3: Perfiles de concentración de CO₂ para Kia Sportage, según vehículo probado
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

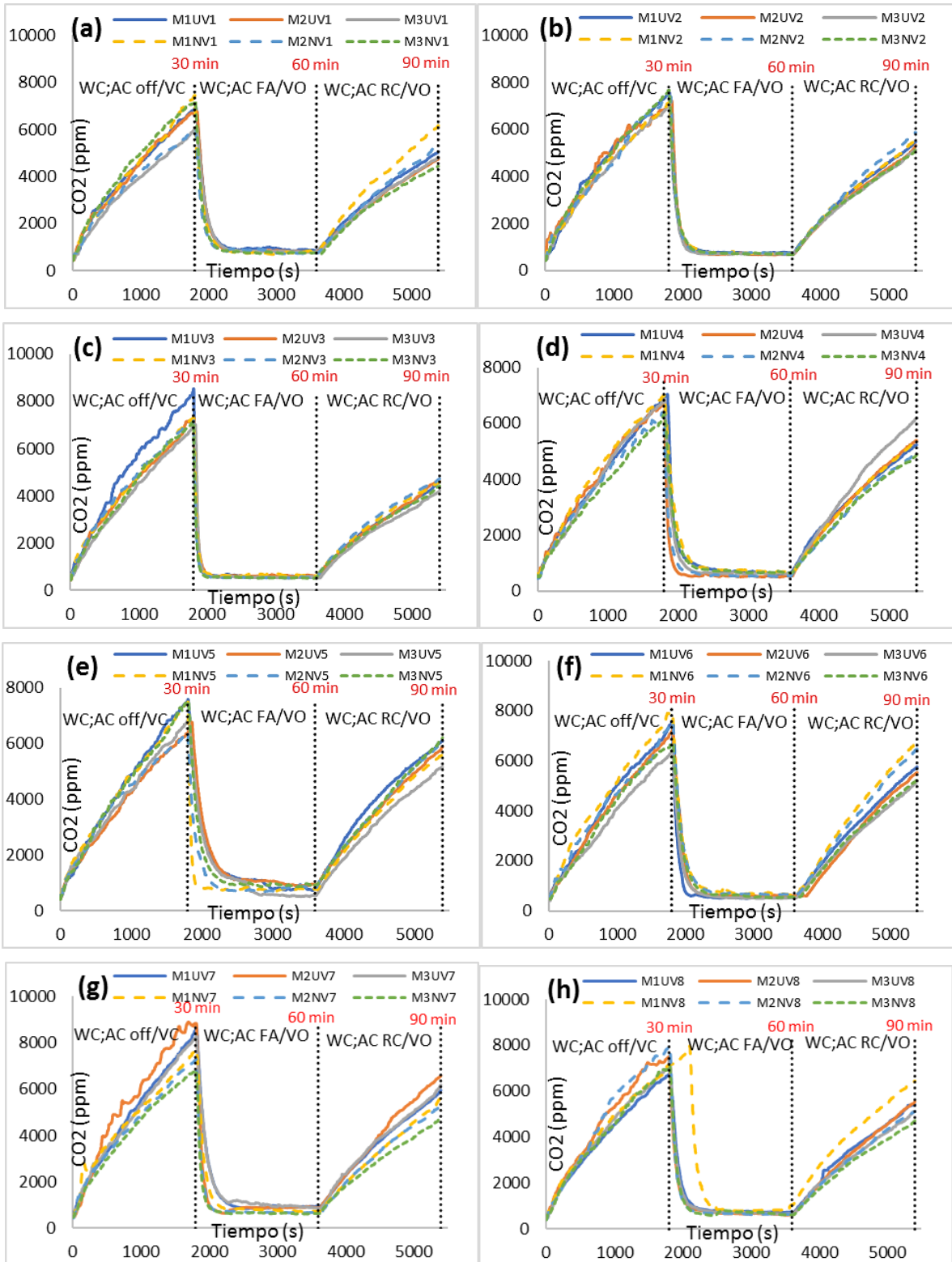
El CO₂ en los vehículos del gráfico 3-3 depende mucho del modo de ventilación en el que se encuentre durante la prueba. Durante el primer modo las concentraciones ascienden hasta llegar a un valor máximo, tal como sucede en los resultados obtenidos por (Hudda y Fruin 2018) que sugiere un incremento del CO₂ manteniendo los vidrios cerrados y sin ventilación alguna. Al accionar el A/C en renovación de aire, el CO₂ desciende hasta mantenerse estable, esto es corroborado con los resultados obtenidos por (Grady et al. 2013; Hudda y Fruin 2018) en donde determinan que activando el A/C con entrada de aire fresco las concentraciones de CO₂ disminuyen por debajo de las 1000 ppm. En el tercer modo de ventilación, las concentraciones de CO₂ tienden a elevarse hasta finalizar la medición, pero no superan las concentraciones alcanzadas durante el primer modo. (Tartakovsky et al. 2013; Atkinson,

Hill y Mathur 2017) concluyeron que al usar el A/C en modo de recirculación, las concentraciones de CO₂ se elevan en función del tiempo, velocidad del ventilador y número de ocupantes, corroborando los resultados obtenidos en la presente investigación.

Cabe recalcar que el estado del filtro de habitáculo juega un papel fundamental, ya que se puede apreciar una diferencia en como disminuyen las concentraciones con un filtro nuevo. La concentración de CO₂ depende mucho de la potencia con que sale el aire por las tomas de ventilación del sistema del climatizador, durante las mediciones se observó que con la utilización de filtro nuevo el aire sale con más potencia que con el filtro usado, por esta razón las concentraciones de este contaminante son menores haciendo uso del filtro nuevo.

En el gráfico 4 – 3 se observa los gráficos de dispersión correspondientes a las mediciones de CO₂ en los vehículos Kia Cerato en los cuales al igual que en el gráfico 3 – 3 se encuentran las 3 mediciones realizadas con filtro usado / nuevo y clasificadas en orden alfabético por cada vehículo probado. El comportamiento del CO₂ en estos vehículos es similar al de los vehículos Kia Sportage ya que durante el primer modo de ventilación las concentraciones se elevan coincidiendo con los resultados obtenidos por (Hudda y Fruin 2018) donde observaron incremento del CO₂ con las ventanas cerradas y A/C apagado. Al accionar el A/C en modo de renovación de aire, el CO₂ disminuye hasta estabilizarse, esto se corrobora con los resultados de los estudios de (Grady et al. 2013; Hudda y Fruin 2018) que concluyeron que, al tener el A/C en modo de renovación de aire, el CO₂ se mantiene estable por debajo de las 1000 ppm. Al cambiar de renovación a recirculación de aire, las concentraciones vuelven a elevarse, pero de manera lenta en comparación al primer modo de ventilación. Los resultados de (Deng et al. 2020; Atkinson, Hill y Mathur 2017) muestran que al mantener el A/C con la recirculación de aire activada las concentraciones de CO₂ se elevan, esto corrobora los resultados obtenidos en la presente investigación.

Es importante mencionar que, como en 5 vehículos de la muestra el A/C no estaba en óptimas condiciones, las concentraciones de CO₂ son ligeramente más elevadas en comparación con los vehículos Kia Sportage. También se logra apreciar que con la utilización de un filtro de habitáculo nuevo el CO₂ disminuye de manera más rápida en comparación de las concentraciones con filtro usado, así como sucede en los vehículos Kia Sportage.



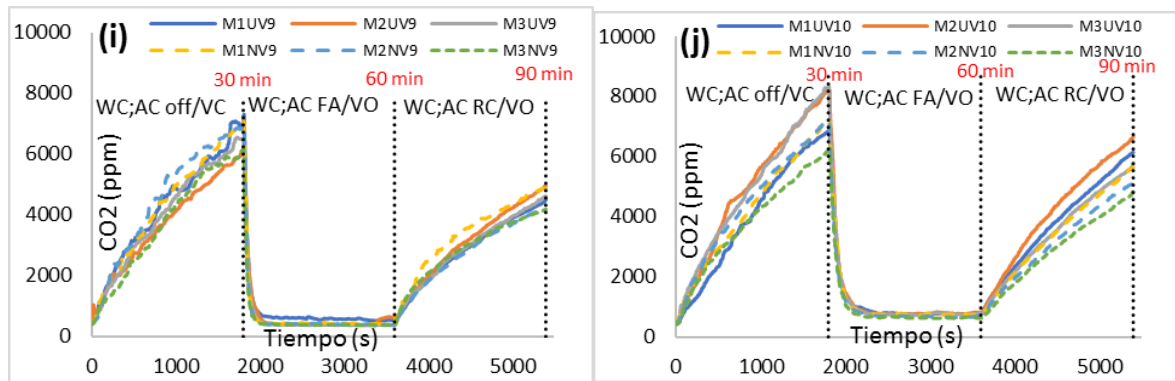


Gráfico 4-3: Perfiles de concentración de CO₂ para Kia Cerato, según vehículo probado
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2. Gráficas de barras

En el estudio se planteó la comparación de los valores obtenidos de concentraciones de monóxido y dióxido de carbono con respecto a valores establecidos por normativas internacionales y estudios afines, por lo cual se considera que la manera más apropiada e ilustrativa de realizar dicha comparación es por medio de un gráfico de barras que represente los valores medios de concentraciones según lo establece (Barnes et al. 2018), es necesario mencionar que esta comparación fue realizada para cada modo de ventilación, con el objetivo de determinar la influencia que tienen estos modos en la calidad de aire interior, sin embargo, también se realizaron un diagramas de barras con la prueba completa con la cual se determinará si las concentraciones de CO y CO₂ dentro de la cabina del vehículo sobrepasan los valores estándar recomendados por las normas (GOST 33554 2015) para CO y (ANSI/ASHRAE Standard 62.1 2019) para CO₂.

En la comparación de los modos de ventilación se decidió emplear un semáforo que determine el estado del vehículo en cuanto al nivel de concentraciones de CO y CO₂ al interior del habitáculo, para ello se tomó como referencia el estudio realizado por (Saad et al. 2017), en el cual los autores establecen una tabla en la que se recopilan valores estándar recomendados por las normativas internacionales del nivel de concentraciones de CO y CO₂ en espacios interiores y su nivel de peligrosidad para la salud en prolongados tiempos de exposición, esto se puede visualizar continuación en la tabla 3-3. En base a esta tabla se realizará la semaforización de cada uno de los vehículos en las condiciones que se plantearon, para lo cual a continuación se presentan los gráficos de barras destacando la peculiaridad de que cada uno de ellos tienen una letra de identificación a = primer modo de ventilación, b = segundo modo, c = tercer modo de ventilación. Resaltando que de

las 4 emisiones contaminantes mencionadas en la tabla 3 – 3 solo se tomara en cuenta la semaforización para las concentraciones de CO y CO2 que se han planteado en el presente estudio.

Tabla 3-3: Tabla para evaluar calidad de aire interior

CO2 (ppm)	CO (ppm)	NO2 (ppm)	O3 (ppm)	IAQI	IAQI Status	TCI	TCI Status
340-600 a, b	0.0-1.7 d, h	0.0000- 0.021 d, h	0.000-0.025 d, h	100-76	Good	100-76	Most Comfort
601-1000 a, c	1.8-8.7 d, i	0.022-0.08 d, h	0.026- 0.05 c, e	75-5	Moderate	75-5	Comfort
1001-1500 a	8.8-10.0 j	0.09-0.17 k	0.051-0.075 m	50-26	Unhealthy	50-26	Not Comfort
1501-5000 f, g	10.1-50 j, f	0.18-5 l	0.076-0.1 n, o	25-0	Hazardous	25-0	Least Comfort

Fuente: (Saad et al. 2017)

Las normativas y estudios en los que los investigadores (Saad et al. 2017) se basaron para el planteamiento de la tabla 3 – 3 son las siguientes:

- a) (Chiesa et al. 2019)
- b) (Erdmann, Steiner y Apte 2002)
- c) DOSH (Department of Occupational Safety and Health), 2010
- d) IAQMG (Guidance notes for the management of indoor air quality in offices and public places), 2003
- e) IEP (Guidelines for Good indoor air quality in office premises), 1996
- f) OSHA (Indoor Air Quality in Commercial and Institutional Buildings), 2011
- g) ACGIH (Carbon dioxide. In: Documentation of the threshold limit values for substances in workroom air), 1971
- h) (Jorma 2002)
- i) WHO (World Health Organization), 2010
- j) OSHA (Carbon monoxide poisoning), 2002
- k) Department of environment API (A guide to air pollutant index in Malaysia), 1997
- l) OSHA (Nitrogen dioxide permissible exposure limit PEL), 2012
- m) EPA Environmental Protection Agency (Care for your air: A guide to indoor air quality), 2008
- n) OSHA (Ozone exposure limits and health effects)
- o) ASHRAE (Ashrae Handbook: Fundamentals, I-P Edition), 2009

3.2.1. Concentraciones de CO y CO2 según el modo de ventilación

3.2.1.1. Concentraciones de CO para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C usado

En la figura 5-3 se representa las concentraciones de CO en los 10 vehículos Kia Sportage durante el primer modo de ventilación y con filtro usado. Para la realización de la gráfica de barras se tomaron los datos de CO recolectados durante los primeros 30 minutos de medición y se obtuvo el valor promedio de estos datos, este proceso se realizó para cada medición. De los valores promedios obtenidos de cada medición se utilizó el valor medio de las 3 mediciones que se encuentran presentados en la tabla 4 – 3, este proceso se lo realizó para cada vehículo probado. Finalmente se procedió a trabajar con dicho valor para realizar el gráfico 5 – 3.

En la tabla 4 – 3 se representan los valores promedios de cada modo de ventilación tanto de CO como de CO2, para cada uno de los vehículos Kia Sportage Active con filtro de A/C usado, en base a estos valores y para una mejor representación de los datos se realizó un gráfica de barras de CO-Vehículos para los modos de ventilación a, b y c, además de que se visualiza la semaforización tomando como referencia al nivel de calidad de aire del interior del habitáculo, para cada gráfica se analizará el comportamiento de las concentraciones de CO y CO2 para la posterior discusión de resultados.

Tabla 4-3: Promedio concentraciones de CO y CO2 Kia Sportage filtro usado

Nº	Ventilación 1		Ventilación 2		Ventilación 3	
	CO (ppm)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	CO2 (ppm)
1	11.4	3977	11.2	599	14.2	2717
2	15.9	3457	13.9	958	23.9	3104
3	12.3	3955	11.5	962	16.7	3316
4	12.4	3606	11.1	907	13.4	3080
5	8.6	3808	8.9	1091	12.1	3094
6	7.9	3416	10.7	669	13.1	2319
7	5.9	3839	5.3	854	7.5	2881
8	10.2	3888	5.1	898	17.9	3160
9	4.2	3923	3.4	1090	9.3	3079
10	4.9	3881	3.4	849	12.1	3108

Fuente: Autores

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

De los vehículos analizados en la figura 5 – 3 se pueden observar que 5 de ellos se encuentran en un nivel peligroso, pues superan el rango de 10 ppm establecido por (Saad et al. 2017), considerando especialmente el vehículo 2 cuyas concentraciones se encuentran en el nivel más alto de todos los vehículos, se puede visualizar también que los 5 vehículos restantes se encuentran en un nivel

moderado, sin embargo, cabe recalcar que los vehículo 5 y 6 se encuentran en un nivel moderado alto.

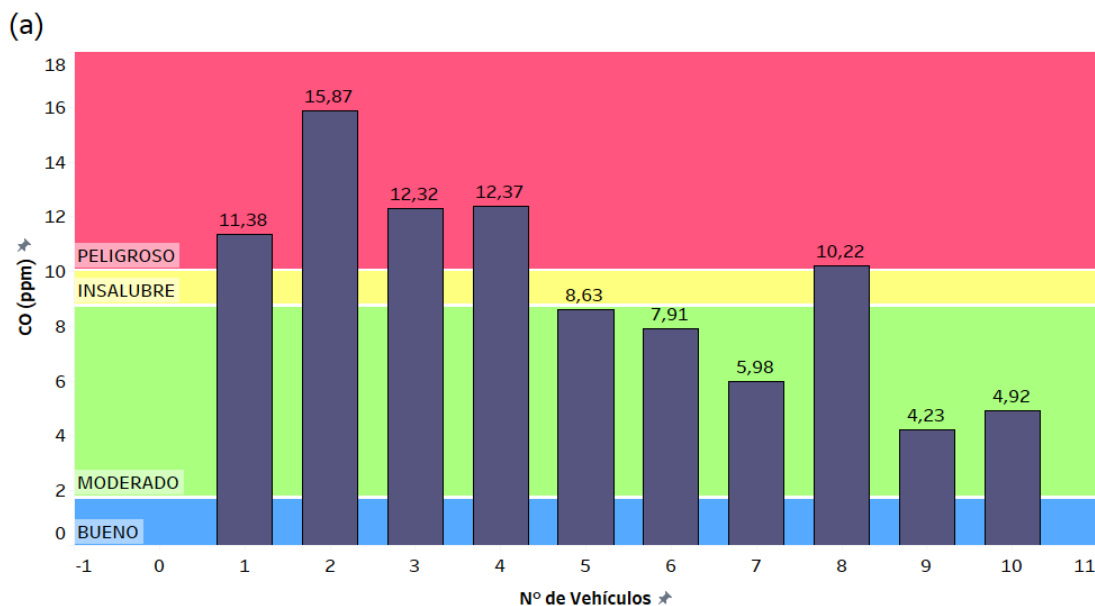


Gráfico 5-3: Modo de ventilación 1 de CO filtro usado Kia Sportage
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 6 – 3 se aprecia el segundo modo de ventilación en el cual se puede observar una ligera disminución en las concentraciones de monóxido de carbono, en este caso se observa que 6 vehículos se encuentran en un nivel peligroso, debido a la incorporación del vehículo 6, que es un caso en particular, pues el sistema de aire acondicionado no se encontraba trabajando adecuadamente, sin embargo, en la mayoría de los vehículos restantes se visualiza una disminución de concentraciones de CO en este modo. (Alameddine et al. 2016; Harik et al. 2017) concluyeron que con el uso del A/C en modo de entrada de aire fresco las concentraciones de CO se mantienen bajas, por debajo de las 25 ppm que las normativas de calidad de aire interior (OSHA 2011) y (World Health Organization 2010) recomiendan.

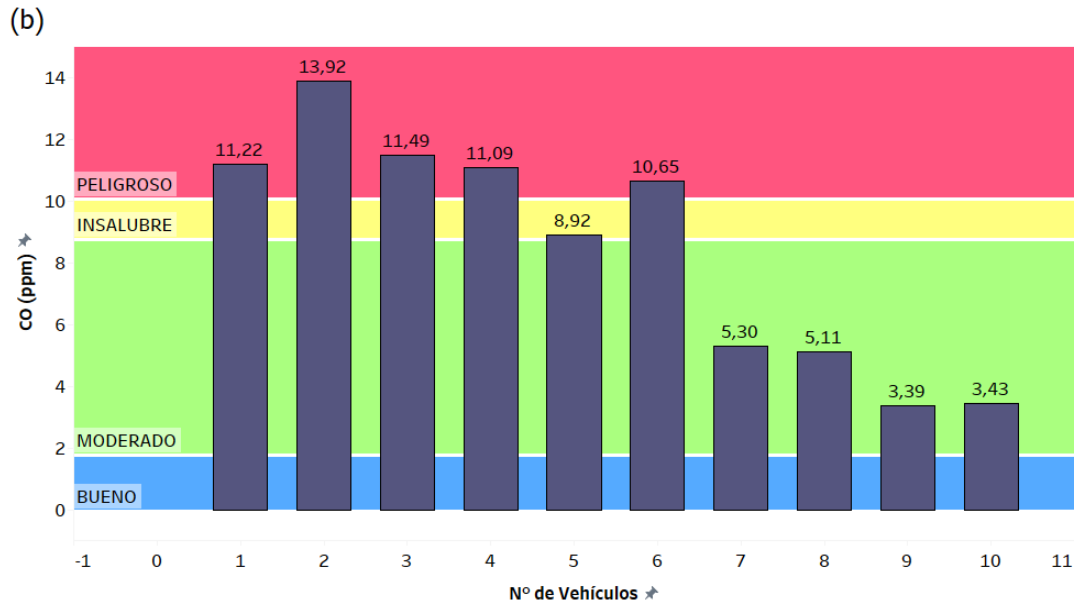


Gráfico 6-3: Modo de ventilación 2 de CO filtro usado Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En cuanto al tercer modo de ventilación mostrado en el gráfico 7 – 3, se visualiza un incremento considerable de las concentraciones de monóxido de carbono ascendiendo a 8 el número de vehículos que se encuentran en un nivel peligroso, además de que en este modo de ventilación se visualizan las concentraciones más altas de CO de toda la prueba, cabe destacar que en todos los vehículos existe un incremento de concentraciones de monóxido de carbono que es de en promedio 3 ppm, se observa que en el vehículo 7 las concentraciones suben muy ligeramente en este modo de ventilación, a diferencia del vehículo 2 que es el que más incremento registra en el nivel de concentraciones. Los resultados obtenidos por (Abi Esber et al. 2007; Esber y El-Fadel 2008) muestran un incremento de las emisiones de CO al interior del habitáculo al tener activado el A/C en la función recirculación de aire, de esta manera se corrobora los resultados obtenidos en la presente investigación.

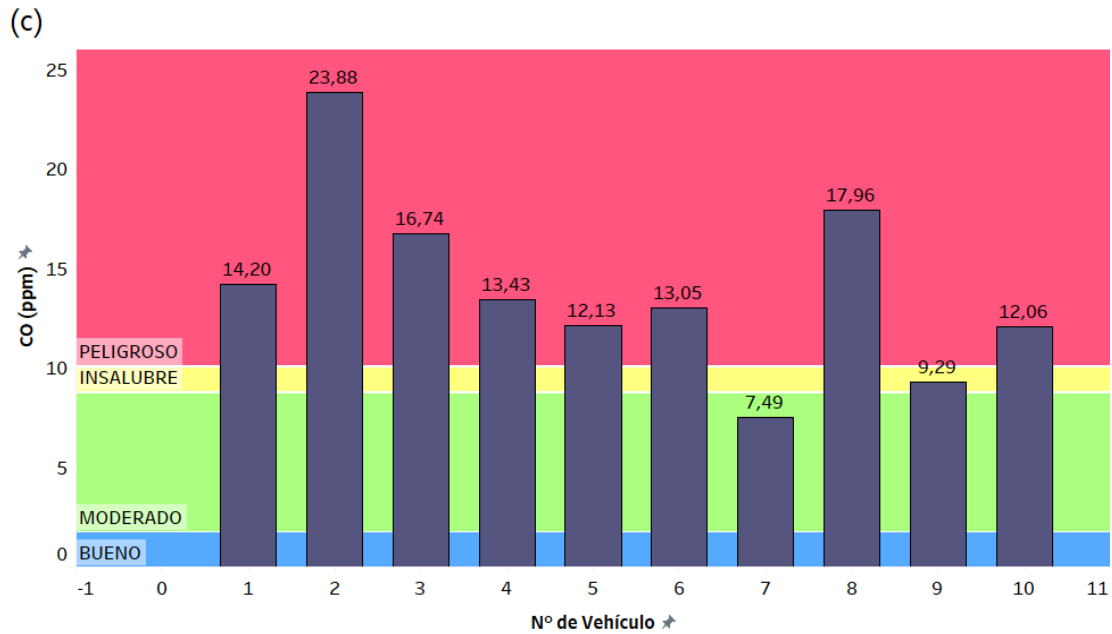


Gráfico 7-3: Modo de ventilación 3 de CO filtro usado Kia Sportage
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.1.2. Concentraciones de CO₂ para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C usado

Basados en los datos de la tabla 4 – 3 se realizó el análisis de CO₂ para los vehículos Kia Sportage con filtro usado y se obtuvo gráficas para los modos de ventilación a, b y c que se presentan a continuación. En el gráfico 8 – 3 se presenta primer modo de ventilación en donde se observan concentraciones muy altas de dióxido de carbono en todos los vehículos ubicando de esta manera a todos ellos en un nivel peligroso, se puede visualizar que las concentraciones de CO₂ sobrepasan las 3000 ppm en la mayoría de los vehículos, estos resultados coinciden con los obtenidos por (Hudda y Fruin 2018) quienes concluyen que al mantener las ventanas cerradas y sin activar el sistema de climatización, existe un incremento de CO₂ dependiendo del número de personas.

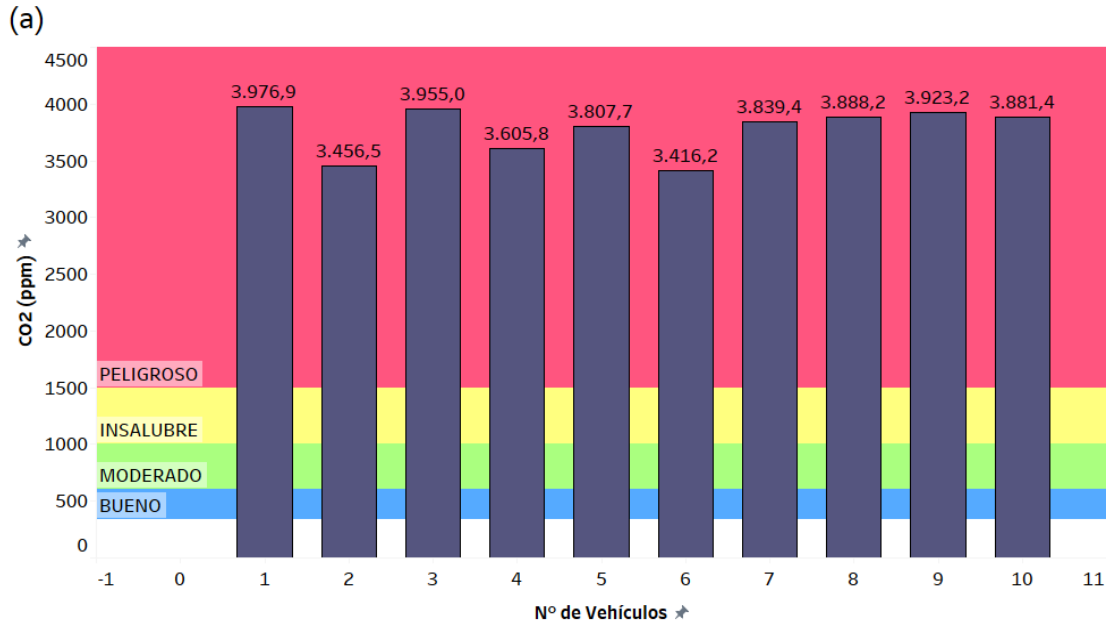


Gráfico 8-3: Modo de ventilación 1 de CO2 filtro usado Kia Sportage
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 9 – 3 perteneciente al segundo modo de ventilación, se observa una disminución considerable de los niveles de concentración de CO2 en los que 7 vehículos se encuentran en un estado moderado, 1 de los vehículos registra un estado bueno y dos de los vehículos se encuentran en un nivel insalubre, además se visualiza que ya no existe la misma uniformidad del primer modo de ventilación. Se pueden destacar varios casos particulares como el del vehículo 1 el cual en el modo de ventilación anterior presenta los niveles más altos de concentraciones de CO2 encontrándose en un nivel peligroso, sin embargo en este modo de ventilación el nivel de concentraciones de dióxido de carbono disminuye considerablemente siendo el vehículo con la mayor disminución, ubicándose en un nivel bueno, los demás vehículos experimentan una disminución menor pero que sin embargo es suficiente como para cambiar el estado de peligrosidad del vehículo a niveles aceptables. Los resultados de (Grady et al. 2013; Hudda y Fruin 2018) muestran que existe una reducción del CO2 al tener activado el A/C en modo de renovación de aire, incluso por debajo de las 1000 ppm, cuestión que corrobora los resultados obtenidos.

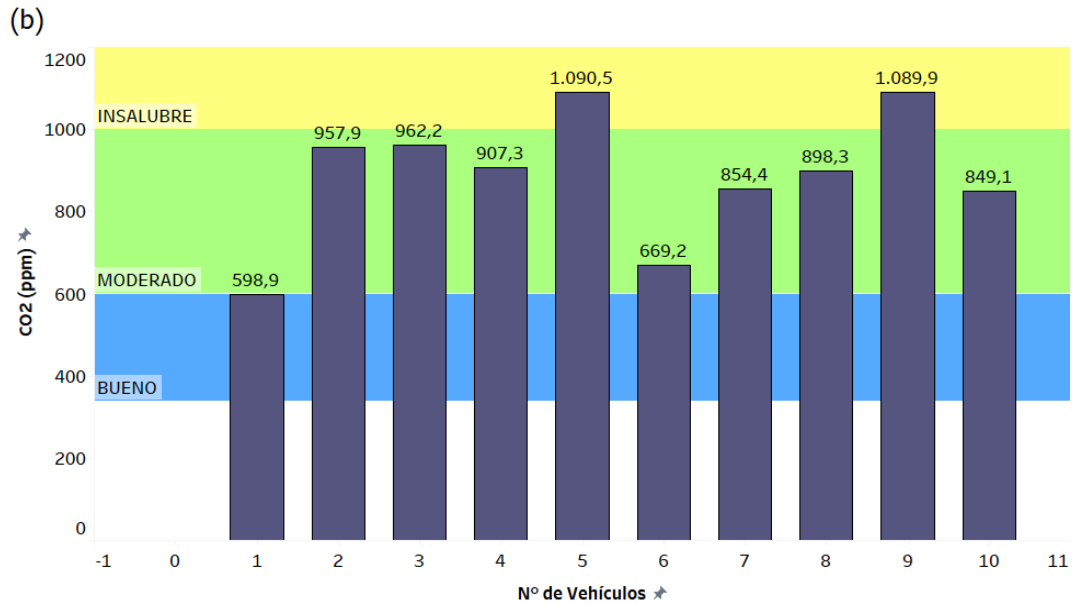


Gráfico 9-3: Modo de ventilación 2 de CO2 filtro usado Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

El tercer modo de ventilación se encuentra presentado en el gráfico 10 – 3 en el cual se observa un incremento considerable de los niveles de concentraciones de CO2, sin embargo, estos niveles en ciertos casos son menores que en el primer modo de ventilación, se visualiza que todos los vehículos se encuentran en un nivel peligroso, con la particularidad de que en el vehículo 6 se visualiza un incremento mucho menor con respecto a los demás y en el caso del vehículo 1 que parte de un valor más bajo de CO2 dado en el segundo modo de ventilación, este experimenta el segundo nivel más bajo de CO2, sin embargo a pesar de ello se ubica en un nivel peligroso. (Tartakovsky et al. 2013; Atkinson, Hill y Mathur 2017) concluyeron que al usar el A/C en modo de recirculación, las concentraciones de CO2 se elevan en función del tiempo, velocidad del ventilador y número de ocupantes, coincidiendo con los resultados obtenidos en la presente investigación.

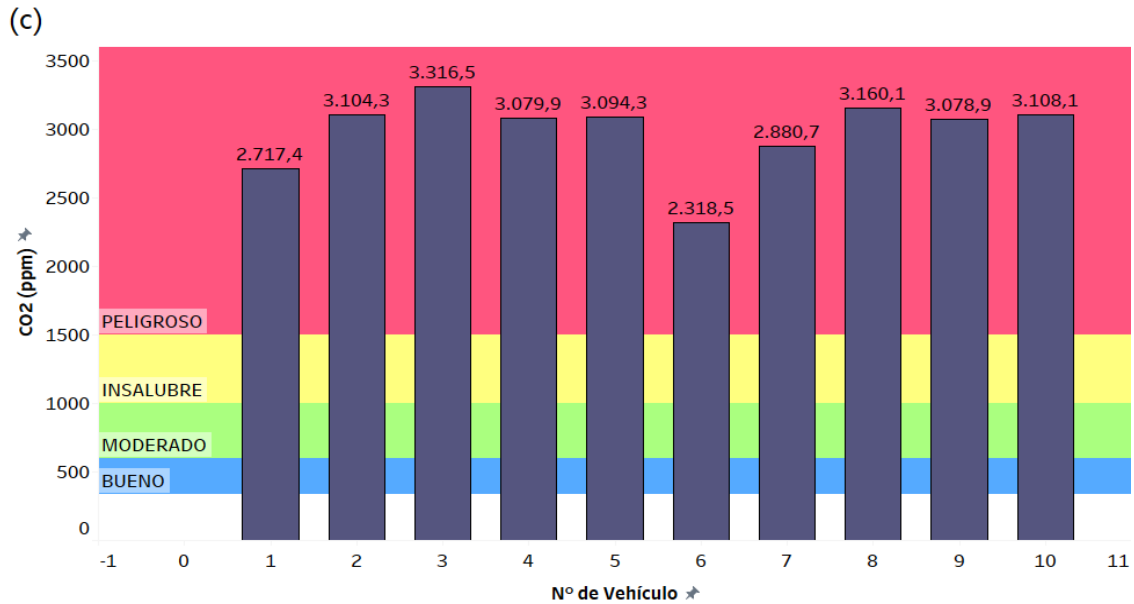


Gráfico 10-3: Modo de ventilación 3 de CO2 filtro usado Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.1.3. Concentraciones de CO para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C nuevo

En las mediciones con filtro nuevo, se realiza también la tabla correspondiente a los valores promedios de concentraciones de monóxido y dióxido de carbono, con el principal objetivo de comparar estos valores con los obtenidos con el filtro de habitáculo o de A/C usado, y de esta manera determinar la influencia de este componente con respecto al nivel de concentraciones de contaminantes al interior de la cabina del vehículo. Para cada una de las gráficas se realizará el análisis correspondiente con una comparación con respecto al comportamiento de los dos estados de medición y en tal virtud determinar de qué manera y en que vehículos se presentan las mayores diferencias con la utilización de un filtro de habitáculo nuevo.

Los valores establecidos en la tabla 5-3 serán representados al igual que con el filtro de A/C usado con gráficas de barras, con las cuales se podrá visualizar además de la semaforización ya establecida con anterioridad la diferencia y por consiguiente la comparativa con respecto a la condición con filtro de habitáculo Usado, de esta manera será mucho más fácil identificar las diferencias y demás aspectos que nos ayuden a determinar la influencia de este componente con respecto a las concentraciones de CO y CO2. A continuación, se presentan dichas gráficas para el análisis correspondiente.

Tabla 5-3: Promedio concentraciones CO y CO2 Kia Sportage filtro nuevo

N°	Ventilación 1		Ventilación 2		Ventilación 3	
	CO (ppm)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	CO2 (ppm)
1	7.9	3212	7.87	764	19.5	2820
2	20.5	4197	14.1	1032	19.5	2820
3	13.6	4072	10.9	802	15.2	2869
4	12.6	3872	12.2	826	19.8	3189
5	9.5	3704	8	770	13.7	2934
6	7.3	3336	9.7	790	11.5	2295
7	5.7	3521	4.4	785	6.5	2510
8	9.3	3851	4.9	841	14.1	3092
9	5.1	3550	3.8	872	7.3	3049
10	4.6	3443	2.9	789	9.5	2809

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 11 – 3 se observa que 5 de los 10 vehículos se encuentran en un nivel de riesgo moderado, 2 vehículos son catalogados como insalubres mientras que 3 vehículos se determinan que son peligrosos. Con respecto a la figura 5 – 3, se observa que con filtro nuevo el vehículo 1 disminuye considerablemente el nivel de concentraciones de CO, mientras que en el vehículo 2 se observa un ligero incremento en el nivel de concentraciones, los vehículos 3 y 4 disminuyen ligeramente el nivel de concentraciones, sin embargo su nivel de riesgo se mantiene en peligroso, el vehículo 8 disminuye el nivel de concentraciones pasando de un nivel peligroso a insalubre, el resto de los vehículos reflejan una disminución ligera de concentraciones de CO y se mantienen en nivel moderado. Este resultado concuerda con los datos obtenidos por (Abi Esber et al. 2007; Harik et al. 2017) donde, durante este modo de ventilación, las concentraciones de CO se elevan.

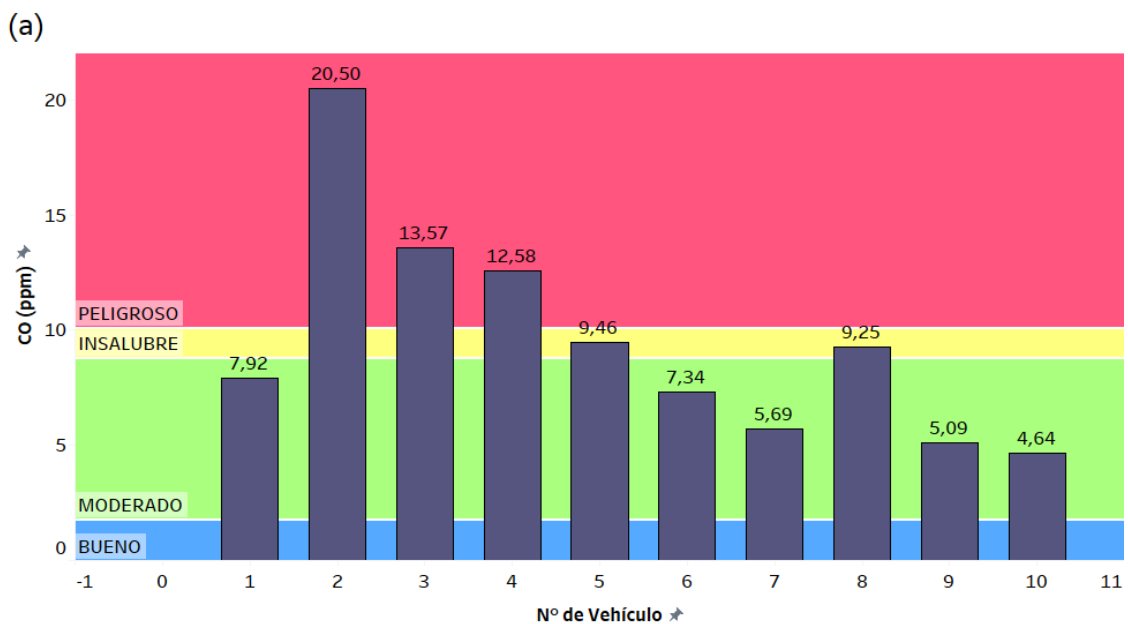


Gráfico 11-3: Modo de ventilación 1 de CO filtro nuevo Kia Sportage

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

Con respecto al segundo modo de ventilación mostrado en el gráfico 12 – 3 se observa que existe una ligera disminución de las concentraciones de CO en la mayoría de vehículos, para el caso del vehículo 1 se observa una disminución considerable con respecto a la prueba con filtro usado, también existe una disminución con respecto a la ventilación (a), además se visualiza que los vehículos 5 y 8 pasaron de un nivel insalubre a uno moderado, sobre todo en el vehículo 8 que se observa una disminución más pronunciada. De esta manera se contrasta los resultados de (Abi Esber et al. 2007) en el que notaron una reducción de CO con A/C encendido en renovación de aire en comparación al modo de ventilación (a). Un aspecto en particular a destacar es que en el caso del vehículo 6 se observa un ligero incremento en el nivel de concentraciones de CO, esto puede deberse a que en este vehículo el sistema de aire acondicionado no funcionó de manera adecuada. En síntesis, con el filtro de A/C usado la mitad de los vehículos presentaron un comportamiento peligroso, mientras que con la utilización de un filtro de A/C nuevo se disminuyó ese número a 3, lo cual indica una diferencia notable además de que en la mayoría de los vehículos el nivel de concentraciones disminuye de manera considerable.

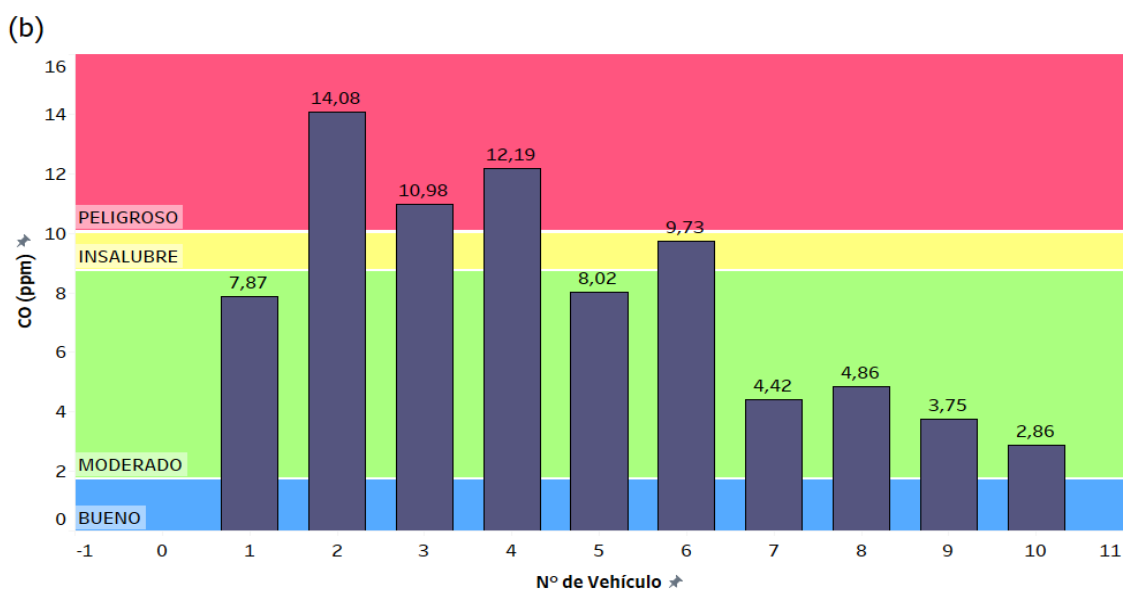


Gráfico 12-3: Modo de ventilación 2 de CO filtro nuevo Kia Sportage
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 13 – 3 se representa el tercer modo de ventilación que corresponde al modo de recirculación de aire. Se observa un incremento considerable del nivel de concentraciones de monóxido de carbono ubicando a 6 vehículos en un nivel peligroso con respecto a los tres del modo (b). Este resultado concuerda con los datos obtenidos por (Abi Esber et al. 2007; Esber y El-Fadel 2008)

donde, durante este modo de ventilación, las concentraciones de CO se elevan en todos los vehículos probados. Con respecto a la utilización del filtro nuevo se observa que en dos vehículos las concentraciones de CO se incrementan, sin embargo en los restantes se produce una ligera disminución en el nivel de concentraciones de monóxido de carbono ubicando de esta manera a 6 vehículos en un nivel peligroso a 2 vehículos en un nivel insalubre y a los dos restantes en un nivel moderado, a diferencia de las pruebas con el filtro usado que reflejan a 8 vehículos con un nivel peligroso, y a dos vehículos en un nivel insalubre y moderado respectivamente, cabe mencionar que los dos vehículos que registran incremento en las concentraciones de CO con filtro nuevo se encuentran en un nivel peligroso tanto en filtro de A/C nuevo como en usado.

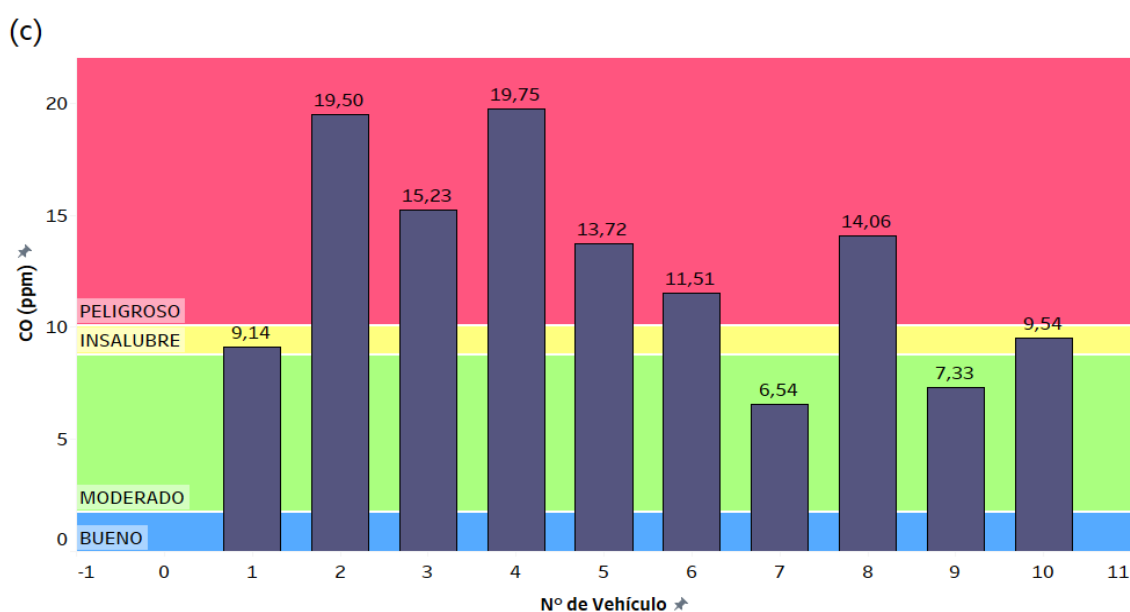


Gráfico 13-3: Modo de ventilación 3 de CO filtro nuevo Kia Sportage
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.1.4. Concentraciones de CO₂ para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C nuevo

En el primer modo de ventilación presentado en el gráfico 14 – 3 se observa que todos los vehículos se encuentran en nivel peligroso. Con respecto a las mediciones con filtro usado mostrado en el gráfico 3 – 8 se puede observar que en todos los vehículos a excepción de los vehículos 2, 3 y 4 el nivel de concentraciones baja ligeramente sin que esto represente una diferencia considerable para disminuir el nivel de CO₂, esto se debe a que el filtro de habitáculo actúa siempre y cuando el aire acondicionado o el sistema de climatización se encuentren encendidos, caso contrario no lo hará y las concentraciones durante este modo serán aproximadamente las mismas que con un filtro usado.

También podrían deberse a condiciones ambientales y de inicio de la prueba, así como también la tasa metabólica de los ocupantes del vehículo, por lo que este nivel puede variar ligeramente, sin descartar factores como fugas o intrusión de gases del motor, que con la utilización de un filtro nuevo podrían evitar que estos gases ingresen a la cabina, sin embargo de darse esto sería en proporciones muy pequeñas por la poca diferencia que existe entre las dos condiciones.

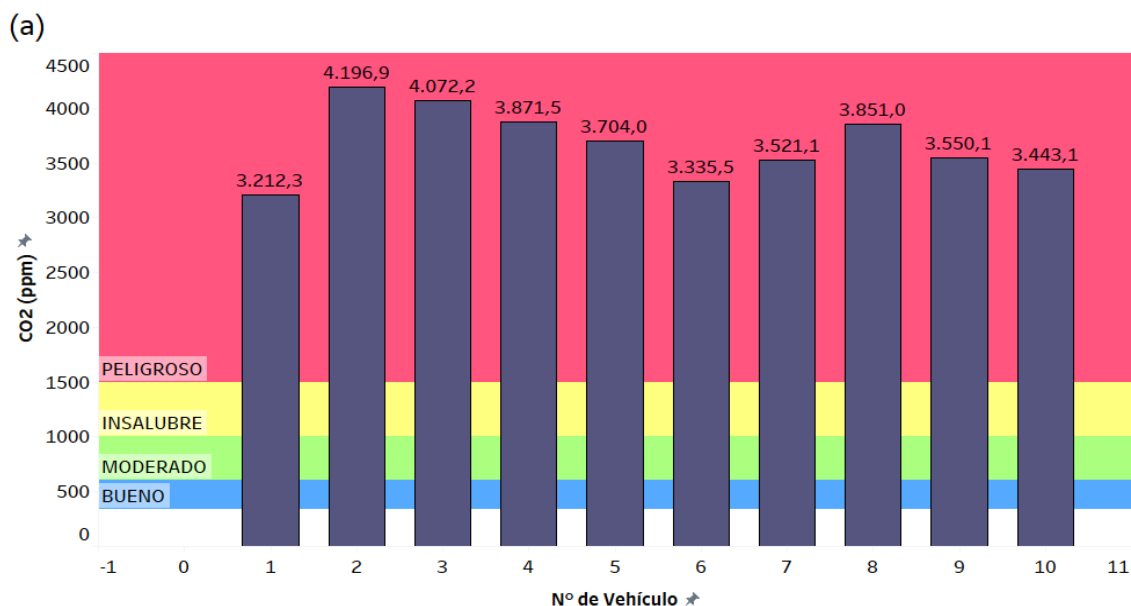


Gráfico 14-3: Modo de ventilación 1 de CO2 filtro nuevo Kia Sportage

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 15 – 3 se presenta el modo de renovación de aire en donde se visualiza una notable disminución en el nivel de concentraciones de dióxido de carbono, esto es corroborado con los resultados obtenidos por (Grady et al. 2013; Hudda y Fruin 2018) en donde determinan que activando el A/C con entrada de aire fresco las concentraciones de CO2 disminuyen por debajo de las 1000 ppm. En la prueba con la utilización del filtro de A/C usado de la figura 9 – 3 el nivel de concentraciones baja en 7 de los 10 vehículos a comparación de la prueba con filtro nuevo en donde se puede destacar que 9 de los 10 vehículos se encuentran en un nivel moderado mientras que el vehículo 2, que es el único que se encuentra en un nivel insalubre, y es uno de los vehículos que sufrió el incremento de las concentraciones de CO2 con el filtro de A/C nuevo, cambiando de esta manera de un nivel moderado con filtro usado a un nivel insalubre con filtro nuevo, es necesario mencionar que este vehículo con el filtro usado se encontraba muy cercano al límite superior del nivel moderado, siendo un ligero incremento el causante del cambio de nivel de peligrosidad en función del tiempo. Como se mencionó con anterioridad estos valores pueden verse ligeramente afectados por la tasa metabólica de los ocupantes y su nivel de actividad en el vehículo, a pesar de que fueron realizadas bajo las mismas

condiciones para ambas pruebas, es por ello que este incremento puede estar sujeto a varias interpretaciones, sin embargo, se destaca que es una variación muy leve entre las dos condiciones.

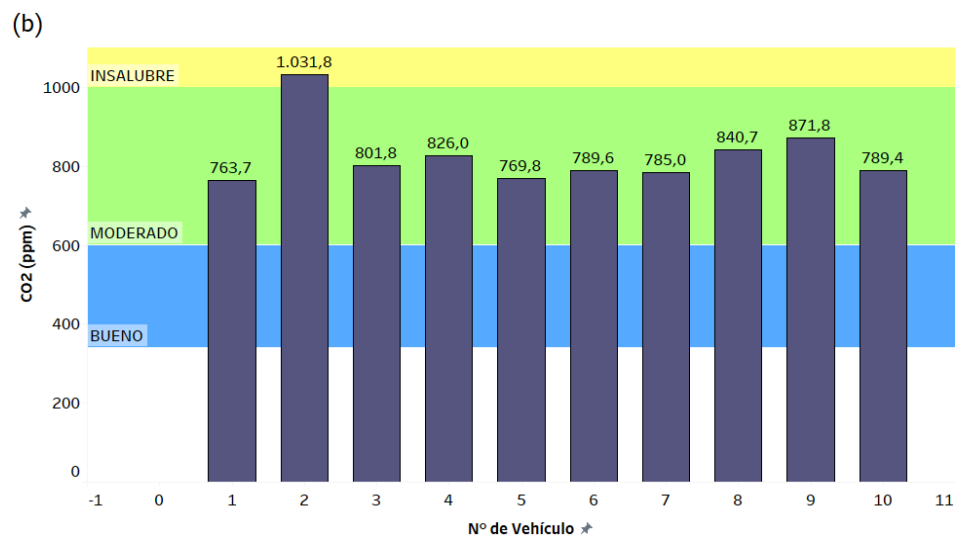


Gráfico 15-3: Modo de ventilación 2 de CO2 filtro nuevo Kia Sportage
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 16 – 3 se aprecia el tercer modo de ventilación en donde las concentraciones de CO2 se incrementan, se observa que el nivel de CO2 es menor con respecto al modo de ventilación (a), (Tartakovsky et al. 2013; Atkinson, Hill y Mathur 2017) concluyeron que al usar el A/C en modo de recirculación, las concentraciones de CO2 se elevan corroborando los resultados obtenidos en la presente investigación. Además, con la utilización del filtro de A/C nuevo se visualiza una disminución leve del nivel de concentraciones de dióxido de carbono en comparación a la prueba con filtro usado, solamente en el vehículo 4 se puede notar un ligero incremento de las concentraciones, sin embargo, estas variaciones tanto de ascenso como de descenso no representan una diferencia significativa en cuanto a la reducción del nivel de peligrosidad de este contaminante.

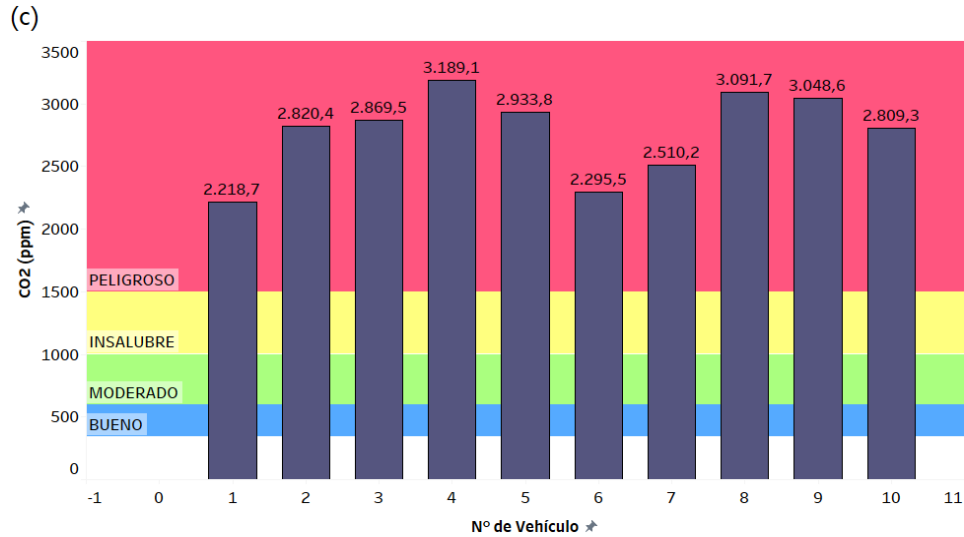


Gráfico 16-3: Modo de ventilación 3 de CO2 filtro nuevo Kia Sportage
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.1.5. Concentraciones de CO para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C usado

Al igual que la tabla 4 – 3 de los vehículos Kia Sportage Active, se plantea la tabla 6 – 3 con los niveles de concentraciones promedio tanto de CO y CO2 en cada modo de ventilación, y en base a esta tabla se plasmarán las correspondientes gráficas de barras con su respectivo semáforo y el análisis de cada uno de los vehículos Kia Cerato Forte para cada uno de los modos de ventilación planteados.

Tabla 6-3: Promedio concentraciones CO y CO2 Kia Cerato filtro usado

Nº	Ventilación 1		Ventilación 2		Ventilación 3	
	CO (ppm)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	CO2 (ppm)
1	10.3	3973	11.2	1032	9.5	3031
2	4.3	4449	3.2	819	3.2	3200
3	4.3	4450	4.2	595	3.6	2687
4	4.3	4040	6.3	709	8.3	3386
5	2.4	4048	3.7	1241	4.1	3513
6	4.7	4006	6.1	668	7.4	3098
7	3.7	5077	3.7	1090	3.4	3735
8	5.6	4346	7.3	839	8.6	3232
9	5.7	3996	7.5	481	8.5	2942
10	2.1	4586	2.3	855	2.4	3791

Fuente: Autores

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

Basándonos en la tabla 6 – 3 se logra obtener el gráfico 16 – 3 perteneciente a las medias de CO para cada vehículo Cerato durante el primer modo de ventilación y con filtro usado. En dicha figura se puede visualizar que todos los vehículos se encuentran en un nivel moderado, mientras que tan solo

el primer vehículo presenta un nivel alto de concentraciones de monóxido de carbono llegando a un nivel peligroso, sin embargo, el resto de los vehículos se encuentran en un nivel moderado destacando el caso de los vehículos 5 y 10 cuyo nivel se encuentra muy cercano al bueno según lo recomendado por (Saad et al. 2017) para el nivel de concentraciones de CO en interiores.

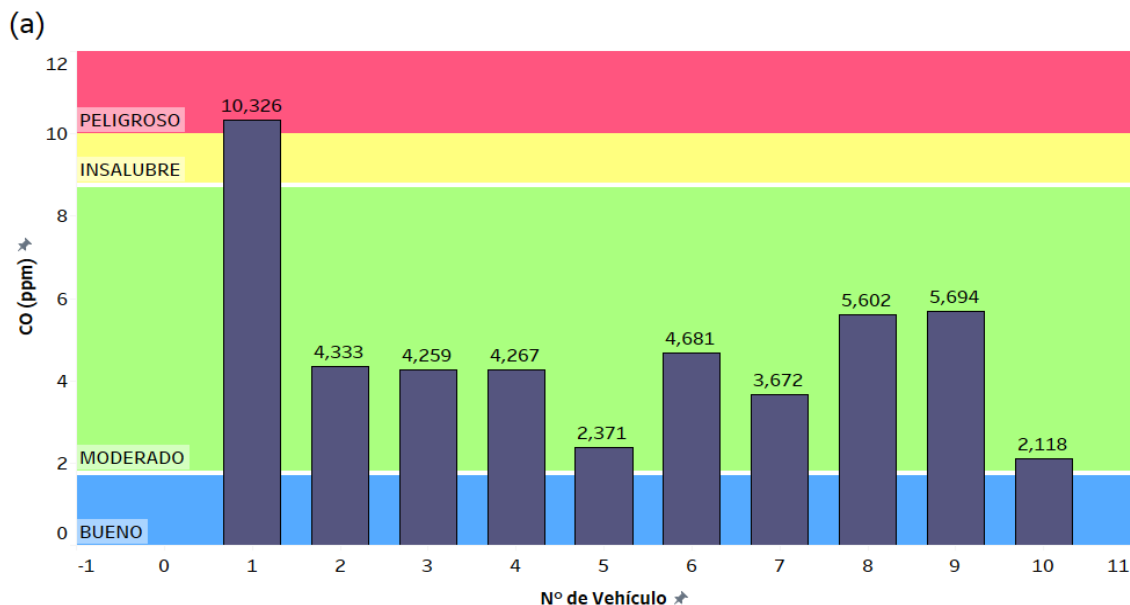


Gráfico 17-3: Modo de ventilación 1 de CO filtro usado Kia Cerato Forte
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el segundo modo de ventilación mostrado en el gráfico 18 – 3 se observa que en varios vehículos se produce un incremento de concentraciones CO, esto se debe a que en estos vehículos el sistema de aire acondicionado no funcionaba de manera adecuada, lo cual influye en el nivel de concentraciones, pero en la mitad de ellos se visualiza una disminución y hasta cierto punto estabilización de concentraciones de CO coincidiendo con los resultados de (Xu et al. 2016b) en donde el CO, con este modo de ventilación, se mantiene estable sin superar las 5 ppm. Tal es el caso del vehículo 7 y 10 en el cual se observa que la variación o incremento con respecto al modo de ventilación anterior es mínimo, además es necesario mencionar que en estos vehículos en particular el sistema de aire acondicionado se encontraba funcionando en óptimas condiciones, y es por ello que al visualizar el comportamiento de las concentraciones en los vehículos en los cuales el A/C funcionaba adecuadamente, se puede inferir que es uno de los factores que influyen en el nivel de concentraciones de CO, pues en los vehículos en los que no funcionaba este sistema se notó un incremento en el nivel de este tipo de contaminante.

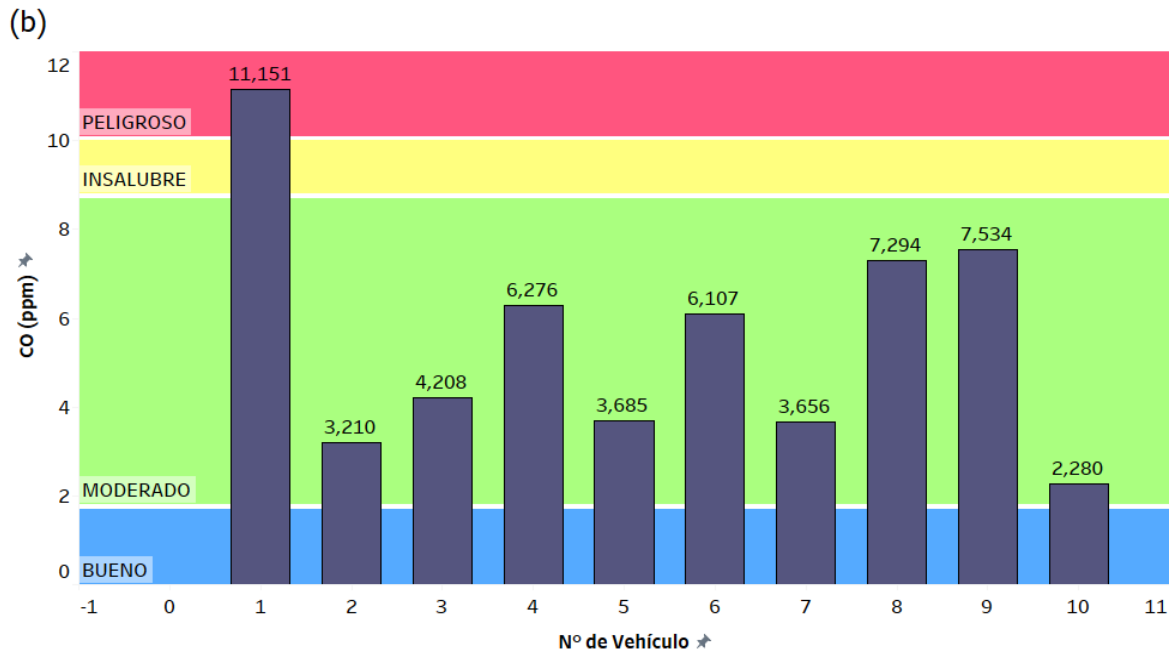


Gráfico 18-3: Modo de ventilación 2 de CO filtro usado Kia Cerato Forte
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el tercer modo de ventilación se puede visualizar en el gráfico 19 – 3, al igual que en el modo de ventilación anterior, se mantiene la tendencia de incrementarse las concentraciones de CO en los vehículos en los que el sistema de aire acondicionado no estaba funcionando correctamente, esto es corroborado por los resultados de (Abi Esber et al. 2007) quienes demostraron que al accionar el A/C con recirculación de aire las concentraciones de CO se elevan de forma lenta; sin embargo, en los vehículos que no tenían este inconveniente se observa una estabilización de los valores e incluso una ligera disminución de estos, este aspecto se ve particularmente reflejado en el primer vehículo que paso de un nivel peligroso a un nivel insalubre.

Además se nota una diferencia con respecto a los vehículos Kia Sportage Active en esta condición que se considera es importante mencionar, ya que en los vehículos Sportage se visualizaba un incremento de las concentraciones de CO durante este modo de ventilación que incluso llegaban a superar las concentraciones del primer modo, sin embargo, en los vehículos Kia Cerato Forte con el aire acondicionado en buen funcionamiento se nota que estos niveles de concentraciones de monóxido de carbono tienden a estabilizarse y/o disminuir en proporciones muy pequeñas.

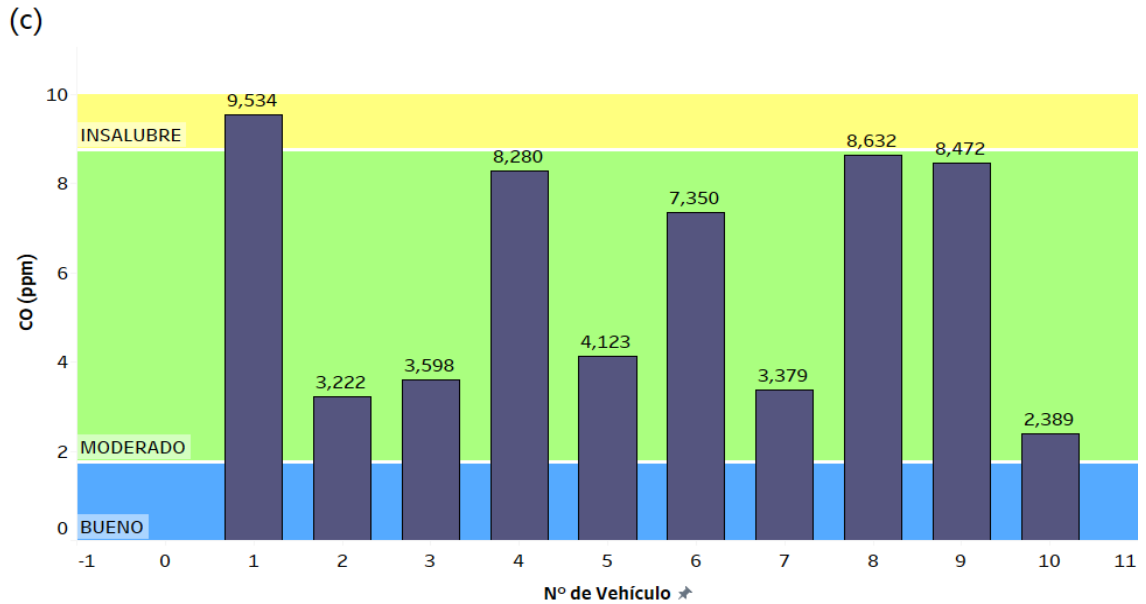


Gráfico 19-3: Modo de ventilación 3 de CO filtro usado Kia Cerato Forte
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.1.6. Concentraciones de CO₂ para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C usado

Para la obtención de los gráficos de barras para las concentraciones de CO₂ en los vehículos Cerato con filtro usado se utiliza los valores de la tabla 6 – 3. En el gráfico 20 – 3 se aprecia el primer modo de ventilación en donde se puede visualizar que los niveles de concentración de dióxido de carbono son muy altos, ubicando a todos los vehículos en un nivel peligroso. En este caso, en el vehículo 7, se puede visualizar un nivel muy alto de concentraciones que incluso superan a los valores establecidos en el semáforo, este incremento en el nivel de CO₂ se puede relacionar con la estanqueidad de la cabina del vehículo que es un factor fundamental que influye en una mayor concentración de dióxido de carbono, se puede apreciar también un cierto nivel de uniformidad en el nivel de concentraciones a excepción del mencionado vehículo 7. (Hudda y Fruin 2018) concluye que, al mantener los vidrios cerrados y el sistema de climatización del vehículo apagado, las concentraciones de CO₂ tienden a elevarse en función del tiempo y del número de ocupantes del vehículo, cuestión que corrobora los resultados obtenidos.

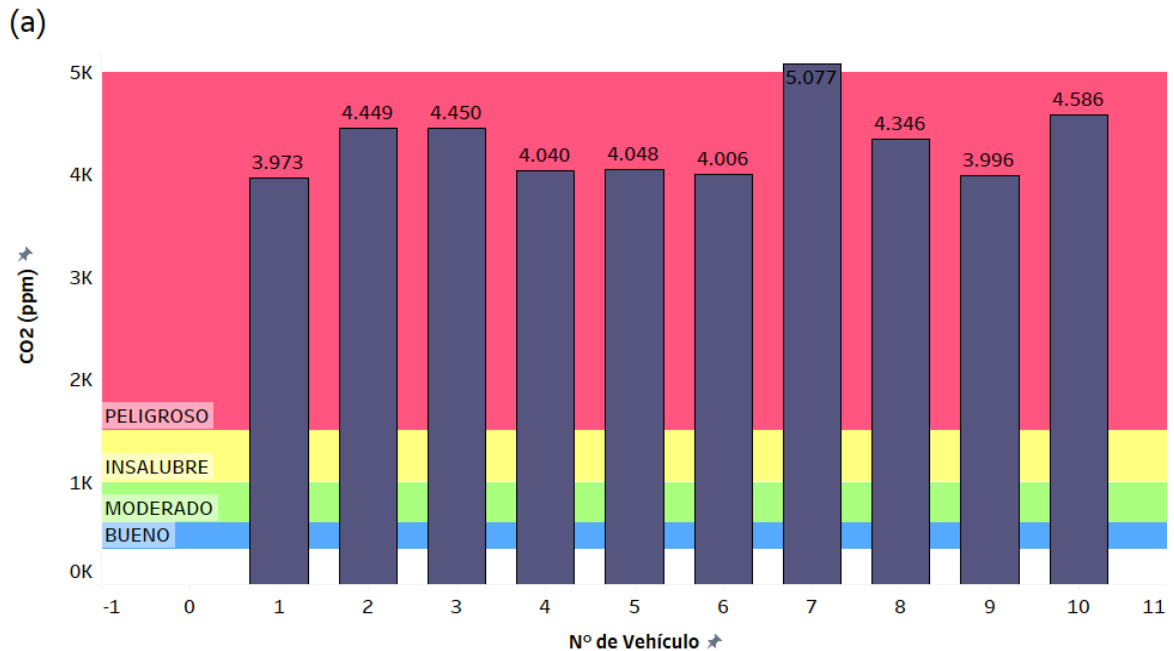


Gráfico 20-3: Modo de ventilación 1 de CO2 filtro usado Kia Cerato Forte
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el modo de renovación de aire presentado en el gráfico 21 – 3 se observa una disminución considerable en el nivel de concentraciones de CO2 bajando a tres vehículos en un nivel insalubre, cinco vehículos en un nivel moderado y dos vehículos en un nivel bueno; además se aprecia que en el vehículo 7, el cual tenía el mayor nivel de concentraciones en el modo anterior, tiene un descenso muy considerable llegando a estar muy cerca de los límites inferiores del nivel insalubre. También se destaca el caso del vehículo 3 cuyos niveles de concentraciones de CO2 en el primer modo de ventilación se encuentra entre los más altos, sin embargo, en el segundo modo, este nivel disminuye significativamente colocando a este vehículo en un nivel bueno, se dan casos similares en los vehículos 4, 6 y 9. Estos resultados concuerdan con los datos obtenidos por (Grady et al. 2013; Hudda y Fruin 2018) en donde determinan que activando el A/C con entrada de aire fresco las concentraciones de CO2 disminuyen por debajo de las 1000 ppm.

Es importante mencionar que además del vehículo 7 hay dos vehículos que experimentan una disminución de concentraciones menos pronunciadas que los demás, pues en estos dos vehículos el nivel de concentraciones de dióxido de carbono en el primer modo de ventilación no se encuentra tan elevadas como otros vehículos, colocando a estos vehículos en un nivel insalubre. También se resalta que el vehículo 1 se encuentra muy cercano al límite inferior del nivel insalubre, pero este no es el caso del vehículo 5 que se encuentra en un nivel medio del nivel insalubre, siendo el vehículo con

más alto nivel de concentraciones de este modo de ventilación, sin embargo, no alcanza un nivel de peligrosidad considerable según las normas (OSHA 2011; ANSI/ASHRAE Standard 62.1 2019; World Health Organization 2010).

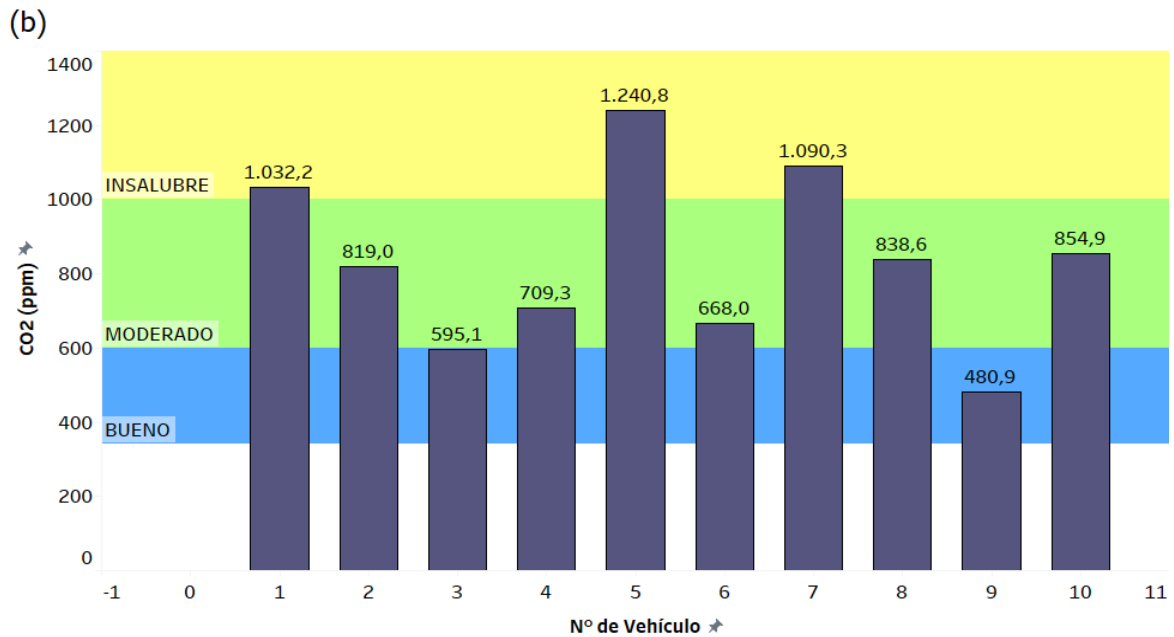


Gráfico 21-3: Modo de ventilación 2 de CO2 filtro usado Kia Cerato Forte
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el modo de ventilación (c) presentado en el gráfico 22 – 3 se visualiza un incremento de concentraciones con respecto al modo de ventilación anterior, sin embargo, este incremento no es tan elevado como en el primer modo de ventilación, a pesar de ello todos los vehículos se sitúan en un nivel peligroso, siendo los vehículos 7 y 10 los que tienen un mayor nivel de concentraciones de dióxido de carbono, destacando que los vehículos 4 y 9 registran un menor incremento de dióxido de carbono. (Tartakovsky et al. 2013; Atkinson, Hill y Mathur 2017) concluyeron que al usar el A/C en modo de recirculación, las concentraciones de CO2 se elevan en función del tiempo, velocidad del ventilador y número de ocupantes, corroborando los resultados obtenidos en la presente investigación. Se puede notar que todos los vehículos superan los valores recomendados de CO2 (1000 ppm) establecidos por las normativas (ANSI/ASHRAE Standard 62.1 2019; OSMAN 2011; World Health Organization 2010) para calidad de aire interior.

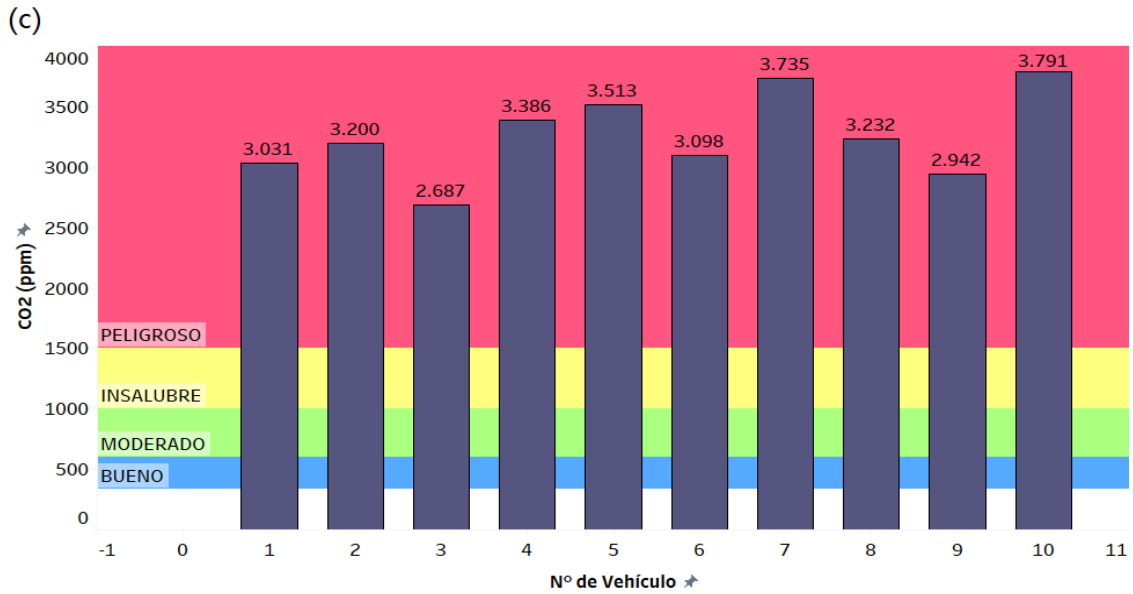


Gráfico 22-3: Modo de ventilación 3 de CO2 filtro usado Kia Cerato Forte
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.1.7. Concentraciones de CO para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C nuevo

Al igual que con el filtro usado, también se plantea la realización de la tabla 7-3 en la que se expresan los valores promedios de CO y CO2 y las correspondientes gráficas de barras en las que se podrá apreciar la diferencia con la utilización del filtro de habitáculo nuevo y por ende la influencia de este en el nivel de concentraciones de CO y CO2 al interior del habitáculo, de igual manera se realizará un análisis para cada una de las gráficas y su correspondiente modo de ventilación estableciendo las diferencias mencionadas.

Tabla 7-3: Promedio concentraciones CO y CO2 Kia Cerato filtro nuevo

Nº	Ventilación 1		Ventilación 2		Ventilación 3	
	CO (ppm)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	CO2 (ppm)
1	8.3	4154	9.4	898	9.3	3256
2	3.5	4449	3.2	858	3.2	3355
3	4.2	4374	4.2	579	4	2860
4	3	3893	4.3	796	4.8	3056
5	2.7	4204	4.1	933	5	3591
6	3.3	4293	4.4	866	5.7	3519
7	4.2	4452	3.8	775	4	3093
8	5.9	4456	7.8	1151	9.2	3346
9	3.4	4189	4.5	413	5.3	2986
10	2.7	4157	2.7	763	2.9	3146

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 23 – 3 se aprecia el primer modo de ventilación en donde todos los vehículos se encuentran en un nivel moderado. Con respecto a la utilización del filtro nuevo se observa que la mayoría de los vehículos experimentan una reducción de la concentración de monóxido de carbono al interior del habitáculo, aspecto que se destaca en el vehículo 1 que con el filtro de A/C usado se ubicaba en un nivel peligroso y con el filtro de A/C nuevo se ubica en un nivel moderado, sin embargo en varios vehículos se aprecia que el nivel de concentraciones sube ligeramente sin que esto represente una diferencia en el estado del vehículo. Cabe mencionar también que en este modo de ventilación no se esperarían variaciones al tratarse de un modo en el cual no se emplea el ventilador del sistema de climatización, pero como se mencionó en el vehículo anterior esto puede deberse a factores externos, ambientales y de los ocupantes del vehículo.

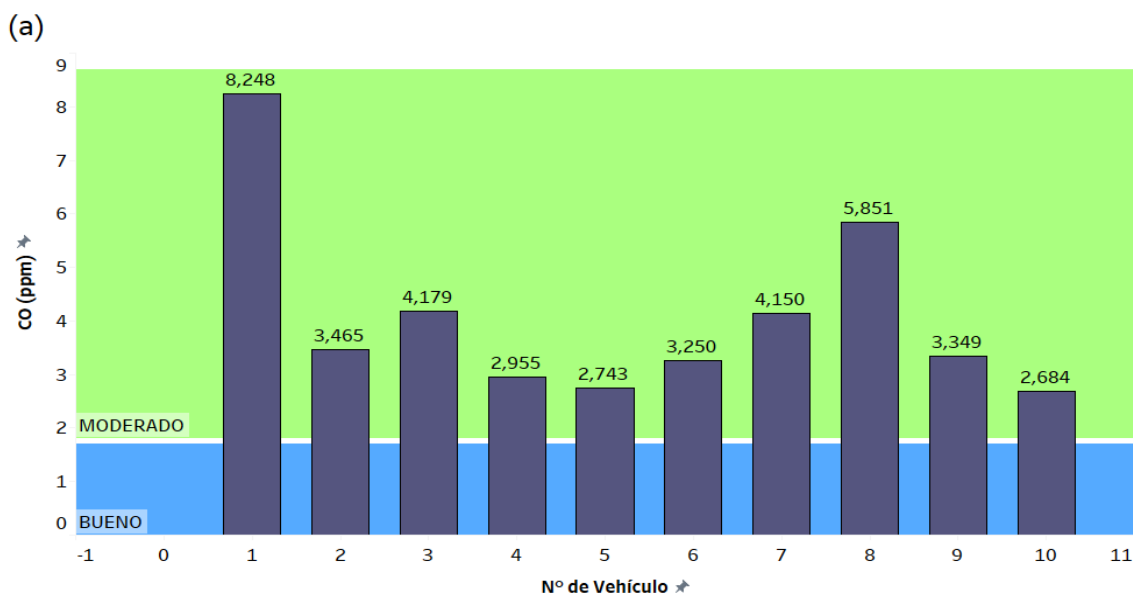


Gráfico 23-3: Modo de ventilación 1 de CO filtro nuevo Kia Cerato Forte
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el segundo modo de ventilación representado en el gráfico 24 – 3 se aprecia un ligero incremento en varios vehículos, lo cual puede ser causado por el funcionamiento inadecuado del sistema de aire acondicionado. Con respecto a la utilización del filtro nuevo se aprecia que el nivel de concentraciones tiende a disminuir en la mayoría de los vehículos e incluso se observa que llegan a estabilizarse, es decir que no tienen una variación muy pronunciada con respecto al modo de ventilación anterior, sobre todo en los vehículos en los que el sistema de aire acondicionado funcionaba correctamente.

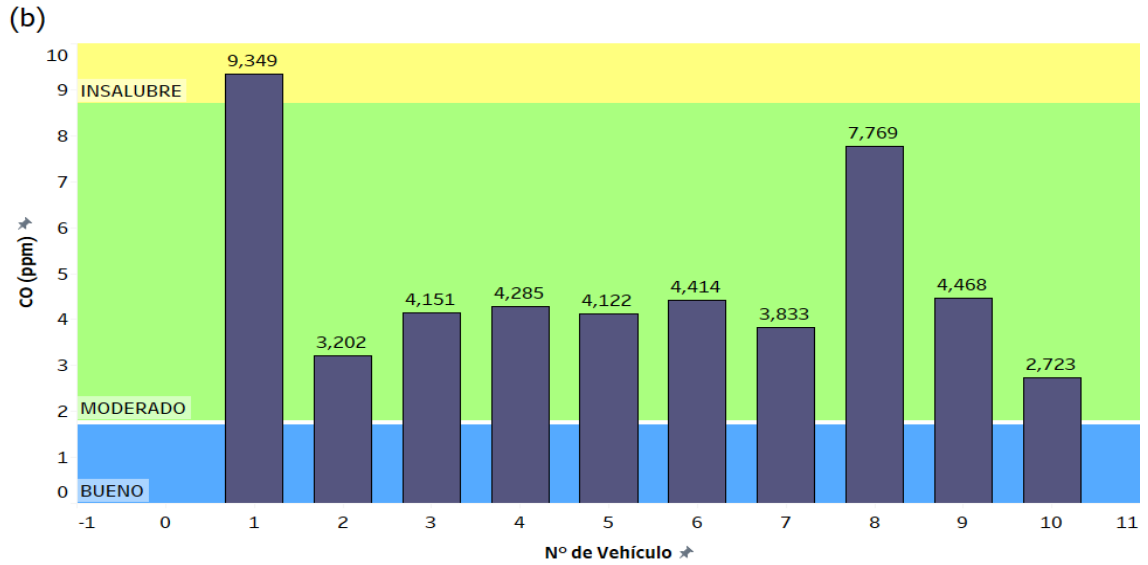


Gráfico 24-3: Modo de ventilación 2 de CO filtro nuevo Kia Cerato Forte

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el tercer modo de ventilación gráfico 25 – 3 se observa un comportamiento muy variado en cada uno de los vehículos, pues en 6 de los vehículos analizados se observa un incremento en el nivel de concentraciones de monóxido de carbono, coincidiendo con los resultados de (Esber y El-Fadel 2008; Abi Esber et al. 2007) quienes determinaron que el CO aumenta al encender el A/C en modo de recirculación de aire. Por el contrario, los demás vehículos experimentan un descenso en el nivel de CO al interior del habitáculo, y en algunos casos estos valores permanecen casi constantes pues experimentan muy poca variación. Se resalta también que al igual que con el filtro usado, con el filtro de A/C nuevo se observan vehículos en los que la variación es mínima y tienden a estabilizarse como el caso del vehículo 1 en el cual la variación es mínima. Las variaciones más pronunciadas entre filtro nuevo y usado se registran en los vehículos 4, 6 y 9 con un descenso de concentraciones con el filtro de A/C nuevo.

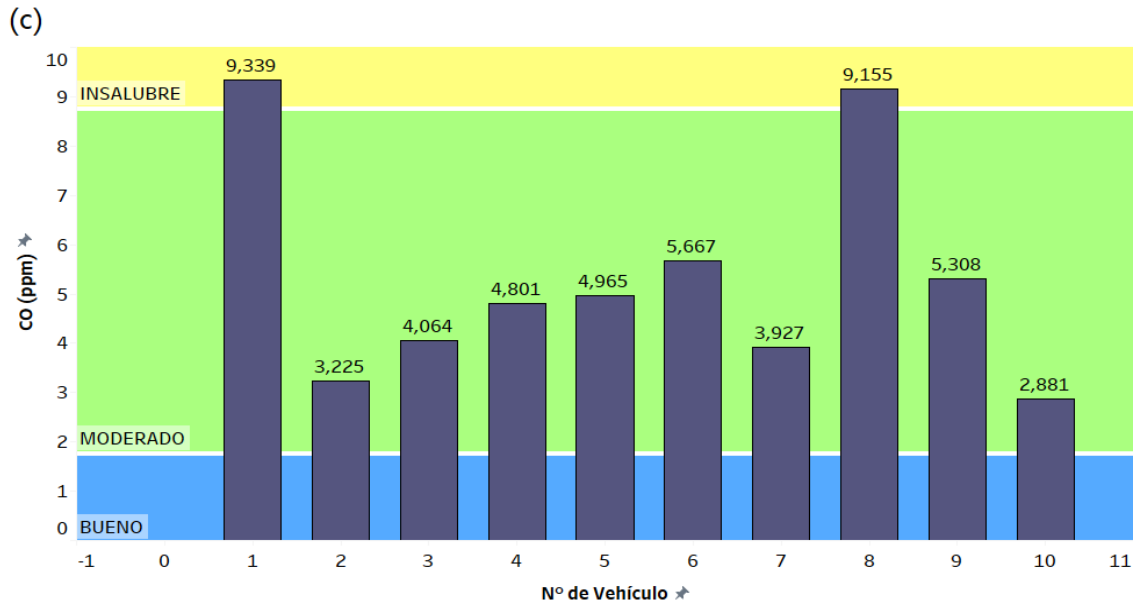


Gráfico 25-3: Modo de ventilación 3 de CO filtro nuevo Kia Cerato Forte
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.1.8. Concentraciones de CO₂ para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C nuevo

En el gráfico 26 – 3 se aprecia el primer modo de ventilación en donde se observa que los valores de CO₂ son bastante altos, ubicando a todos los vehículos en un nivel peligroso, además en la comparativa con la figura 20 – 3, con el filtro de A/C nuevo se puede destacar que los valores de concentraciones tienden a disminuir, tal es el caso del vehículo 7 en el cual la medición con filtro usado se encontraba con un nivel de concentraciones por encima de los límites establecidos en el semáforo, sin embargo con la utilización del filtro de A/C nuevo estos valores son disminuidos para estar en el rango de valores del semáforo, aun así este vehículo y todos los analizados se mantienen en un nivel peligroso, en ciertos vehículos se puede notar un ligero incremento en la concentración de CO₂, sin embargo estos valores no representan una diferencia significativa en cuanto a modificar el estado del vehículo con respecto al nivel de peligrosidad. Los resultados obtenidos por (Hudda y Fruin 2018) sugieren un incremento del CO₂ con las ventanas cerradas y A/C apagado coincidiendo con los resultados obtenidos en el presente estudio.

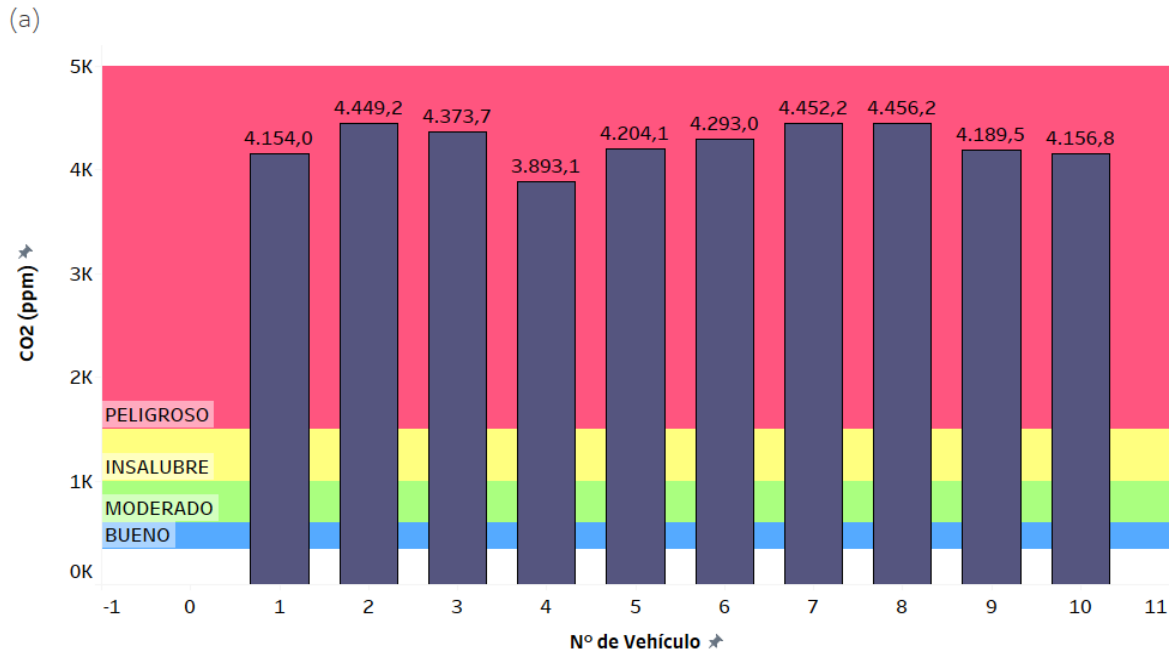


Gráfico 26-3: Modo de ventilación 1 de CO2 filtro nuevo Kia Cerato Forte
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el segundo modo de ventilación presentado en el gráfico 27 – 3, se aprecia una reducción significativa del nivel de concentraciones de dióxido de carbono, también se observa un comportamiento variado en el que la mitad de los vehículos experimentan un incremento en las concentraciones, este aspecto se hace especialmente notorio en el caso del vehículo 8 en el que se mira un incremento considerable con respecto a la medición con filtro de A/C usado, esto se debe al mal funcionamiento del sistema de climatización y aire acondicionado. (Grady et al. 2013; Hudda y Fruin 2018) concluyeron que, al tener el A/C en modo de renovación de aire, el CO2 presenta una disminución y se mantiene estable por debajo de las 1000 ppm. También se observa que durante este modo de ventilación el promedio de concentraciones de CO2 no superan los valores estándar recomendados establecidos por las normativas internacionales para la calidad de aire interior (ANSI/ASHRAE Standard 62.1 2019; OSMAN 2011; World Health Organization 2010) que es de entre 1000 a 1500 ppm de CO2.

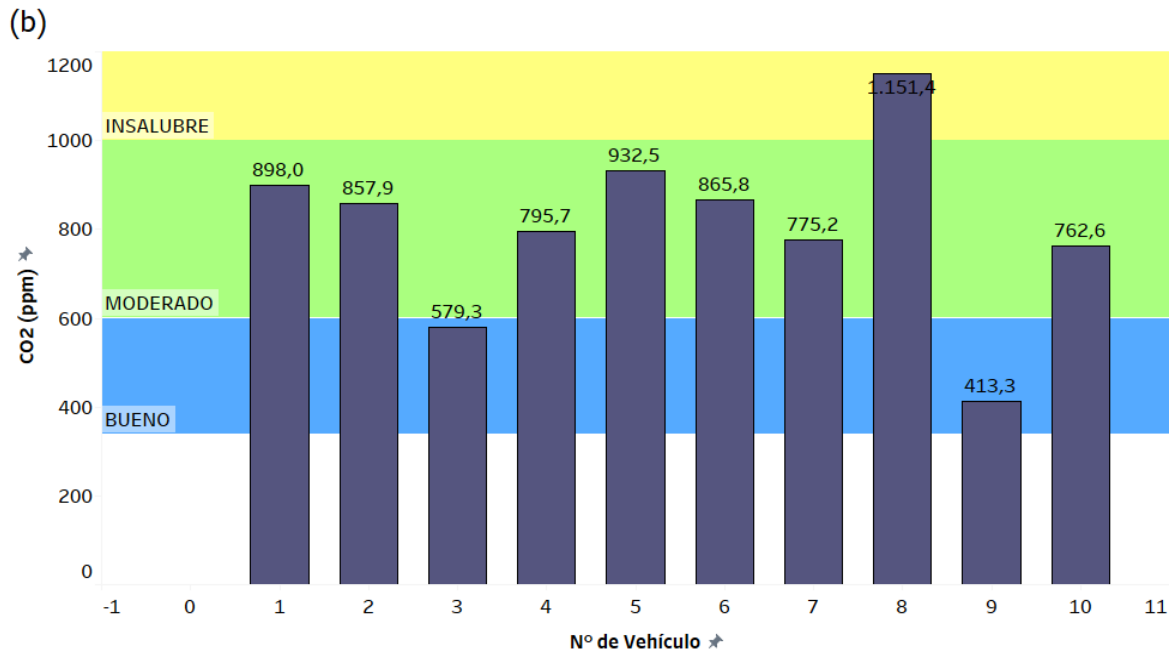


Gráfico 27-3: Modo de ventilación 2 de CO2 filtro nuevo Kia Cerato Forte
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

Con respecto al tercer modo de ventilación, gráfico 28 – 3, que hace referencia a la recirculación de aire al interior del habitáculo, se puede constatar un incremento del nivel de concentraciones de dióxido de carbono que, a pesar de ser menor al primer modo de ventilación, cataloga a todos los vehículos como peligrosos, siendo los vehículos 5 y 6 los que presentan el nivel más alto y los vehículos 3 y 9 los que tienen el valor más bajo. Con respecto al modo de ventilación anterior se puede apreciar que el vehículo 8 es el que registra un menor incremento de CO2, y el vehículo 9 el que presenta un mayor incremento. Estos resultados coinciden con los obtenidos por (Deng et al. 2020; Atkinson, Hill y Mathur 2017) ya que los autores muestran que al mantener el A/C con recirculación de aire las concentraciones de CO2 se elevan. Cabe recalcar que durante este modo el CO2, en todos los vehículos, superan los límites establecidos por las normativas de calidad de aire interior (ANSI/ASHRAE Standard 62.1 2019; World Health Organization 2010; OSMAN 2011) y un estudio realizado por (Saad et al. 2017).

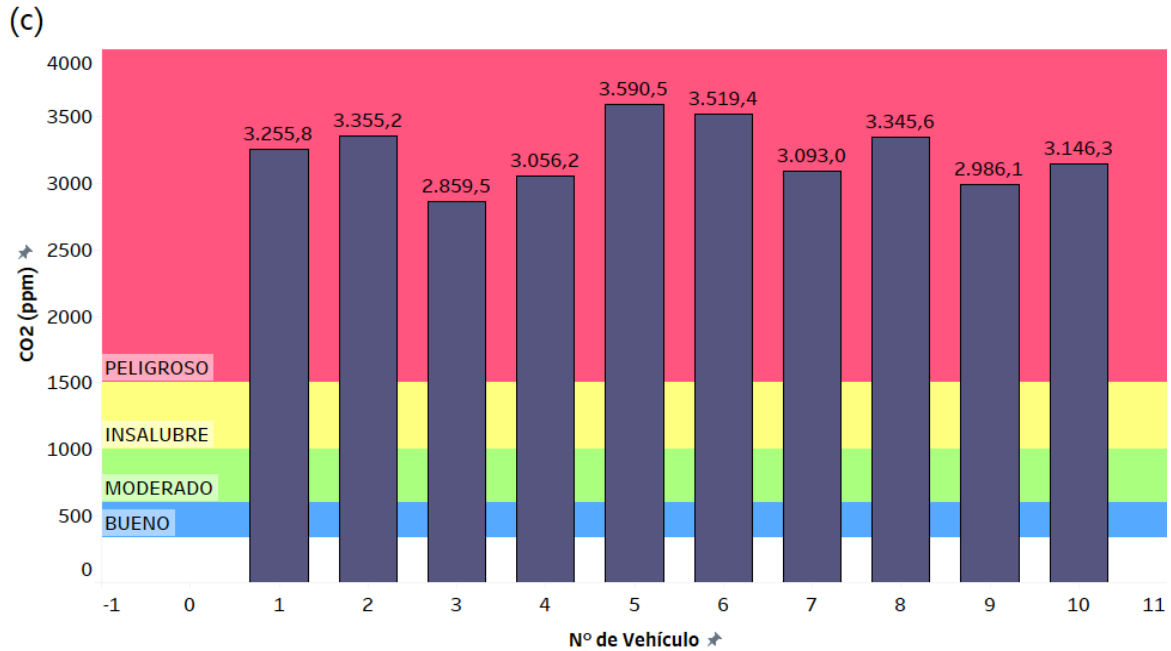


Gráfico 28-3: Modo de ventilación 3 de CO2 filtro nuevo Kia Cerato Forte
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.2. Concentraciones de CO y CO2 en pruebas completas

Al igual que los gráficos expuestos anteriormente de las concentraciones de CO y CO2 según el modo de ventilación, se realizaron gráficas de barra en función de la prueba completa, es decir, para los 90 minutos de medición a diferencia de las gráficas anteriores que fueron clasificadas según la ventilación a, b y c. En los gráficos que se presentan a continuación se emplea la respectiva semaforización en función de los niveles de concentración y también se hace la comparativa con las normativas (GOST 33554 2015) y (ANSI/ASHRAE Standard 62.1 2019), de los valores estándar aceptables de IAQ para CO y CO2 respectivamente.

Las tablas 8 – 3 y 9 – 3 que se presentan a continuación contienen los valores medios, mínimos y máximos de CO y CO2 para los vehículos Kia Sportage y Kia Cerato respectivamente. Dichas tablas contienen los valores de concentraciones tanto para filtro usado como para filtro nuevo; cabe recalcar que estos valores son promedios de las 3 mediciones de 90 minutos realizadas en cada vehículo, es decir, reflejan la prueba completa en cada automóvil de la muestra.

Tabla 8-3: Promedio concentraciones CO y CO2 Kia Sportage, prueba completa

Vehículo	FILTRO USADO						FILTRO NUEVO					
	CO (ppm)			CO2 (ppm)			CO (ppm)			CO2 (ppm)		
	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max
1	12.3	5.8	17.3	2500	495	6227	8.3	4.9	10.7	2065	498	5206
2	18.0	6.9	37.3	2584	574	5776	18.3	8.1	35.3	2780	615	6743
3	13.6	7.7	23.8	2844	500	6544	13.4	7.5	21.2	2667	476	6526
4	12.4	7.3	17.6	2611	487	6060	14.9	7.7	25.7	2709	489	6339
5	9.9	5.9	15.4	2719	536	6134	10.5	5.9	19.1	2537	490	6223
6	10.5	5.8	16.1	2195	515	5702	9.5	5.3	12.8	2208	537	5269
7	6.3	3.5	10.3	2595	521	6069	5.6	2.9	9.3	2342	522	5684
8	11.3	3.2	29.6	2748	462	6761	9.6	3.1	26.4	2748	462	6761
9	5.7	2.2	14.4	2791	501	6530	5.4	2.7	12.1	2567	545	5983
10	6.9	2.3	19.5	2696	475	6512	5.7	1.8	15.7	2425	466	5642

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

Tabla 9-3: Promedio concentraciones de CO y CO2 Kia Cerato, prueba completa

Vehículo	FILTRO USADO						FILTRO NUEVO					
	CO (ppm)			CO2 (ppm)			CO (ppm)			CO2 (ppm)		
	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max
1	10.4	6.8	14.6	2777	461	6597	9.0	6.0	11.4	2849	477	6895
2	3.6	2.0	6.2	2918	519	7295	3.3	2.1	5.5	2983	484	7425
3	4.1	2.6	9.5	2641	475	7618	4.2	2.7	7.2	2651	481	7222
4	6.2	2.9	9.5	2794	489	6912	4.0	2.0	5.7	2662	517	6591
5	3.4	1.6	5.1	3039	482	7068	3.9	2.0	6.6	2984	499	7134
6	6.1	3.4	8.2	2684	459	7081	4.4	2.1	6.8	2999	494	7404
7	3.6	2.3	5.4	3415	484	8606	4.0	2.5	5.4	2859	461	7284
8	7.1	3.9	9.8	2896	486	7242	7.6	3.9	10.9	3086	444	7673
9	7.2	3.6	9.6	2530	382	6675	4.4	2.1	6.2	2578	384	6744
10	2.3	1.2	3.5	3171	440	7806	2.8	1.9	3.8	2770	443	6885

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.2.1. Concentraciones de CO para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C usado

Con los datos de la media de CO para filtro usado de la tabla 8-3 se realizó el gráfico de barras mostrado en el gráfico 29-3 en donde se aprecia el nivel promedio de concentraciones que tiene cada vehículo Kia Sportage durante la prueba completa con filtro usado. Los vehículos 1, 2, 3, 4, 6 y 8 se encuentran por encima del umbral de peligro en función del tiempo, siendo los vehículos 1, 2, 3 y 4 los que poseen los más altos promedios de concentraciones. Los vehículos 6 y 8 se encuentran en el nivel peligroso, sin embargo, solamente superan con 1 ppm el nivel insalubre en donde se encuentra ubicado el vehículo 5 con un promedio de 9.9 ppm. Por otro lado, los vehículos 7, 9 y 10 se ubican en el nivel moderado con promedios de 6.3, 5.7 y 6.9 respectivamente. Todos los vehículos superan el valor MAC de 5 ppm establecido por la norma (GOST 33554 2015), sin embargo los vehículos 7, 9 y 10 son los más cercanos a este valor, se puede decir que incluso cumplen con lo establecido en la normativa.

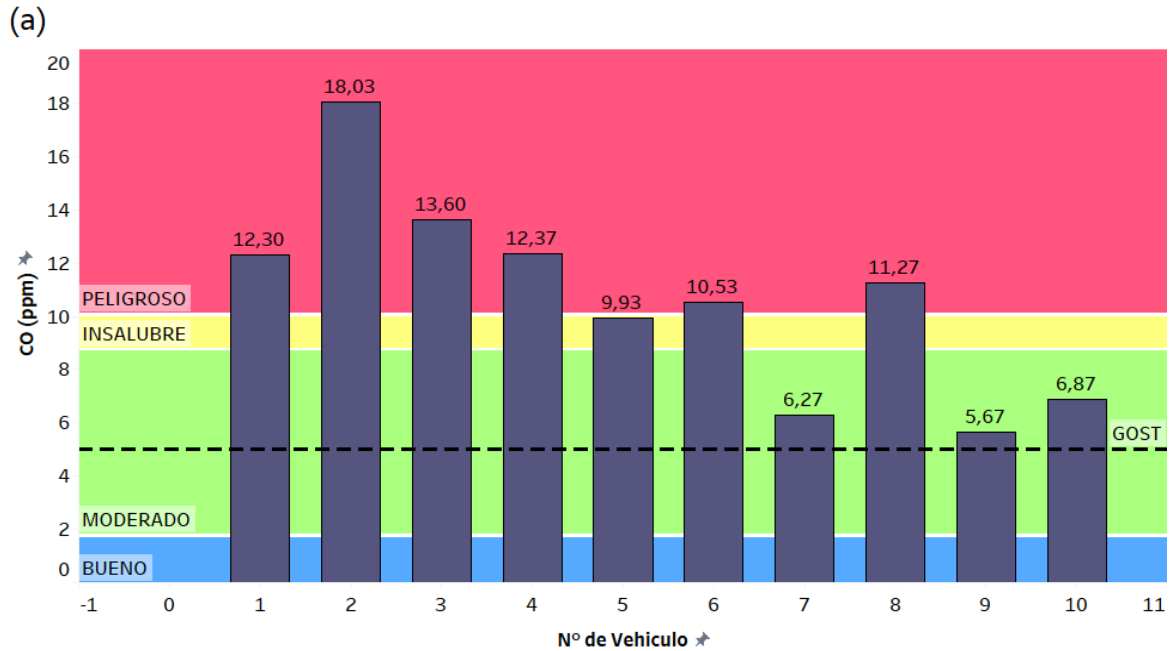


Gráfico 29-3: Prueba completa de CO filtro usado Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.2.2. Concentraciones de CO para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C nuevo

Usando los datos de la media de CO para filtro nuevo de la tabla 8-3 se realizó el gráfico de barras mostrado en el gráfico 30-3 en donde se aprecia el nivel promedio de concentraciones que tiene cada vehículo Kia Sportage durante la prueba completa con filtro nuevo. Los vehículos 2, 3, y 4 se encuentran en el nivel peligroso según la semaforización planteada. Con la utilización de este filtro, en comparación con el gráfico 29-3, se observa una disminución importante en el promedio de las concentraciones de los vehículos 1, 6, 7, 8, 9 y 10. Gracias a esta reducción los vehículos catalogados en un nivel moderado ascendieron de tres a cuatro siendo estos los vehículos 1, 7, 9 y 10, de igual forma los vehículos 5, 6 y 8 se encuentran en un nivel insalubre. En el vehículo 5 se nota un ligero incremento de 9.9 ppm a 10.4 ppm, esto se debe a factores externos que se presentaron durante el día de prueba, pese a esto, no es una gran variación que hubo en este vehículo por lo cual el promedio de concentraciones entra en el nivel insalubre. Con respecto a lo establecido por la normativa, se observa que los vehículos 7, 9 y 10 redujeron su nivel de concentración en aproximadamente 1 ppm, siendo estos los vehículos que cumplen con el valor MAC de 5 ppm establecido por (GOST 33554 2015).

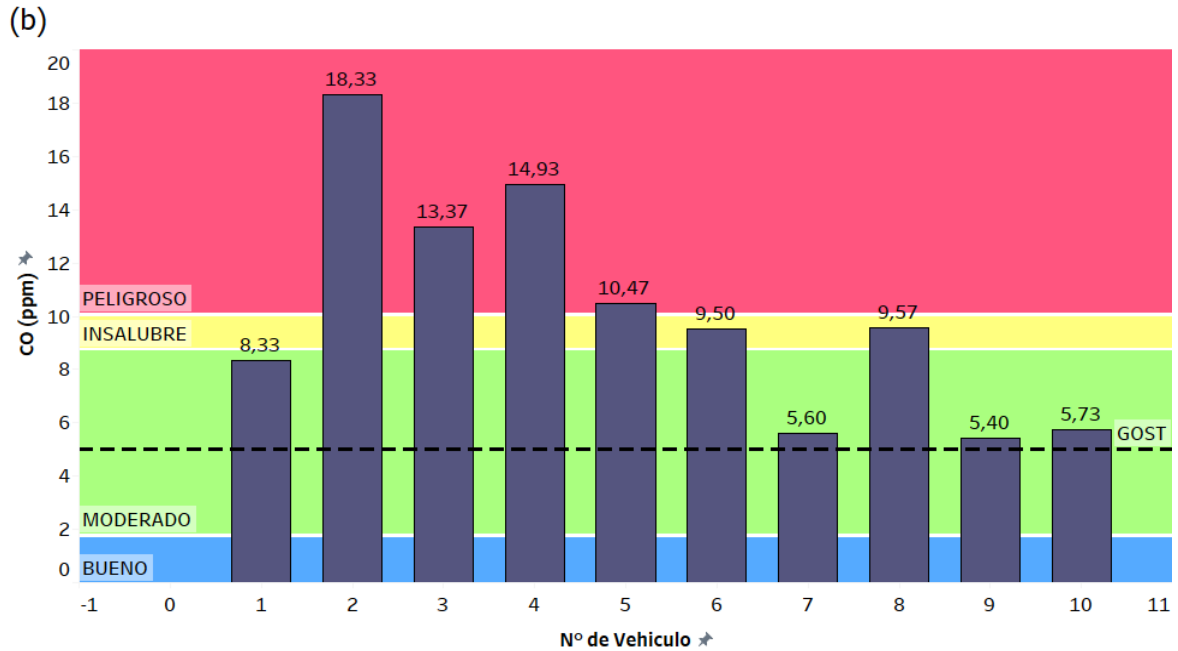


Gráfico 30-3: Prueba completa de CO filtro nuevo Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.2.3. Concentraciones de CO₂ para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C usado

En el gráfico 31-3 se aprecia el promedio de las concentraciones de CO₂ que tiene cada vehículo Kia Sportage durante toda la prueba, esta gráfica se realizó en base a la tabla 8 – 3 en donde se tomaron los valores medios de CO₂ para filtro usado. Se puede observar que en todos los vehículos el promedio de CO₂ se encuentra dentro del lumbral de peligroso, por encima de las 2000 ppm; inclusive se logra apreciar que superan el valor estándar establecido por la norma (ANSI/ASHRAE Standard 62.1 2019) que es de 1000 ppm de CO₂ en interiores siendo el vehículo 3 con el nivel más alto y el vehículo 6 con el nivel más bajo, de 2843 y 2195 ppm respectivamente.

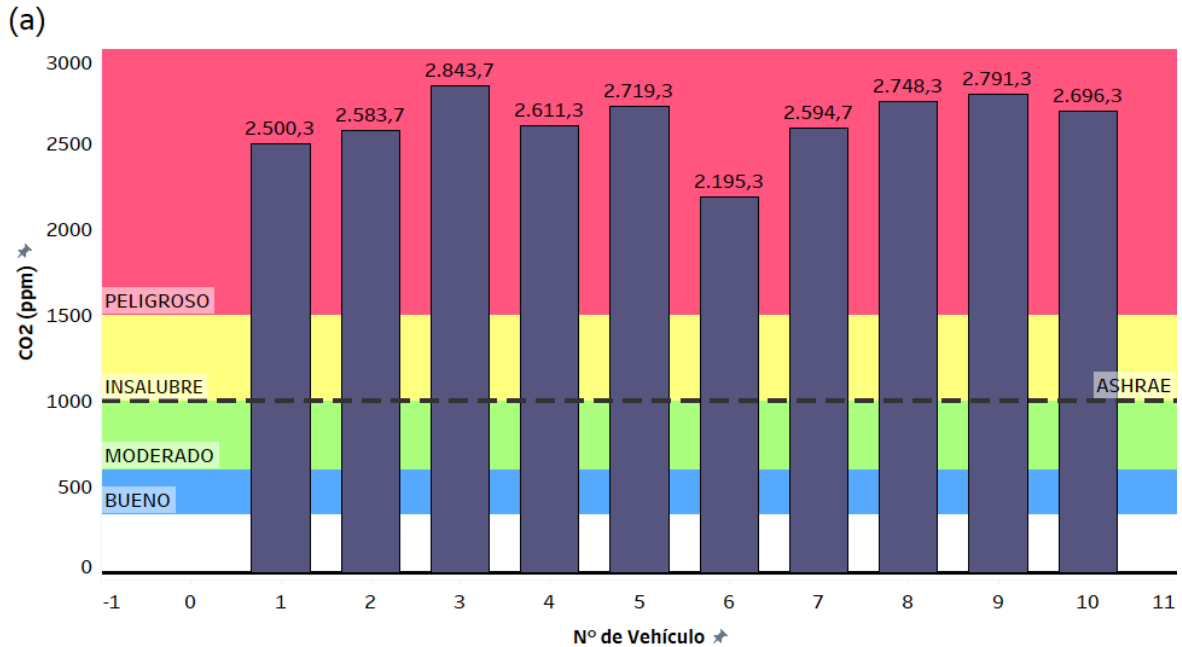


Gráfico 31-3: Prueba completa de CO2 filtro usado Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.2.4. Concentraciones de CO2 para vehículos Kia Sportage Active con filtro A/C nuevo

En base a los datos de la media de CO2 para filtro usado presentados en la tabla 8 – 3 se realizó el gráfico de barras presentado en el gráfico 32 – 3 en donde se observa el nivel de concentraciones promedio para cada vehículo Kia Sportage durante la prueba completa. En este gráfico, al igual que el del gráfico 31 – 3, las concentraciones de CO2 en todos los vehículos se encuentra dentro del lumbral peligroso por encima de las 2000 ppm siendo los vehículos 2 ,3, 4, 5, 8 y 9 los que tienen las concentraciones más altas por encima de las 2500 ppm y los vehículos 1, 6, 7 y 10 los que tienen concentraciones inferiores a las 2500 ppm. En comparación con las concentraciones con filtro usado de la figura 3 – 31, se observa una disminución de aproximadamente 500 ppm en el vehículo 1, en los vehículos 3, 5, 7, 9 y 10 el CO2 se reduce alrededor de 200 ppm, en el vehículo 2 el CO2 se eleva en 200 ppm debido a factores ambientales que se produjeron durante esa prueba, finalmente en los vehículos 4, 6, y 8 el nivel de concentraciones de CO2 no presenta una variación significativa. También se observa que todos los vehículos Kia Sportage superan el valor estándar recomendado por la norma (ANSI/ASHRAE Standard 62.1 2019) de 1000 ppm, esto sucede tanto con la utilización del filtro nuevo como con la utilización de filtro usado.

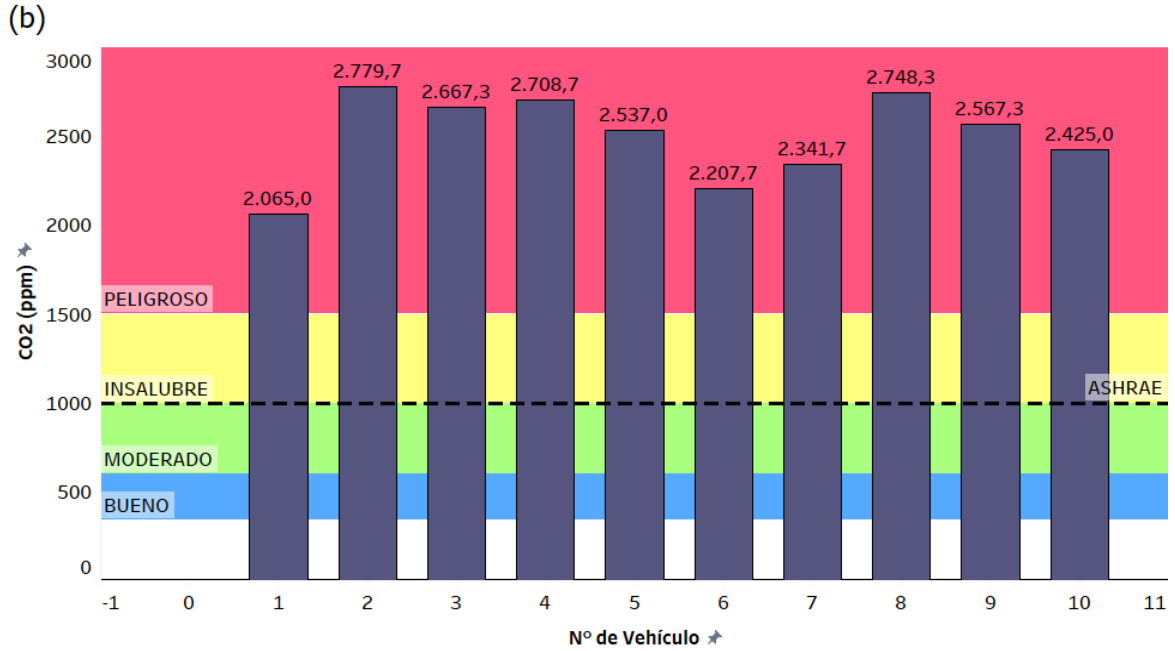


Gráfico 32-3: Prueba completa de CO2 filtro nuevo Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.2.5. Concentraciones de CO para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C usado

Con los datos de la media de CO para filtro usado de la tabla 9 – 3 se realizó el gráfico de barras mostrado en el gráfico 33-3 en donde se aprecia el nivel promedio de concentraciones que tiene cada vehículo Kia Cerato durante la prueba completa con filtro usado. A diferencia de los vehículos Kia Sportage los Kia Cerato presentan un índice de concentraciones menor teniendo a los vehículos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 en la categoría moderado; únicamente el vehículo 1 se encuentra entre la categoría peligroso, sin embargo, se puede considerar que se encuentra en el valor máximo del nivel insalubre con 10.4 ppm. Otro aspecto a considerar es que los vehículos 2, 3, 5, 7 y 10 no superan el valor MAC de 5 ppm establecido por la norma (GOST 33554 2015) por lo que se considera que estos vehículos cumplen con la normativa de calidad de aire al interior del habitáculo de los vehículos en la que la presente investigación se basó.

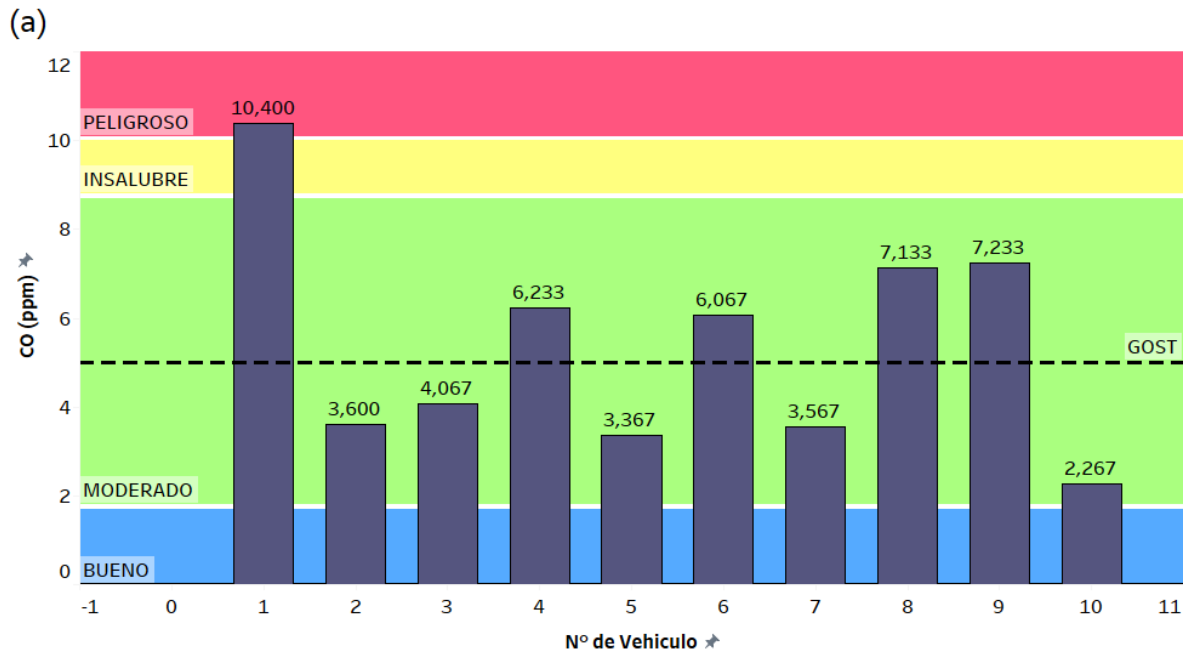


Gráfico 33-3: Prueba completa de CO filtro usado Kia Cerato
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.2.6. Concentraciones de CO para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C nuevo

En el gráfico 3 – 34 se observa el nivel promedio de las concentraciones de CO para los vehículos Kia Cerato con la utilización de filtro nuevo, para la realización de esta gráfica se usaron los datos de la media de CO con FU que constan en la tabla 9 – 3. Los vehículos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10, al igual que en el gráfico 33 – 3, se encuentran en el rango moderado de la semaforización. En el vehículo 1 se observa una disminución en el nivel de concentraciones de CO pasando de la categoría peligroso, con 10.4 ppm, a la categoría insalubre, con 8.9 ppm, muy cercano al límite superior de la categoría moderado; este vehículo se puede considerar que entra en el nivel moderado, de tal forma que con la utilización de filtro nuevo se tiene que las concentraciones de monóxido de carbono de la muestra de los 10 vehículos Kia Cerato se mantienen en un nivel moderado. También se observa que los vehículos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 y 10 se encuentran por debajo del valor MAC establecido por (GOST 33554 2015) cumpliendo con lo establecido por la normativa; en comparación con la utilización del filtro usado los vehículos 4, 6 y 9, con el filtro nuevo, cumplen con el valor estándar de 5 ppm que recomienda la norma rusa de VIAQ.

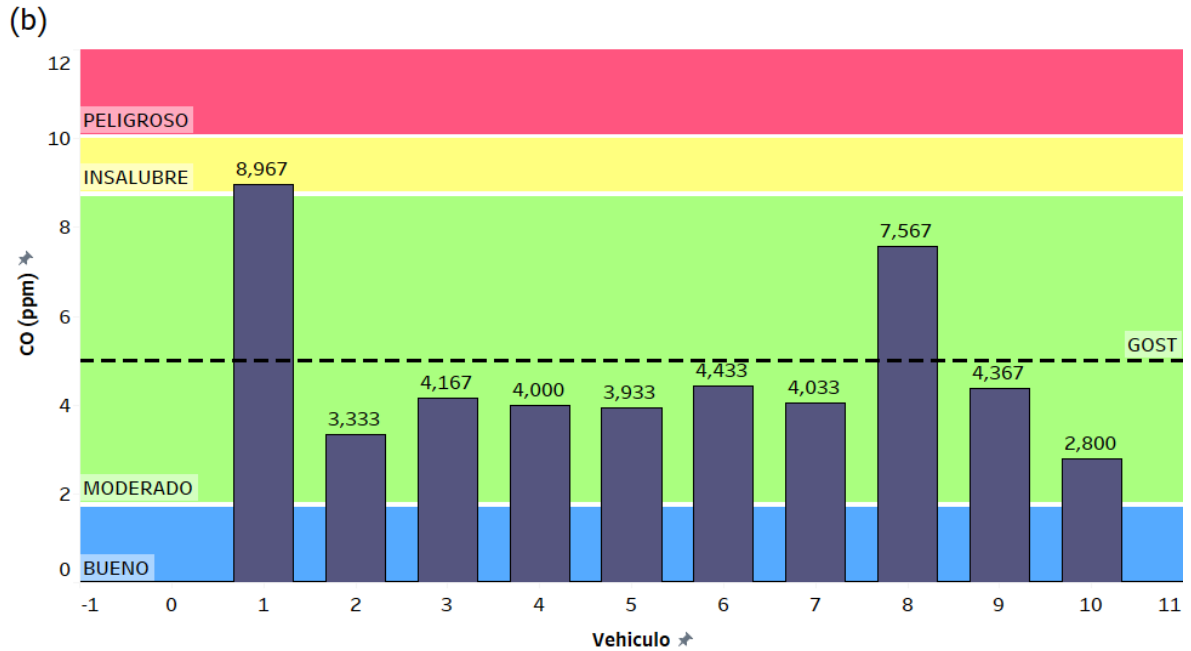


Gráfico 34-3: Prueba completa de CO filtro nuevo Kia Cerato
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.2.7. Concentraciones de CO₂ para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C usado

Con los datos de la media de CO₂ para filtro usado de la tabla 9 – 3 se realizó el gráfico de barras mostrado en el gráfico 35 – 3 en donde se aprecia el nivel promedio de concentraciones que tiene cada vehículo Kia Cerato durante la prueba completa con filtro usado. El comportamiento del dióxido de carbono es similar al de los vehículos Kia Sportage, se observa que todos los vehículos se encuentran en la categoría peligroso por encima de las 2500 ppm. En comparación con el vehículo 3, que tiene un promedio de CO₂ de 2843 ppm, de la muestra de los Kia Sportage, se observa que las concentraciones de los vehículos 5, 7 y 10 de los Cerato llegan a superar las 3000 ppm y el vehículo 2 se acerca con 2918 ppm. También se logra apreciar que todos los vehículos superan el valor estándar de 1000 ppm de CO₂ recomendado por la norma de IAQ (ANSI/ASHRAE Standard 62.1 2019) siendo el vehículo 7 con el valor promedio más alto y el vehículo 9 con el valor más bajo, con concentraciones de CO₂ de 3415 ppm y 2530 ppm respectivamente.

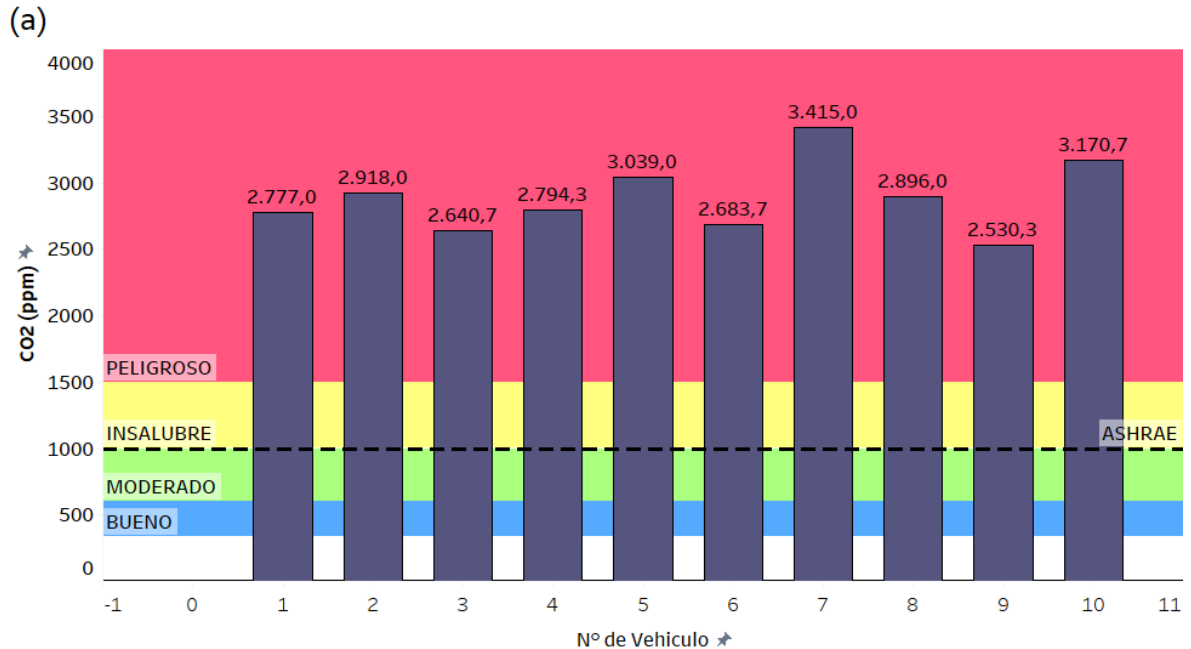


Gráfico 35-3: Prueba completa de CO2 filtro usado Kia Cerato
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.2.2.8. Concentraciones de CO2 para vehículos Kia Cerato Forte con filtro A/C nuevo

En el gráfico 36 – 3 se observa el nivel promedio de las concentraciones de CO2 para los vehículos Kia Cerato con la utilización de filtro nuevo, para la realización de esta gráfica se usaron los datos de la media de CO2 con FN que constan en la tabla 9 – 3. Se observa que con la utilización del filtro de A/C nuevo existe una ligera disminución en las concentraciones de CO2, sin embargo, se mantienen en niveles elevados dentro de la categoría peligroso y por encima de las 2500 ppm. En comparación con el gráfico 35-3, en donde el valor más alto de concentraciones tenía el vehículo 7 con 3415 ppm, se observa que el mismo vehículo presenta una disminución de CO2 considerable alcanzando las 2859 ppm. Dicha disminución de concentraciones también se ven reflejadas en los vehículos 4, 5 y 10. Los vehículos 1, 2, 3, 6, 8 y 9 no se observa que las concentraciones disminuyan o aumenten con la utilización del filtro nuevo, se mantienen similares a las concentraciones del gráfico 35 – 3. En comparación con el valor estándar recomendado por la (ANSI/ASHRAE Standard 62.1 2019) se aprecia que ningún vehículo cumple con lo establecido superando las 1000 ppm de concentración de CO2 recomendadas por la normativa.

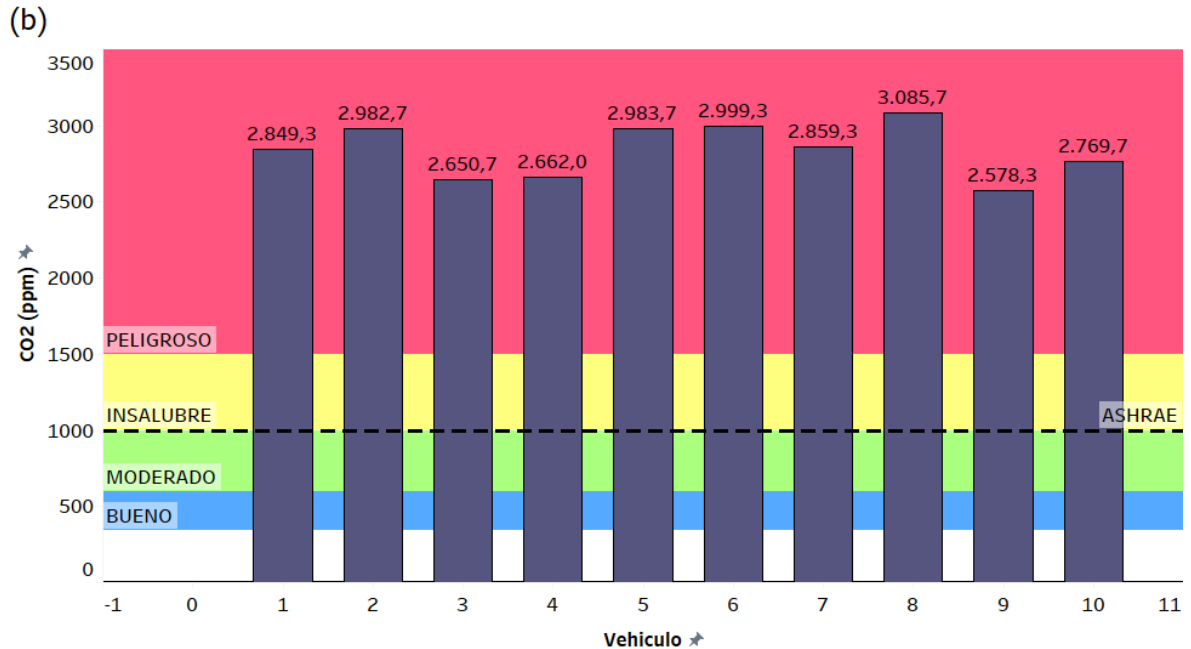


Gráfico 36-3: Prueba completa de CO2 filtro nuevo Kia Cerato
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3. Análisis ANOVA

En el presente estudio se realizó el análisis de varianza basándose en investigaciones realizadas por (Rocha-Hoyos et al. 2019), (Alameddine et al. 2016) y (Almutairi, Alsanad y Alhelailah 2019), se utilizó este análisis para establecer si existe una diferencia estadísticamente significativa con respecto al uso de un filtro de A/C usado y nuevo para cada vehículo que se probó. Este análisis se realizó de manera independiente para cada vehículo, Kia Sportage y Kia Cerato, y para cada modo de ventilación, es decir, se hizo un análisis Anova multifactorial para el modo de ventilación a, b y c; también se realizó el mismo estudio para la prueba completa, es decir, los 90 minutos de medición. Se utilizó dos softwares estadísticos para el análisis de los datos obtenidos que se explican a continuación.

En el software de Statgraphics Centurion se realizó el análisis Anova multifactorial considerando como variables el CO y CO2, y como factores el tipo de filtro y los vehículos probados, utilizando una interacción de orden máximo de 2 para establecer la relación entre los factores. Con este análisis se obtuvo la tabla ANOVA en la que se establece el valor de P y la razón F que nos ayudarán a determinar la influencia de la utilización de un filtro de A/C nuevo con respecto a uno usado en el nivel de concentraciones de CO y CO2 en las condiciones de ventilación descritas en la tabla 1 – 3. Además, se realizó una prueba de múltiples rangos en la que se aplica un proceso de comparación

múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, y también se obtuvo una gráfica de medias en la cual se encuentran representados los valores de la media y límites superior e inferior para cada tipo de filtro. También se obtuvo una gráfica de interacciones de las concentraciones de CO y CO₂ para cada tipo de filtro y según el vehículo de prueba.

El segundo software estadístico que se utilizó fue Minitab, se realizaron gráficas de intervalos tomando como base el análisis Anova con un 95 % de intervalo de confianza. Se realizaron gráficas en base a cada modo de ventilación estudiado y en base a la prueba completa de 90 minutos utilizando los valores medios de cada medición tanto para filtro nuevo como para filtro usado, este proceso se hizo para ambos tipos de vehículo y para las concentraciones de CO y CO₂, la distribución se muestra a continuación.

3.3.1. *Kia Sportage Active*

El análisis anova multifactorial se realizó para cada modo de ventilación y para la prueba completa, esto se hizo de forma independiente para el CO y CO₂ en donde se busca encontrar la influencia que tiene la utilización de un filtro de habitáculo nuevo con respecto a uno usado en cada modo de ventilación y durante la prueba completa.

3.3.1.1. *Primer modo de ventilación CO*

En la tabla 10 - 3 se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza para CO del primer modo de ventilación, esta tabla descompone la variabilidad de la variable CO en contribuciones debidas a los factores que son el tipo de filtro y el vehículo de prueba. El programa escoge automáticamente el método de suma de cuadrados tipo III por omisión, gracias a esto la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. El punto más importante de la tabla son los valores P que prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que si un valor P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la variable CO con un 95% de nivel de confianza. En la tabla se observa que el factor vehículo tiene un valor P menor a 0.05, esto quiere decir que el CO va a presentar una variación estadísticamente significativa con respecto al tipo de vehículo que se utilizó para la prueba.

Tabla 10-3: Análisis de varianza para CO – primer modo de ventilación Kia Sportage

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	0.74021	1	0.74021	0.20	0.6554
B: Vehículo	954.9	9	106.1	28.98	0.0000
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	56.0588	9	6.22875	1.70	0.1208
<i>RESIDUOS</i>	146.47	40	3.66176		
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	1158.17	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

También se realizó pruebas de múltiples rangos para CO por tipo de filtro obteniendo la tabla 11 – 3 en donde se recopila la media LS, sigma LS y los grupos homogéneos para filtro usado y nuevo. Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Como se puede observar, no hay diferencias estadísticamente significativas entre los pares de medias de tipo de filtro, con un nivel del 95% de confianza.

En la tabla 11 - 3 también se identificó un grupo homogéneo con la alineación X en columna, esto quiere decir que no existen diferencias significativas entre los niveles que comparten la misma columna X del grupo homogéneo. El método que el programa utiliza para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5% de decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. También se observa el contraste del factor filtro usado / nuevo, en dicha tabla si la casilla “Sig.” se encuentra marcada con un asterisco quiere decir que indica una diferencia significativa entre medias, caso contrario no.

Tabla 11-3: Prueba de múltiples rangos CO tipo de filtro, ventilación (a) Kia Sportage

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Usado	30	9.38176	0.349369	X
Nuevo	30	9.6039	0.349369	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Nuevo - Usado		0.222143	0.998579	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 37-3 se observan los gráficos de medias de CO (a) para cada tipo de filtro y el gráfico de interacciones (b) que tiene cada vehículo con filtro usado / nuevo. En el gráfico (a) se aprecia las medias obtenidas del procedimiento LSD de Fisher del análisis anova, se puede observar que no existe variación significativa, con respecto al CO, entre filtro usado / nuevo en los vehículos Kia Sportage

ya que las medias para filtro nuevo y usado se encuentran entre 9.6 y 9.4 respectivamente. Esto se corrobora en el gráfico (b) en el que se observa que las interacciones de todos los vehículos no cambian con la utilización de filtro nuevo y usado, a excepción del vehículo 1, en el que se observa que la media de CO con filtro nuevo es menor a la media con filtro usado, esto se debe a factores externos al vehículo como lo son las condiciones ambientales, vehículos de alrededor, estado del vehículo; por otro lado el vehículo 2 presenta un comportamiento similar pero contrario debido a los mismos factores antes mencionados.

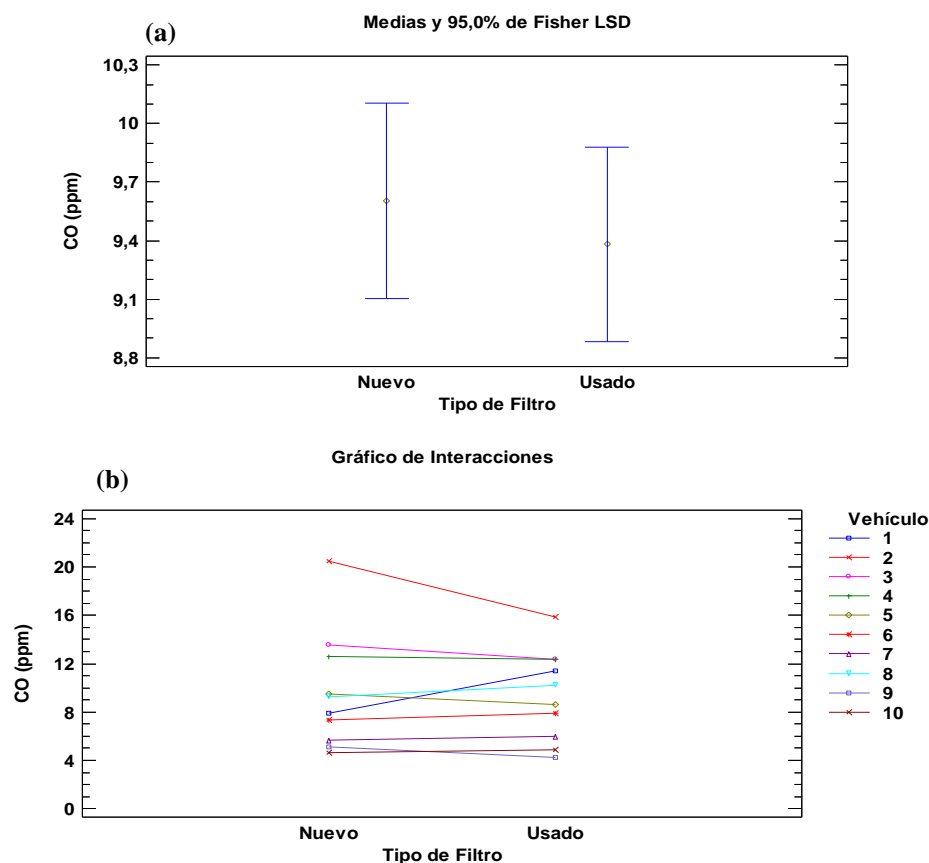


Gráfico 37-3: Medias e interacciones de CO por tipo de filtro ventilación (a) Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

Además, en base al análisis de varianza, se obtuvo el gráfico 38-3 en la que se encuentran determinados los intervalos de concentraciones en base a los tres valores promedios de cada modo de ventilación y tomando como referencia la desviación estándar para determinar los intervalos, en esta gráfica se puede observar el comportamiento de las concentraciones de CO en ppm tanto para filtro de A/C usado como nuevo para cada uno de los vehículos analizados y con ella podemos corroborar de manera visual lo expresado por el análisis de varianza.

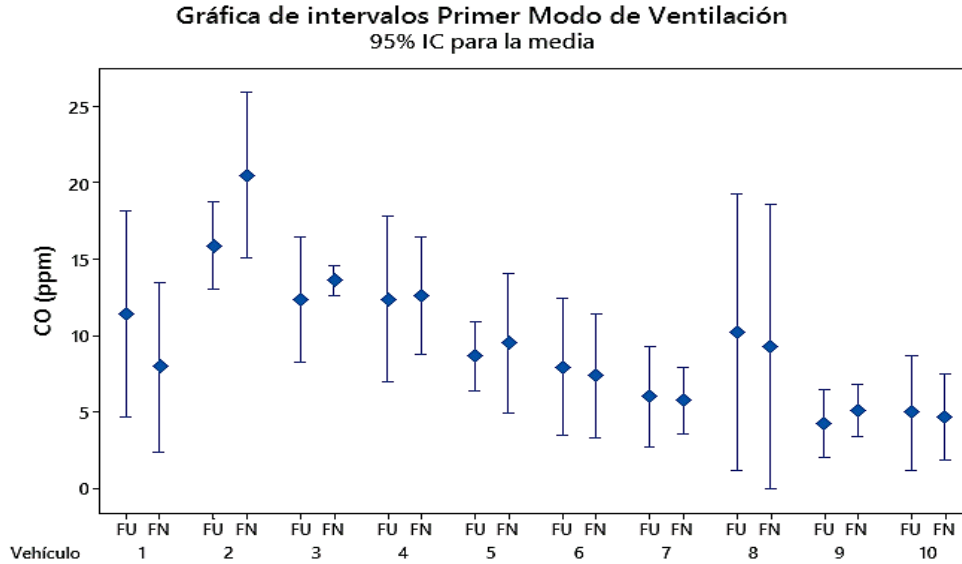


Gráfico 38-3: Gráfica de intervalos para CO primer modo de ventilación Kia Sportage
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3.1.2. Segundo modo de ventilación CO

Al igual que en el primer modo de ventilación, se realizó un análisis ANOVA multifactorial para determinar la influencia que tiene el uso de un filtro de A/C nuevo en comparación a un filtro usado durante la activación del aire acondicionado en modo de renovación de aire (segundo modo de ventilación). En la tabla 12 – 3 se presentan los efectos principales que se analizaron que son el tipo de filtro y el vehículo Kia Sportage que se utilizó durante las pruebas, también se obtiene el factor P para cada uno de estos efectos y para la interacción entre el vehículo y el tipo de filtro. Los valores P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores, y al realizar el análisis por medio del software estadístico, se determinó que 2 valores P son inferiores al nivel de significancia, lo que implica que el filtro de A/C tiene un efecto estadísticamente significativo de acuerdo con el análisis de varianza en el nivel de concentraciones de monóxido de carbono con un nivel de confianza de 95%. Además de la interacción entre el tipo de filtro y el vehículo que de acuerdo con la tabla 12-3, no es estadísticamente significativo ya que supera el nivel de significancia.

Tabla 12-3: Análisis de varianza para CO – segundo modo de ventilación Kia Sportage

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	4.92808	1	4.92808	4.83	0.0338
B: Vehículo	773.734	9	85.9705	84.30	0.0000
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	18.4784	9	2.05315	2.01	0.0631
<i>RESIDUOS</i>	40.7933	40	1.01983		
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	837.934	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

Al igual que con lo mencionado en el primer modo de ventilación, la prueba de múltiples rangos para CO por tipo de filtro planteado en la tabla 13 -3, determina la diferencia significativa entre las medias para cada condición planteada, en este caso, el filtro de habitáculo. El análisis realizado para este caso determina que, en base a que no existe homogeneidad en los grupos de tipos de filtro de A/C, la media de concentraciones de CO es estadísticamente diferente, además el valor de sigma y la diferencia corroboran este análisis, el cual también se puede visualizar en el gráfico 39-3.

Tabla 13-3: Prueba múltiples rangos CO tipo de filtro, ventilación (b) Kia Sportage

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	7.87733	0.184376	X
Usado	30	8.45051	0.184376	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Nuevo - Usado	*	-0.573183	0.52699	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 39-3 se puede visualizar la gráfica de medias (a) para cada tipo de filtro y se observa la diferencia que existe en el nivel de concentraciones de CO, además se aprecia que las gráficas no se intersecan lo cual respalda aún más lo expresado en el análisis de varianza indicando que los valores de las medias de CO con filtro de A/C Usado/Nuevo son significativamente diferentes, y este análisis también se puede realizar en la gráfica de interacciones (b), en las cuales se puede notar la diferencia que existe entre cada uno de los vehículos con cada uno de los filtros, observándose una diferencia mucho más significativa en los vehículos 1 y 4. Cabe recalcar que se nota una disminución en las medias con la utilización del filtro de A/C nuevo con respecto a un filtro usado.

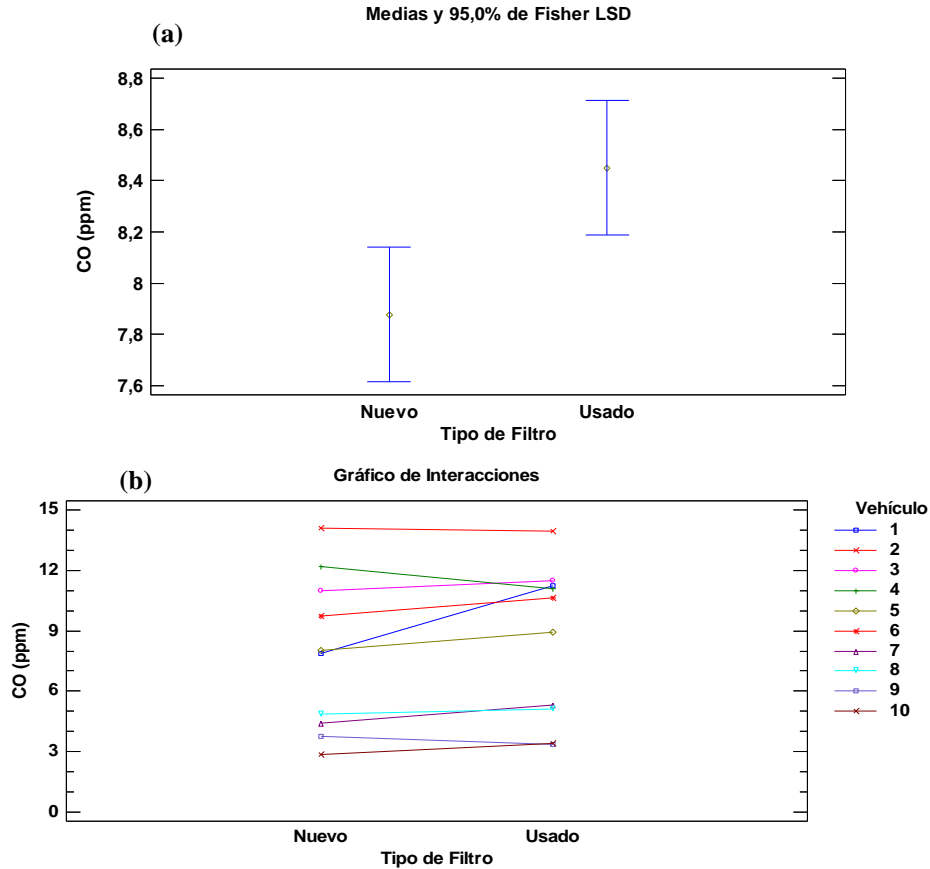


Gráfico 39-3: Medias e interacciones de CO por tipo de filtro ventilación (b) Kia Sportage
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 40-3 se visualiza el comportamiento de CO para cada tipo de filtro y vehículo, en la cual se puede observar la diferencia en el nivel de concentraciones para filtro de A/C nuevo/usado, en la cual se puede observar que los valores medios de concentraciones de CO para filtro nuevo son menores con el filtro de A/C usado en la mayoría de vehículos, sin embargo los intervalos son muy variables, pues en determinados vehículos los intervalos para filtro usado son mayores que los determinados para filtro nuevo, sin embargo en varios vehículos se presenta el caso contrario, por lo que no se tiene un comportamiento o un patrón definido, se puede observar que el vehículo con mayor variación es el vehículo 6 tanto para filtro de A/C nuevo/usado.

Gráfica de intervalos Segundo Modo de Ventilación
95% IC para la media

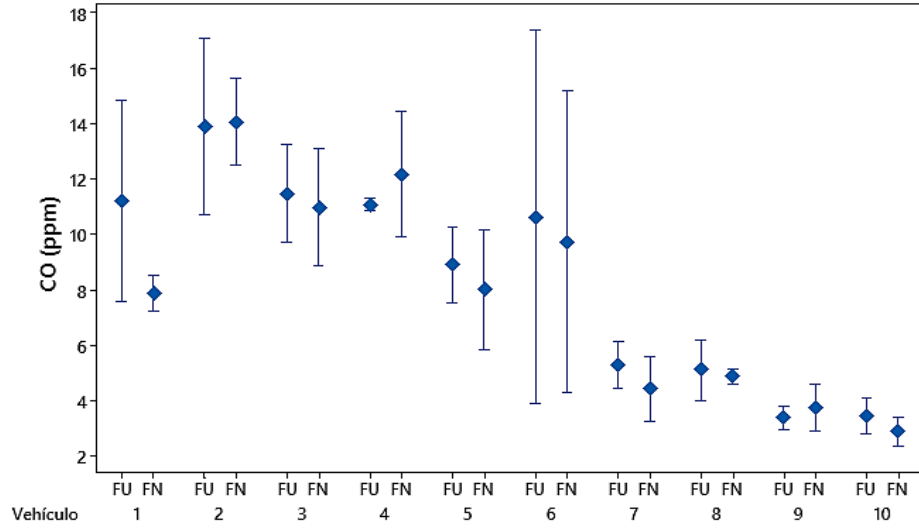


Gráfico 40-3: Gráfica de intervalos para CO segundo modo de ventilación Kia Sportage
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3.1.3. Tercer modo de ventilación CO

En el tercer modo de ventilación, al realizar el análisis de varianza que se presenta en la tabla 14-3, se determinó que el valor de p es mayor al nivel de significancia establecido del 0.05, por lo cual se establece que no existe una diferencia significativa en el nivel de concentraciones de CO al interior del habitáculo con la utilización de un filtro de A/C nuevo en contraste con el filtro usado, sin embargo, si existe una diferencia significativa entre los vehículos analizados, también se puede visualizar que la interacción entre el tipo de filtro y los vehículos es aún menos significativa, con lo que se determina que no existe una relación estadísticamente significativa entre estos dos factores, mismos que pueden ser visualizados en la tabla 14 - 3.

Tabla 14-3: Análisis de varianza para CO – tercer modo de ventilación Kia Sportage

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	29.031	1	29.031	2.75	0.1051
B: Vehículo	1021.46	9	113.496	10.75	0.0000
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	148.265	9	16.4739	1.56	0.1609
<i>RESIDUOS</i>					
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	1621.16	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

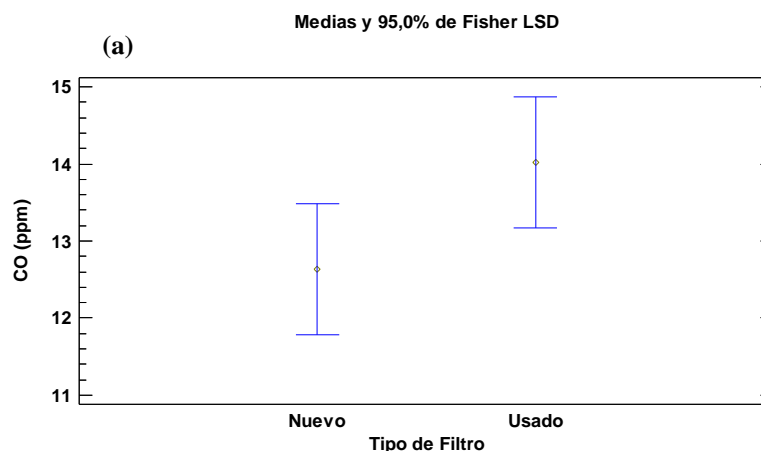
En la tabla 15 - 3 se observa la prueba de múltiples rangos para este modo de ventilación, se puede visualizar que los grupos se presentan de manera homogénea puesto que la alineación de la columna es la misma, es decir que no existe una diferencia significativa del nivel de concentraciones de monóxido de carbono con la utilización de las dos condiciones del filtro de A/C, esta prueba respalda lo mencionado en la tabla ANOVA, considerando que ambos análisis tienen un nivel de confianza del 95%, este análisis también puede apreciarse en la figura 41-3.

Tabla 15-3: Prueba múltiples rangos CO tipo de filtro, ventilación (c) Kia Sportage

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	12.6311	0.593294	X
Usado	30	14.0223	0.593294	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Nuevo - Usado		-1.39119	1.69578	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 41-3 se evidencia lo analizado anteriormente en el análisis de varianza y en la prueba de múltiples rangos, en la gráfica de media (a) se puede observar que existe una diferencia entre las medias, sin embargo, esta no llega a ser significativa, se visualiza también una interacción entre los intervalos de la gráfica con filtro usado y con filtro nuevo, sin embargo, para el CO también se está considerando como factor a los vehículos analizados. La influencia para cada vehículo se puede observar de una manera mucho más clara en la gráfica de interacción (b) en la cual observamos que en varios vehículos se da una diferencia significativa principalmente en los vehículos 1, 2 y 8 en los cuales se observa una disminución de las concentraciones de CO con el filtro de A/C nuevo, sin embargo, se produce el caso contrario en los vehículos 4 y 5.



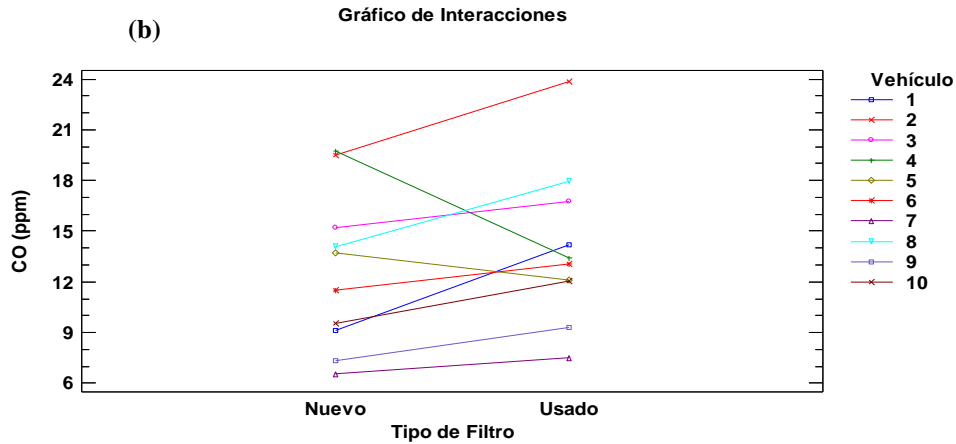


Gráfico 41-3: Medias e interacciones de CO por tipo de filtro ventilación (c) Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

El análisis expresado en la gráfica de interacciones de la figura 3-40, se ve de una manera más clara en el gráfico 42-3, en la que observamos que existe una variación de datos muy pronunciada, en condiciones de filtro de A/C usado y nuevo principalmente en los vehículos 2, 4, 5 y 8 que son en los cuales se dan las mayores variaciones, estas variaciones se pueden generar debido a múltiples factores al momento de la prueba, en los vehículos restantes se observa una menor variación. De igual manera al modo de ventilación anterior, no se observa un patrón determinado entre los vehículos analizados y el tipo de filtro, pues en la mitad de los vehículos las concentraciones de CO son menores con filtro Usado y en los 5 restantes son menores con filtro nuevo, lo cual refleja que no se da una tendencia en estos valores.

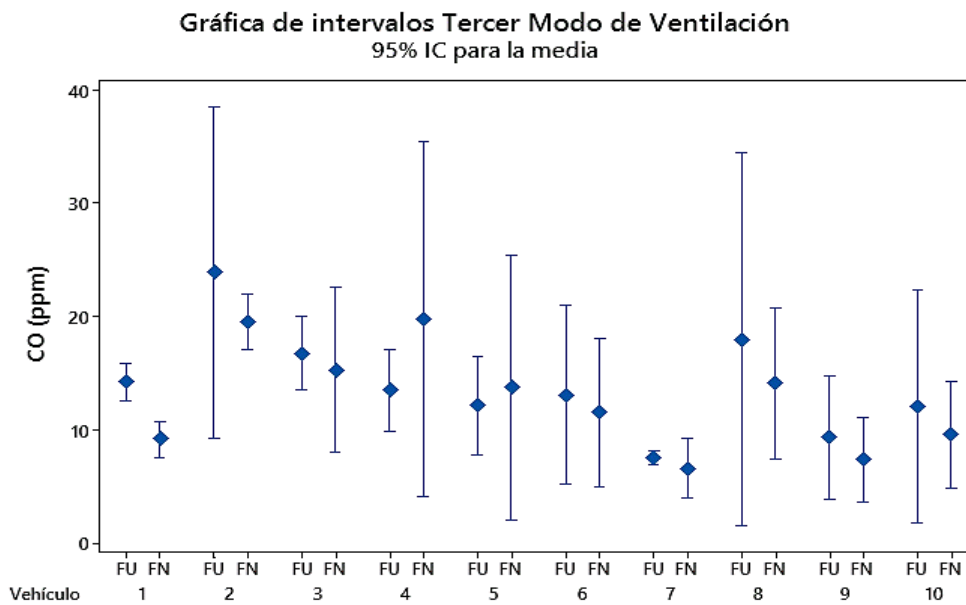


Gráfico 42-3: Gráfica de intervalos para CO tercer modo de ventilación Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3.1.4. Primer modo de ventilación CO2

El primer modo de ventilación para CO2, fue analizado exactamente de la misma manera que para el CO, por lo cual se estableció un análisis de varianza que se encuentra especificado en la tabla 16 - 3 y de la cual se obtiene que el valor de P para el tipo de filtro es mayor al nivel de significancia, lo que se traduce en que no existe una diferencia estadísticamente significativa en las concentraciones de CO2 con la utilización de un filtro usado o nuevo. También sé que el valor de P, en el número de vehículos analizados, es superior al nivel de significancia por lo cual se determinó que tampoco existe una diferencia significativa de CO2 entre los vehículos analizados, sin embargo, se observa que la interacción entre estos dos factores determinada por un valor de P inferior al nivel de significancia es muy alta, lo cual se verificará en las figuras consiguientes. Al establecerse de esta manera el software provee un análisis que indica que al existir un valor de p menor a 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el CO2.

Tabla 16-3: Análisis de varianza para CO2 – primer modo de ventilación Kia Sportage

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	147804	1	147804	1.32	0.2582
B: Vehículo	1.564E6	9	173778	1.55	0.1653
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	2.35494E6	9	261660	2.33	0.0325
<i>RESIDUOS</i>	4.49482E6	40	112370		
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	8.56157E6	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el análisis de pruebas múltiples de la tabla 17 - 3 se puede observar que, en la sección de grupos homogéneos, el tipo de filtro nuevo y usado comparten la alineación, lo cual es un primer indicio de que no existe una diferencia estadísticamente significativa en concentraciones de dióxido de carbono, con la utilización de un tipo de filtro u otro. Esta tabla comprueba el análisis de varianza, sin embargo, la interacción de tipo de filtro de A/C y vehículo menciona que existe una diferencia significativa en el nivel de CO2, lo cual se puede apreciar en las gráficas de interacción descritas a continuación.

Tabla 17-3: Prueba múltiples rangos CO2 tipo de filtro, ventilación (a) Kia Sportage

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	3675.78	61.202	X
Usado	30	3775.05	61.202	X
<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>	
Nuevo - Usado		-99.2652	174.93	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 43-3 se puede analizar de una manera mas representativa que el nivel de concentraciones de CO2 es ligeramente inferior utilizando un filtro de A/C nuevo, sin embargo, de acuerdo a lo expresado por el analisis de varianza y la prueba de multiples rangos, esta diferencia no es estadisticamente significativa. Se puede visualizar en el gráfico (a) que el valor medio de concentraciones de CO2 con filtro nuevo se encuentra en aproximadamente 3675 ppm, mientras que el nivel de CO2 con el filtro usado se encuentra en 3775 ppm, lo cual implica una diferencia de 100 ppm entre la utilizacion de un tipo de filtro u otro, lo que se puede constatar que no representa una diferencia representativa, considerando la escala y los valores que puede alcanzar este contaminante. En la gráfica de interacciones (b) se puede observar que, en efecto, existe una diferencia considerable entre los vehículos y el tipo de filtro, lo cual quiere decir que entre estos dos factores si existe una diferencia estadisticamente significativa en la utilizacion de un filtro de A/C Usado y Nuevo.

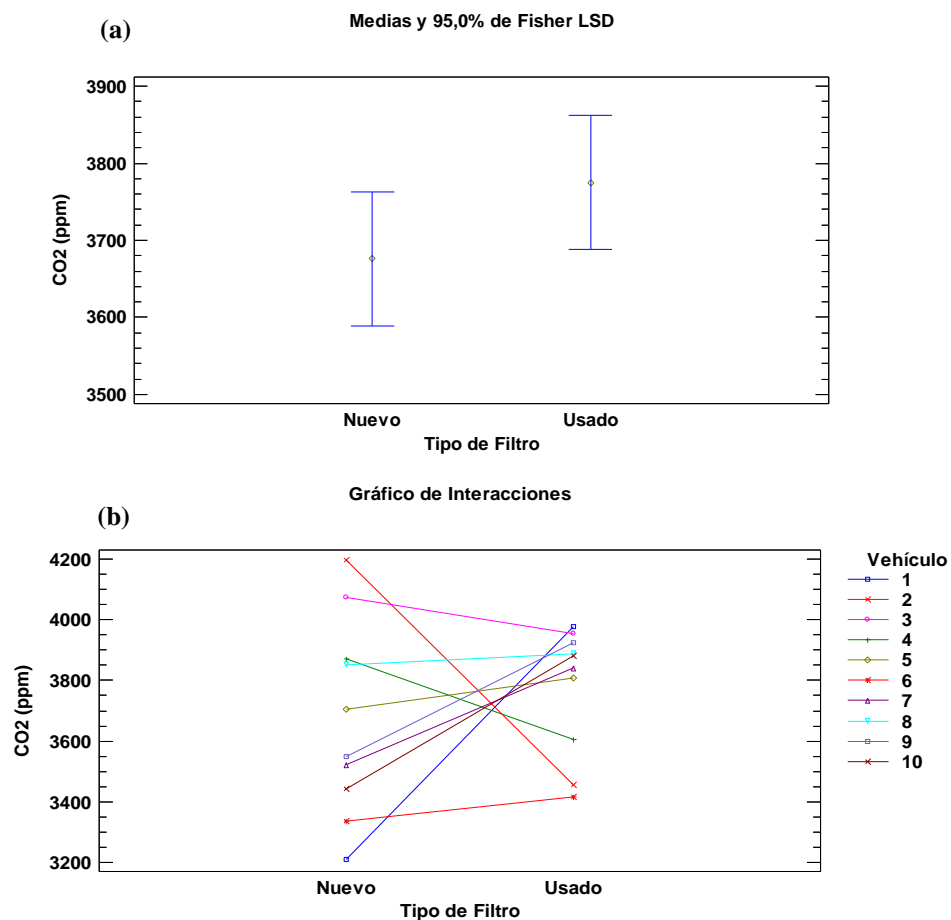


Gráfico 43-3: Medias e interacciones CO2 por tipo de filtro ventilación (a) Kia Sportage
Fuente: Autores

En el gráfico 44-3 se logra apreciar la gráfica de intervalos en donde se puede visualizar que existe una variación considerable en casi todos los vehículos, se puede apreciar también que en 7 vehículos

el valor de la media con filtro de A/C usado es mayor que con filtro nuevo, destacando una importante diferencia del vehículo 1, mientras que en los 3 vehículos restantes el nivel medio de concentraciones de CO2 fue mayor con el filtro de A/C nuevo teniendo una mayor diferencia en el vehículo 2, de esta manera también se constata el análisis de que la diferencia del valor medio de CO2, es significativamente diferente en los vehículos analizados y con los tipos de filtro de A/C usado-nuevo.

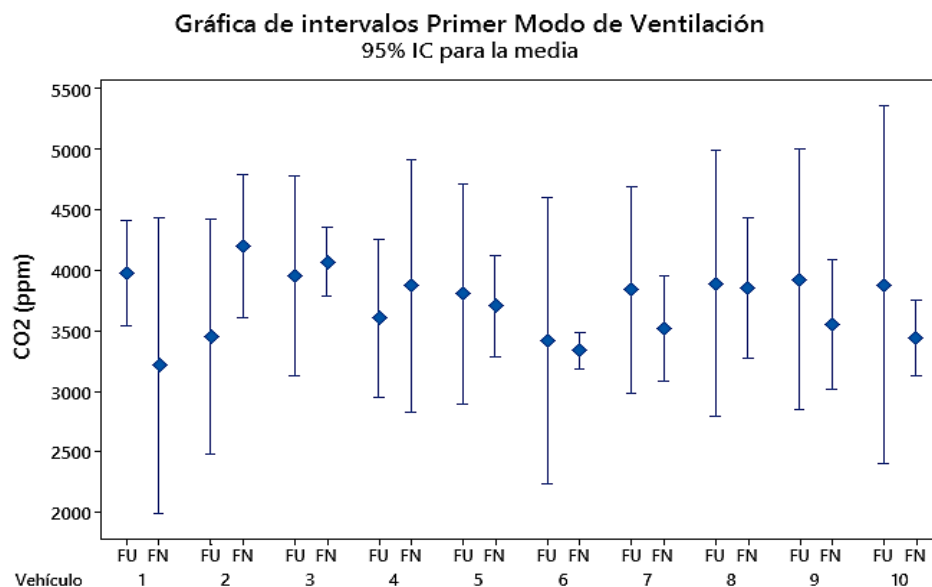


Gráfico 44-3: Gráfica de intervalos para CO2 primer modo de ventilación Kia Sportage
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3.1.5. Segundo modo de ventilación CO2

En el segundo modo de ventilación, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 18 - 3, en el cual se observa que el valor de P con respecto al tipo de filtro es superior al nivel de significancia, lo cual indica que no existe una diferencia significativa en el nivel de CO2 con la utilización del filtro de A/C usado / nuevo, sin embargo, al considerar el vehículo, podemos observar que este aspecto si tiene una diferencia significativa en el nivel de concentraciones de dióxido de carbono, este aspecto indica que en los vehículos analizados, el CO2 es significativamente diferente por vehículo, sin embargo, esta diferencia no está relacionada con el tipo de filtro, lo cual se sustenta en el hecho de que la interacción del filtro de A/C con el vehículo no es estadísticamente significativa.

Tabla 18-3: Análisis de varianza CO₂ – segundo modo de ventilación Kia Sportage

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	55444.8	1	55444.8	3.16	0.0833
B: Vehículo	543132	9	60348.0	3.43	0.0032
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	306961	9	34106.8	1.94	0.0735
<i>RESIDUOS</i>	702904	40	17572.6		
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	1.60844E6	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En la prueba de múltiples rangos de la tabla 19 - 3 se logra constatar, por medio de los grupos homogéneos que corresponden al tipo de filtro nuevo y usado, que existe una alineación entre estos dos factores, lo cual indica que no existe una diferencia significativa de la utilización del filtro de habitáculo en el nivel de concentraciones de dióxido de carbono. Esto se puede validar observando el valor de las medias de CO₂ que, para el filtro usado, se encuentra en 887 ppm y para el filtro de A/C nuevo se encuentra en 826 ppm, esto indica una diferencia de aproximadamente 61 ppm, lo cual en efecto no representa una diferencia significativa considerando los valores que puede alcanzar el CO₂.

Tabla 19-3: Prueba múltiples rangos CO₂ tipo de filtro, ventilación (b) Kia Sportage

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	826.973	24.2023	×
Usado	30	887.77	24.2023	×
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Nuevo - Usado		-60.7974	69.176	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 45-3, se puede analizar de manera gráfica lo expresado en el análisis de varianza y en la prueba de múltiples rangos. En la prueba de medias, gráfica (a), se puede visualizar los valores de la media que se encontraban representados en la prueba de múltiples rangos, en este caso también se observa los límites o los bigotes para cada condición de filtro. Se puede observar que el límite superior del filtro nuevo se interseca con el límite inferior del filtro usado, lo cual nos indica que, además de los valores medios, los límites mencionados también van a compartirse y van a ser similares en los dos tipos de filtro, pero a pesar de ello no se establece una diferencia significativa, pues esta diferencia entre los límites considera aproximadamente 69 ppm, lo que, al igual que con las medias, no representa una diferencia representativa. Además, en el gráfico (b) de interacción se observa la variación que existe con las condiciones de filtro en cada uno de los vehículos probados, de esta manera, en varios vehículos, se observa una ligera interacción que sin embargo no llega a ser significativa de acuerdo con el análisis de varianza.

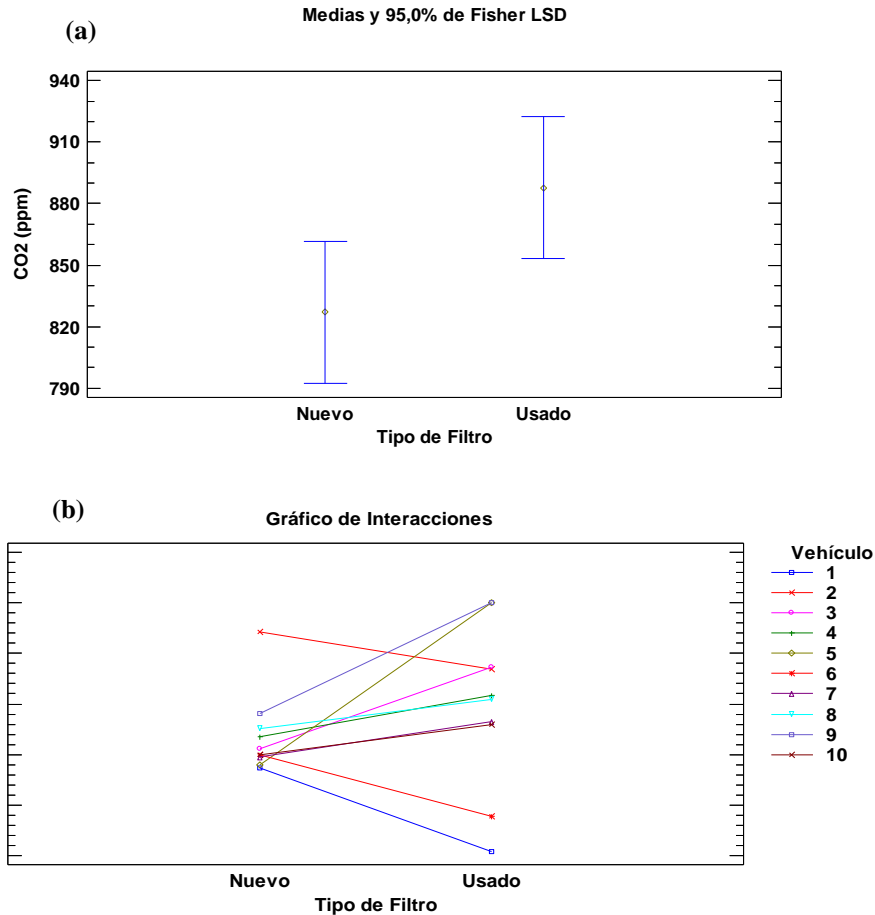


Gráfico 45-3: Medias e interacciones CO₂ por tipo de filtro ventilación (b) Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

El gráfico 46-3 representa las gráficas de intervalos para cada vehículo analizado con la utilización de los dos tipos de filtro Usado/Nuevo, en esta gráfica se determina la diferencia que existe con un tipo de filtro u otro. Se puede observar que este comportamiento tiende a presentar un patrón en el cual los valores promedio de concentraciones de CO₂ con filtro de A/C usado son ligeramente superiores al nivel de concentraciones de CO₂ con filtro nuevo, la diferencia de CO₂ entre los tipos de filtro es diferente para cada tipo de vehículo, pues se observa que el vehículo 5 presenta la mayor diferencia entre las medias, en los vehículos restantes se observa una variación menor que de acuerdo con el análisis de varianza no representan una diferencia significativa en el nivel de concentraciones de CO₂.

Gráfica de intervalos Segundo Modo de Ventilación
95% IC para la media

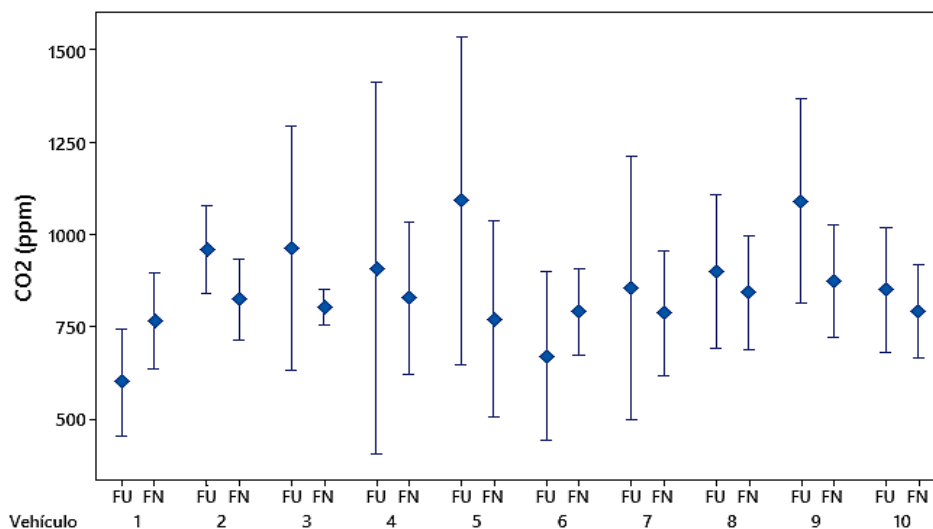


Gráfico 46-3: Gráfica de intervalos para CO2 segundo modo de ventilación Kia Sportage
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3.1.6. Tercer modo de ventilación CO2

El tercer modo de ventilación para CO2, el análisis de varianza indica que existe una diferencia significativa en el tipo de filtro y también en los tipos de vehículo, puesto que el valor de p es inferior al nivel de significancia del 5%, sin embargo, la interacción entre esos dos factores no establece una diferencia estadísticamente significativa en el nivel de concentraciones de dióxido de carbono, por lo que los dos factores actúan sobre el nivel de CO2 de manera independiente, estos resultados se pueden apreciar en la tabla 20 - 3.

Tabla 20-3: Análisis de varianza CO2 – tercer modo de ventilación Kia Sportage

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	643941	1	643941	10.78	0.0021
B: Vehículo	4.60402E6	9	511558	8.56	0.0000
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	555178	9	61686.5	1.03	0.4319
<i>RESIDUOS</i>	2.38993E6	40	59748.2		
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	8.19307E6	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En la prueba de múltiples rangos, se confirma lo expresado en el análisis de varianza con respecto a la influencia del tipo de filtro de A/C en el nivel de concentraciones de CO2, pues se observa que los grupos homogéneos, correspondientes al tipo de filtro, no se encuentran alineados indicando una

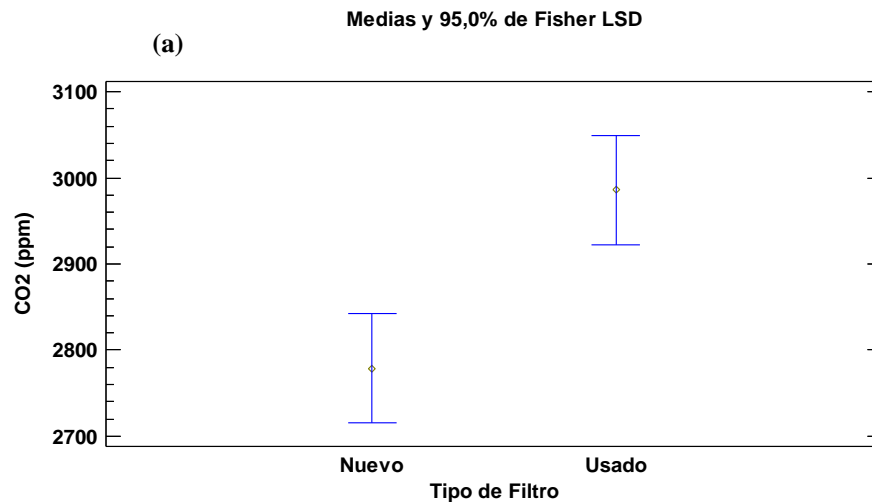
diferencia significativa en los valores medios de CO₂, y se verifica analizando el valor de las medias expresados en la tabla 21-3, puesto que existe una diferencia de aproximadamente 207 ppm de CO₂.

Tabla 21-3: Prueba múltiples rangos CO₂ tipo de filtro, ventilación (c) Kia Sportage

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	2778.69	44.6274	X
Usado	30	2985.88	44.6274	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Nuevo - Usado	*	-207.194	127.556	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 47-3 se puede verificar de manera gráfica los datos recopilados en las tablas 3 – 19 y 3 – 20 de la prueba de múltiples rangos y el análisis de varianza, con lo cual se demuestra que existe una diferencia significativa en el nivel de concentraciones de CO₂ con la utilización de el filtro de A/C nuevo con respecto a uno usado. En el gráfico (a) se observa que los intervalos entre filtro usado y nuevo no se traslapan, lo que es un indicativo de una diferencia significativa entre una condición y otra con el nivel de confianza establecido del 95%. En la gráfica de interacción (b) se observa que las gráficas en la mayoría de vehículos tienen un comportamiento paralelo, lo que indica que no existe una interacción entre los factores.



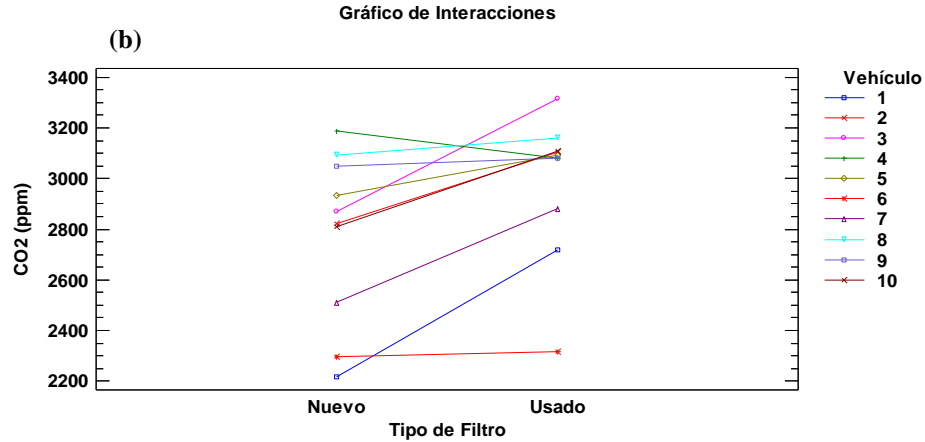


Gráfico 47-3: Medias e interacciones CO2 por tipo de filtro ventilación (c) Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En la gráfica de intervalos representada en el gráfico 48-3, se puede observar el comportamiento de cada intervalo para el tipo de filtro utilizado y para los 10 vehículos que fueron analizados, de esta manera se observa que existe un patrón en 9 de los vehículos, el cual refleja una media superior con el filtro de A/C usado que con respecto al filtro nuevo, y este aspecto es respaldado por el análisis de varianza y la prueba de múltiples rangos que indican que existe en efecto una variación significativa entre el tipo de filtro utilizado y el número de vehículos estudiados.

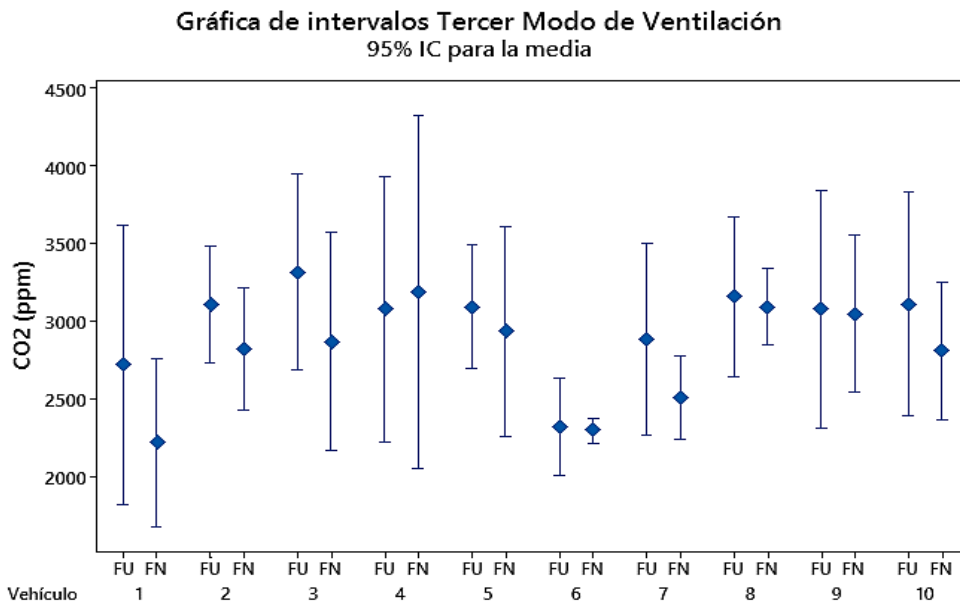


Gráfico 48-3: Gráfica de intervalos para CO2 tercer modo de ventilación Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3.1.7. Prueba completa CO

La prueba completa para cada uno de los contaminantes se la realizó con el objetivo de determinar la calidad del aire al interior del habitáculo del vehículo en toda la prueba de 90 minutos y así determinar si la aplicación de los tres modos de ventilación tiene una variación significativa con respecto a los resultados analizados previamente, para lo cual se empleó el análisis de varianza y la prueba de múltiples rangos para determinar la influencia del filtro de A/C usado / nuevo, en el nivel de concentraciones de CO.

El análisis de varianza mostrado en la tabla 22 - 3 determinó que al ser el valor de P, correspondiente a la variable de tipo de filtro, mayor que el nivel de significancia del 5%, este componente no tiene una diferencia significativa en el nivel de concentraciones de CO al interior del habitáculo, sin embargo, se observa que el valor de P correspondiente a los vehículos analizados establece que existe una diferencia significativa en concentraciones de monóxido de carbono entre los vehículos analizados, el análisis de varianza también demostró que existe un nivel de interacción significativo entre estos dos factores.

Tabla 22-3: Análisis de varianza CO – prueba completa Kia Sportage

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	4.704	1	4.704	2.49	0.1226
B: Vehículo	847.736	9	94.1929	49.82	0.0000
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	38.0593	9	4.22881	2.24	0.0394
<i>RESIDUOS</i>	75.62	40	1.8905		
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	966.119	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

El análisis resultante de la prueba de múltiples rangos establece que no existe una diferencia significativa en el nivel de concentraciones de CO al interior del habitáculo, ya que en los grupos homogéneos correspondientes a los tipos de filtro nuevo y usado se visualiza que comparten la alineación. Además, al analizar los valores de las medias de la tabla 23 - 3 se observa que la diferencia entre un filtro y otro corresponde a 0.39 ppm la cual es una diferencia muy pequeña como para establecer que el tipo de filtro influye de manera significativa en el nivel de concentraciones de CO.

Tabla 23-3: Prueba múltiples rangos CO tipo de filtro, prueba completa Kia Sportage

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	10.1233	0.251031	X
Usado	30	10.6833	0.251031	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Nuevo - Usado		-0.56	0.717507	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

El análisis proporcionado por la tabla 22 - 3 ANOVA y la prueba de múltiples rangos se puede corroborar de manera visual en el gráfico 49-3 con la gráfica de medias (a), en la cual se observa que la media de CO con el filtro de A/C nuevo es inferior a la media en el filtro usado, sin embargo, se visualiza que los intervalos se traslapan, y esto significa que las medias establecidas para estas dos condiciones no son significativamente diferentes. Mientras que en la gráfica de interacciones (b), se puede observar que en la mayoría de los vehículos ocurre un comportamiento de las condiciones con filtro nuevo y usado en la cual se visualiza la interacción entre un tipo de filtro u otro para cada vehículo.

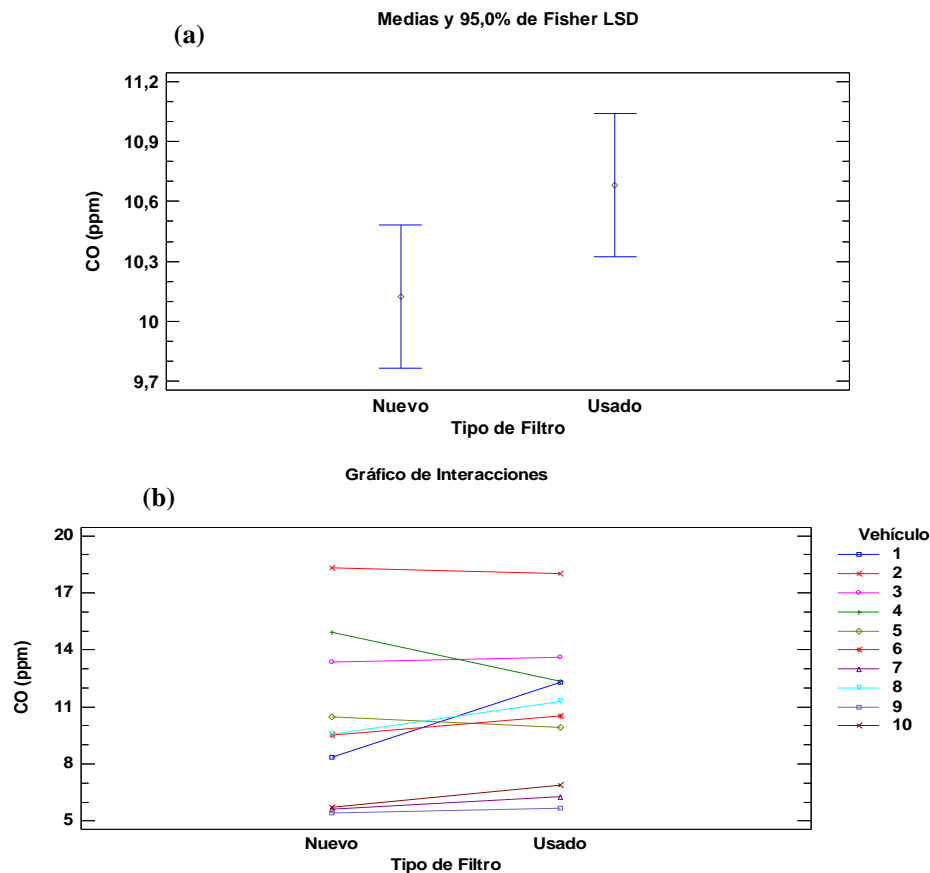
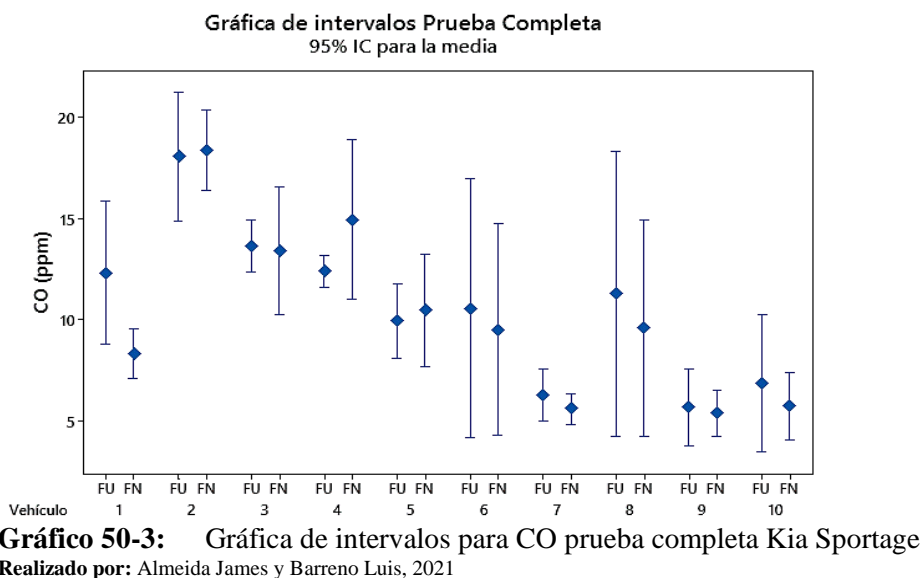


Gráfico 49-3: Medias e interacciones CO tipo de filtro para prueba completa Kia Sportage

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 50-3 se recopila el comportamiento de cada uno de los vehículos analizados con los dos tipos de filtro, por medio de una gráfica de intervalos, los cuales fueron calculados tomando como base el análisis de varianza, en esta gráfica se pueden observar que en la mayoría de los vehículos el valor medio de CO es mayor con la utilización del filtro de A/C nuevo, sin embargo esta diferencia no es lo suficientemente significativa como para establecer una diferencia entre un tipo de filtro u otro.



3.3.1.8. Prueba completa CO2

El análisis de varianza para CO2, determina que en este aspecto si se tiene una diferencia que es estadísticamente significativa con la utilización del filtro de A/C nuevo, ya que el valor de P, el cual se encuentra representado en la tabla 24 - 3, es inferior al nivel de significancia del 5%, además para los vehículos analizados se da el mismo comportamiento, ya que de igual manera se establece una diferencia estadísticamente significativa, sin embargo no se da una interacción estadísticamente significativa entre estos dos factores.

Tabla 24-3: Análisis de varianza CO2 – prueba completa Kia Sportage

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	229402	1	229402.	5.33	0.0262
B: Vehículo	1.98488E6	9	220543.	5.12	0.0001
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	505152	9	56128.0	1.30	0.2652
<i>RESIDUOS</i>	1.7214E6	40	43035.0		
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	4.44084E6	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

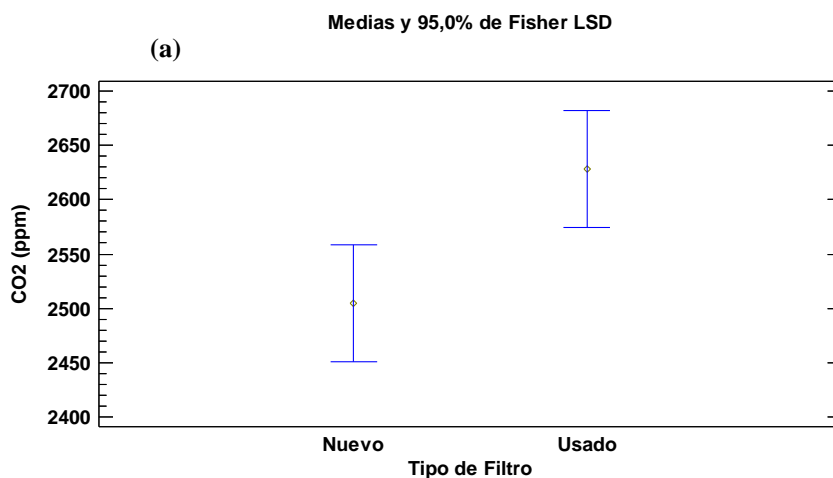
En la prueba de múltiples rangos representada en la tabla 25 - 3, se puede constatar que los grupos correspondientes a tipo de filtro nuevo y usado no comparten la misma alineación en la columna de grupos homogéneos, lo que indica que, en efecto, la diferencia significativa de medias de este factor es diferente, además se observa que el valor de la media de CO2 con filtro nuevo es 2504 ppm, la cual es inferior en 123 ppm a la media de CO2 con filtro usado.

Tabla 25-3: Prueba múltiples rangos CO2 tipo de filtro prueba completa Kia Sportage

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	2504.77	37.8748	X
Usado	30	2628.43	37.8748	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Nuevo - Usado	*	-123.667	108.255	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 51-3 se puede comprobar los resultados obtenidos por el análisis de varianza, y por la prueba de múltiples rangos, ya que se logra observar que el valor de las medias en el gráfico (a) indiscutiblemente es menor con el filtro de A/C nuevo, y además las gráficas no tienen traslape entre ellas con lo que se infiere que la media entre las dos condiciones es estadísticamente significativa, es decir que para este caso el filtro de A/C si tiene una influencia en el nivel de concentraciones de CO2, mientras que en la gráfica de interacciones (b) se visualiza que varios vehículos tienen convergencia con respecto a la utilización de un tipo de filtro u otro.



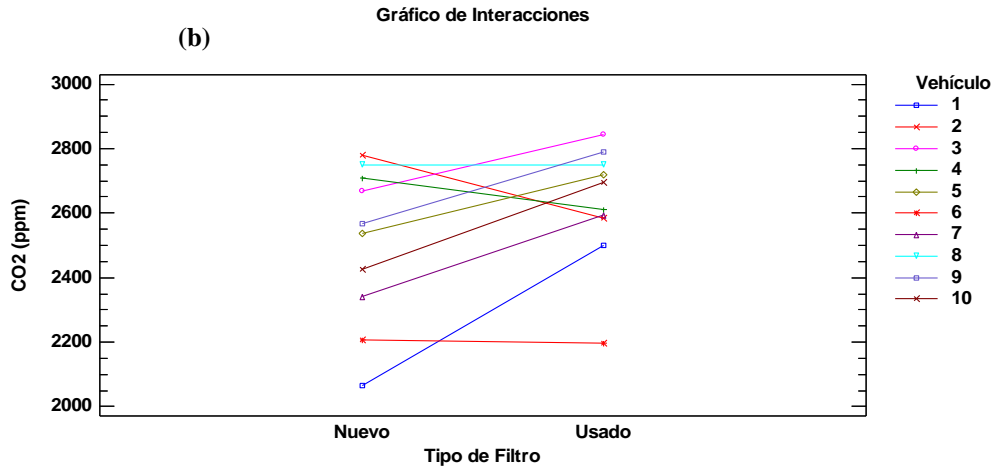


Gráfico 51-3: Medias e interacciones CO2 tipo de filtro prueba completa Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 52-3, se puede visualizar el comportamiento de dióxido de carbono con el filtro de A/C usado y nuevo y para cada uno de los vehículos analizados, se puede observar que en la mayoría de los casos el filtro usado presenta valores mas altos de concentraciones de CO2 en comparación con el filtro de A/C nuevo, además se puede observar una variacion considerable en todos los vehículos.

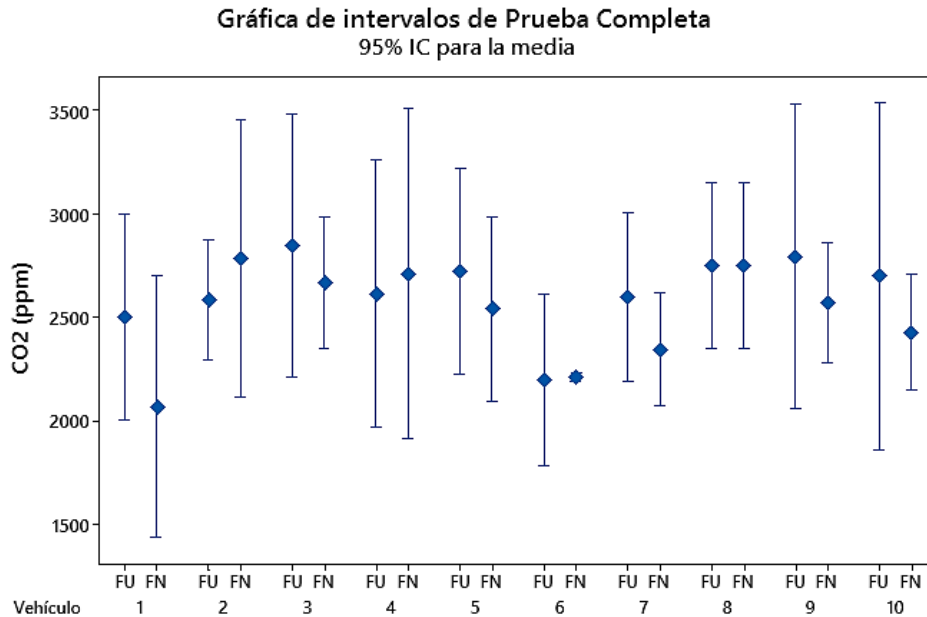


Gráfico 52-3: Gráfica de intervalos para CO2 prueba completa Kia Sportage
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3.2. *Kia Cerato Forte*

Al igual que en los vehículos Kia Sportage, en los Kia Cerato se realizó un análisis anova multifactorial para los modos de ventilación a, b y c, y para la prueba completa de 90 minutos, esto se hizo de forma independiente para el CO y CO₂ en donde se busca encontrar la influencia que tiene la utilización de un filtro de habitáculo nuevo con respecto a uno usado en cada modo de ventilación y durante la prueba completa.

3.3.2.1. *Primer modo de ventilación CO*

En la tabla 26 - 3 se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza para CO del primer modo de ventilación, esta tabla descompone la variabilidad de la variable CO en contribuciones debidas a los factores que son el tipo de filtro y el vehículo de prueba. El programa escoge automáticamente el método de suma de cuadrados tipo III por omisión, gracias a esto la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. El punto más importante de la tabla son los valores P que prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que si un valor P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la variable CO con un 95% de nivel de confianza. En la tabla se observa que los factores tipo de filtro y vehículo de prueba tienen un valor P menor a 0.05, esto quiere decir que el CO va a presentar una variación estadísticamente significativa con respecto a estos dos factores. También se observa que el valor P para la interacción entre el factor A y B es menor a 0.05 lo que se traduce en que existe una variación estadísticamente significativa en la interacción de estos dos factores.

Tabla 26-3: Análisis de varianza CO – primer modo de ventilación Kia Cerato

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	6.24063	1	6.24063	7.80	0.0080
B: Vehículo	206.309	9	22.9232	28.65	0.0000
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	16.4051	9	1.82279	2.28	0.0361
<i>RESIDUOS</i>	32.0015	40	0.800037		
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	260.956	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

También se realizó pruebas de múltiples rangos para CO por tipo de filtro obteniendo la tabla 27 - 3 en donde se recopila la media LS, sigma LS y los grupos homogéneos para filtro usado y nuevo. Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas

entre cada par de medias. Como se puede observar, existe diferencias estadísticamente significativas entre los pares de medias de tipo de filtro, con un nivel del 95% de confianza.

En la tabla 27 - 3 también se identificó un grupo homogéneo con la alineación X en columna, esto quiere decir que no existen diferencias significativas entre los niveles que comparten la misma columna X del grupo homogéneo, en este caso, si existen diferencias significativas lo que corrobora los resultados de la tabla anova. El método que el programa utiliza para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5% de decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. También se observa el contraste del factor filtro usado / nuevo, en dicha tabla si la casilla “Sig.” se encuentra marcada con un asterisco quiere decir que indica una diferencia significativa entre medias, caso contrario no.

Tabla 27-3: Pruebas múltiples rangos CO tipo de filtro, ventilación (a) Kia Cerato

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	4.08754	0.163303	X
Usado	30	4.73255	0.163303	X
<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>	
Nuevo - Usado	*	-0.645013	0.466759	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 53-3 se observan los gráficos de medias de CO (a) para cada tipo de filtro y el gráfico de interacciones (b) que tiene cada vehículo con filtro usado / nuevo. En el gráfico (a) se aprecia las medias obtenidas del procedimiento LSD de Fisher del análisis anova, se puede observar que existe variación significativa, con respecto al CO, entre filtro usado y nuevo en los vehículos Kia Cerato ya que las medias para filtro nuevo y usado se encuentran entre 4 y 4.8 respectivamente. Esto se corrobora en el gráfico (b) en el que se observa que las interacciones del filtro nuevo y usado de todos los vehículos son diferentes siendo las concentraciones de CO menores con el uso de filtro de A/C nuevo que con el filtro usado.

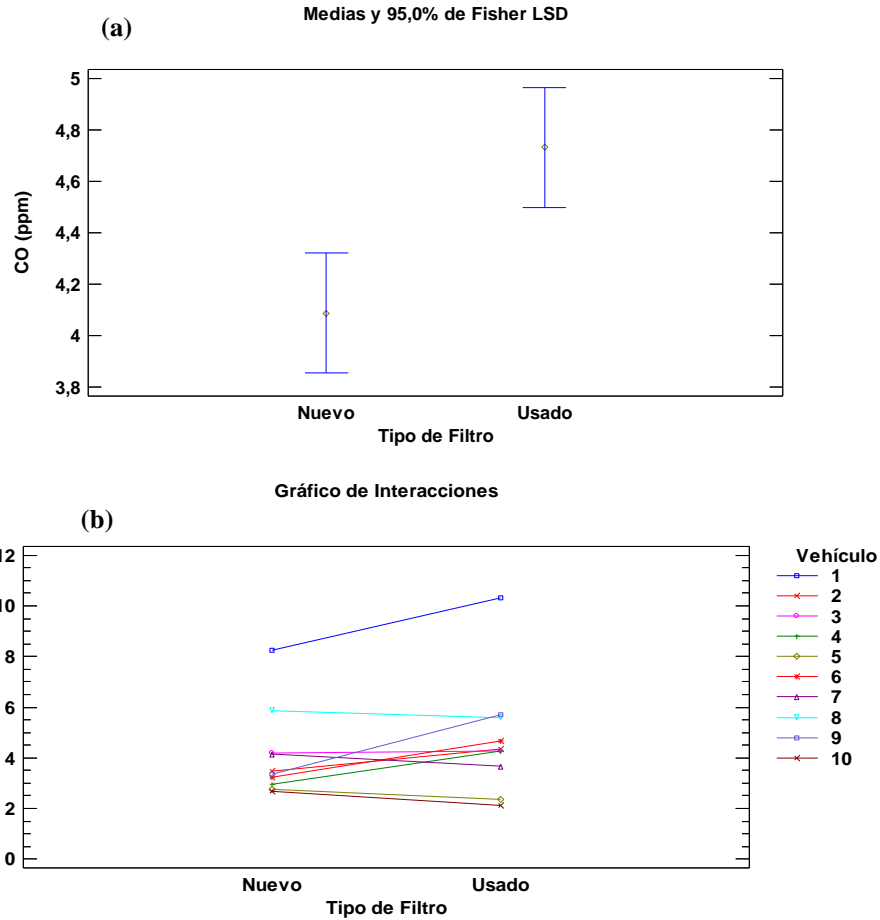


Gráfico 53-3: Medias e interacciones CO por tipo de filtro ventilación (a) Kia Cerato
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

Además, en base al análisis de varianza, se obtuvo el gráfico 54-3 en la que se encuentran determinados los intervalos de concentraciones en base a los tres promedios de cada modo de ventilación y tomando como referencia la desviación estándar para determinar los intervalos tal como se hizo en los vehículos Kia Sportage. En esta gráfica se puede observar el comportamiento de las concentraciones de CO en ppm para filtro de A/C usado como nuevo para cada uno de los vehículos analizados y con ella podemos corroborar de manera visual lo expresado en el análisis de varianza y en el gráfico 53-3. Cabe recalcar que se nota una ligera reducción de la media en el nivel de concentraciones de CO con la utilización de un filtro de A/C nuevo en comparación a uno usado.

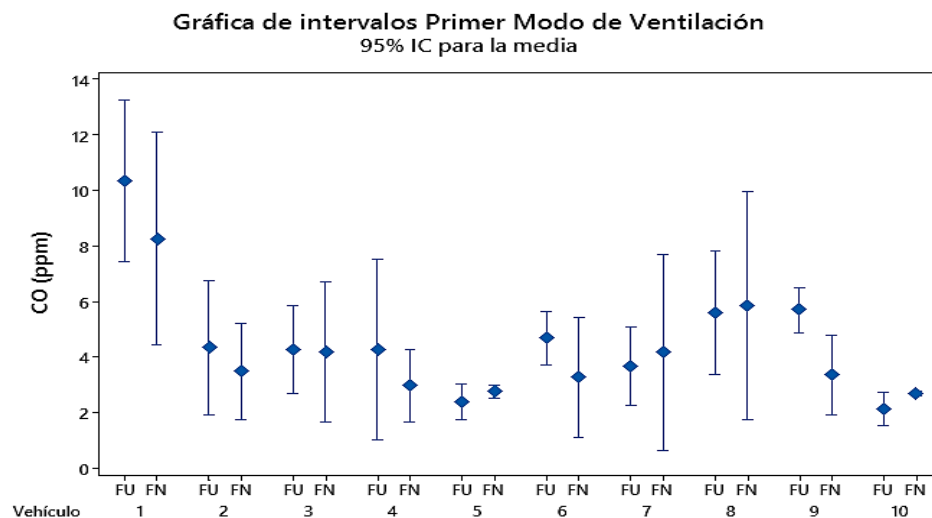


Gráfico 54-3: Gráfica de intervalos para CO primer modo de ventilación Kia Cerato
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3.2.2. Segundo modo de ventilación CO

Al igual que en el primer modo de ventilación, se realizó un análisis ANOVA multifactorial para determinar la influencia que tiene el uso de un filtro de A/C nuevo en comparación a un filtro usado durante la activación del aire acondicionado en modo de renovación de aire (segundo modo de ventilación). En la tabla 28 - 3 se presentan los efectos principales que se analizaron que son el tipo de filtro y el vehículo Kia Sportage que se utilizó durante las pruebas, también se obtiene el factor P para cada uno de estos efectos y para la interacción entre el vehículo y el tipo de filtro. Los valores P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores, y al realizar el análisis por medio del software estadístico, se determinó que 3 valores P son inferiores al nivel de significancia, lo que implica que el filtro de A/C tiene un efecto estadísticamente significativo de acuerdo con el análisis de varianza en el nivel de concentraciones de monóxido de carbono con un nivel de confianza de 95%. Además de la interacción entre el tipo de filtro que de acuerdo con la tabla 28 - 3, al presentar un valor P de 0.0034, es estadísticamente significativo ya que no supera el nivel de significancia.

Tabla 28-3: Análisis de varianza CO – Segundo modo de ventilación Kia Cerato

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	7.53266	1	7.53266	10.22	0.0027
B: Vehículo	286.113	9	31.7903	43.11	0.0000
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	22.667	9	2.51856	3.42	0.0034
<i>RESIDUOS</i>	29.4964	40	0.737409		
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	345.809	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

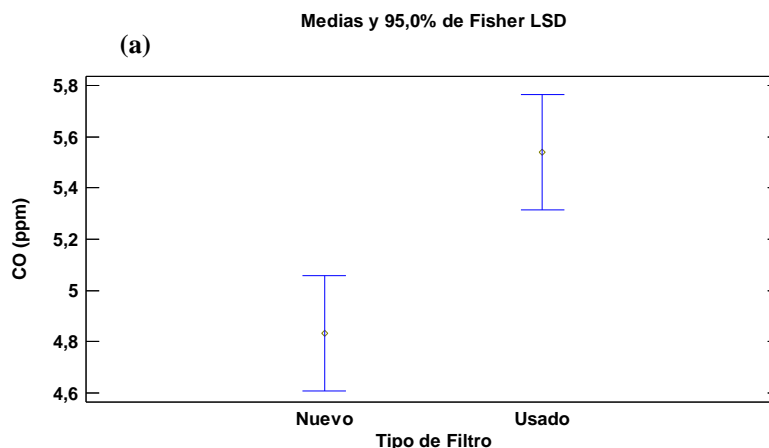
Al igual que con lo mencionado en el primer modo de ventilación, la prueba de múltiples rangos para CO por tipo de filtro planteado en la tabla 29 - 3, determina la diferencia significativa entre las medias para cada condición planteada, en este caso, el filtro de habitáculo. El análisis realizado para este caso determina que, en base a que no existe homogeneidad en los grupos de tipos de filtro de A/C, la media de concentraciones de CO es estadísticamente diferente, además el valor de sigma y la diferencia corroboran este análisis, el cual también se puede visualizar en la figura 3 – 53.

Tabla 29-3: Prueba múltiples rangos CO tipo de filtro, ventilación (b) Kia Cerato

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	4.83159	0.156781	X
Usado	30	5.54024	0.156781	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Nuevo - Usado	*	-0.708645	0.448118	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 55-3 se puede visualizar la gráfica de medias (a) para cada tipo de filtro y se observa la diferencia que existe en el nivel de concentraciones de CO, además se aprecia que las gráficas no se intersecan lo cual respalda aún más lo expresado en el análisis de varianza indicando que los valores de las medias de CO con filtro de A/C Usado/Nuevo son significativamente diferentes, y este análisis también se puede realizar en la gráfica de interacciones (b), en los cuales se puede notar la diferencia que existe entre cada uno de los vehículos con cada uno de los filtros, observándose una diferencia mucho más significativa en los vehículos 1, 2, 4 y 9. Cabe recalcar que se nota una disminución en las medias con la utilización del filtro de A/C nuevo con respecto a un filtro usado.



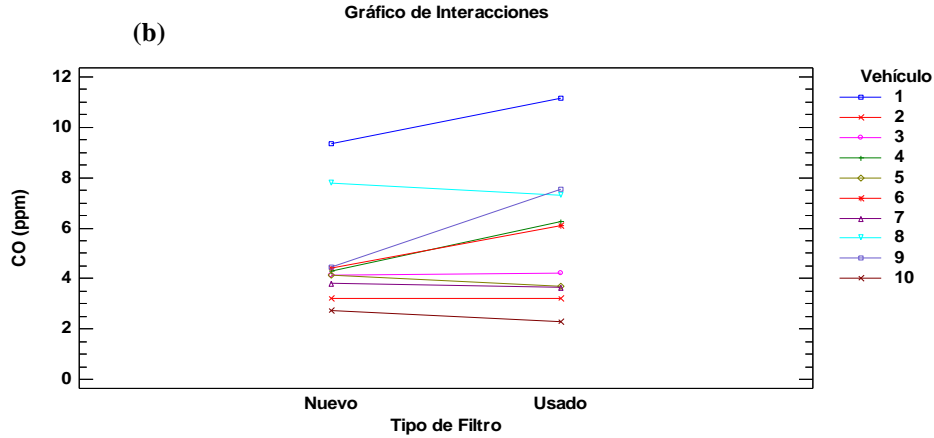


Gráfico 55-3: Medias e interacciones CO por tipo de filtro ventilación (b) Kia Cerato
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 56-3 se visualiza el comportamiento de CO para cada tipo de filtro y vehículo, en la cual se puede observar la diferencia en el nivel de concentraciones para filtro de A/C nuevo/usado, en la donde se puede apreciar que los valores medios de concentraciones de CO para filtro nuevo son menores que con el filtro de A/C usado en la mayoría de los vehículos, sin embargo, los intervalos no son muy variables y esta disminución no se visualiza mucho. En todos los vehículos se logra apreciar esta reducción de concentraciones con el uso del filtro nuevo, pese a que en algunos vehículos como lo son el 2, 3, 5, 7, 8 y 10 la media de CO se mantiene cerca del mismo rango de valores tanto para el filtro nuevo como para el filtro usado.

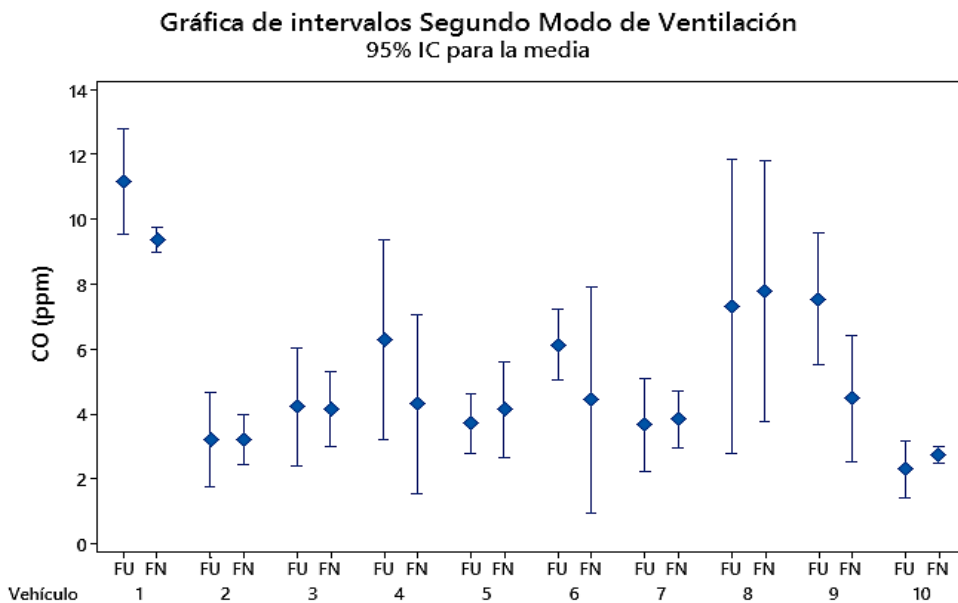


Gráfico 56-3: Gráfica de intervalos para CO segundo modo de ventilación Kia Cerato
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3.2.3. Tercer modo de ventilación CO

En el tercer modo de ventilación, al realizar el análisis de varianza que se presenta en la tabla 30 - 3, se determinó que el valor de P, para tipo de filtro y vehículo de prueba, es menor al nivel de significancia establecido del 0.05, por lo cual se concluye que existe una diferencia significativa en el nivel de concentraciones de CO al interior del habitáculo con la utilización de un filtro de A/C nuevo en contraste con el filtro usado. También existe una relación significativa entre la interacción de los vehículos analizados y el tipo de filtro por lo cual existirá variación en sus medias con respecto a las concentraciones de CO en el habitáculo.

Tabla 30-3: Análisis de varianza CO – tercer modo de ventilación Kia Cerato

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	4.78106	1	4.78106	5.55	0.0235
B: Vehículo	308.453	9	34.2726	39.76	0.0000
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	35.3111	9	3.92345	4.55	0.0004
<i>RESIDUOS</i>	34.4765	40	0.861913		
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	383.022	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En la tabla 31 - 3 se observa la prueba de múltiples rangos para este modo de ventilación, se puede visualizar que los grupos no se presentan de manera homogénea puesto que la alineación de la columna no es la misma, es decir que si existe una diferencia significativa del nivel de concentraciones de monóxido de carbono con la utilización de las dos condiciones del filtro de A/C, esta prueba respalda lo mencionado en la tabla ANOVA, considerando que ambos análisis tienen un nivel de confianza del 95%, este análisis también puede apreciarse en la figura 57-3.

Tabla 31-3: Pruebas múltiples rangos CO tipo de filtro, ventilación (c) Kia Cerato

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	5.33328	0.1695	X
Usado	30	5.89785	0.1695	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Nuevo - Usado	*	-0.564569	0.484473	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 57-3 se evidencia lo analizado anteriormente en el análisis de varianza y en la prueba de múltiples rangos, en la gráfica de media (a) se puede observar que existe una diferencia entre las medias siendo la media de filtro nuevo menor a la media de filtro usado. También se visualiza una interacción entre los intervalos de la gráfica con filtro usado y con filtro nuevo, sin embargo, para el

CO también se está considerando como factor a los vehículos analizados. La influencia para cada vehículo se puede observar de una manera mucho más clara en la gráfica de interacción (b) en la cual observamos que en varios vehículos se da una diferencia significativa principalmente en los vehículos 9 y 4 en los cuales se observa una disminución de las concentraciones de CO con el filtro de A/C nuevo, sin embargo, se produce el caso contrario en los vehículos 5, 8 y 10.

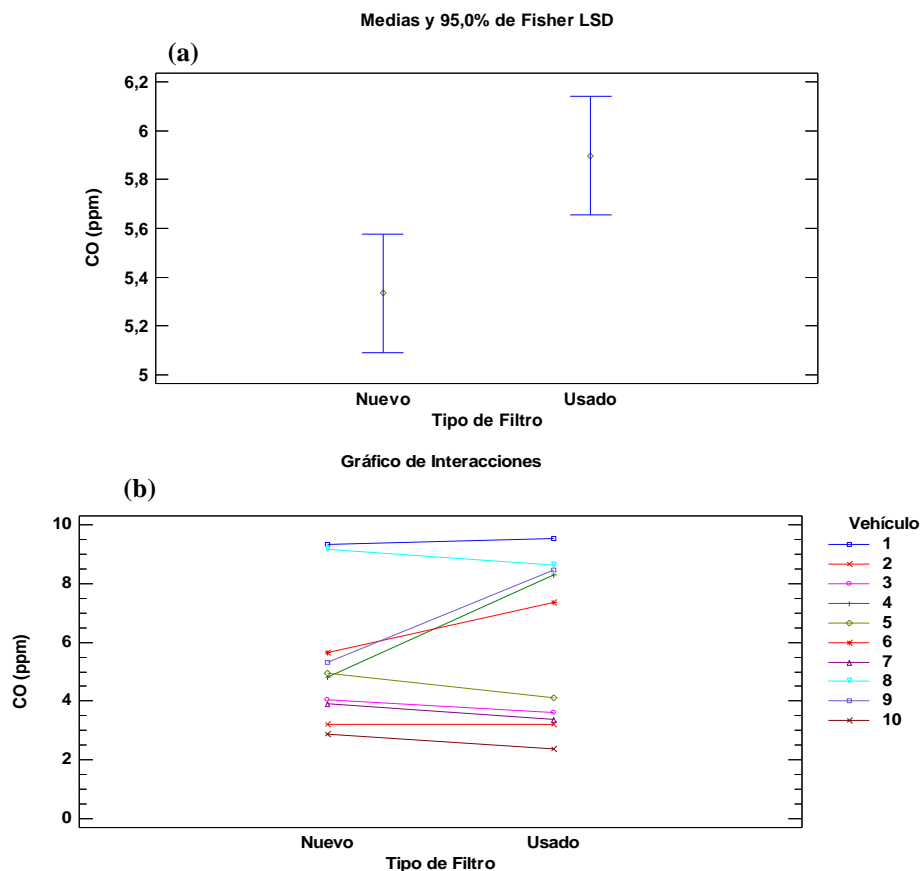


Gráfico 57-3: Medias e interacciones CO por tipo de filtro ventilación (c) Kia Cerato
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

El análisis expresado en la gráfica de interacciones del gráfico 57-3 se aprecia de una manera más clara en el gráfica 58-3, en la que se observa que existe una variación de datos muy pronunciada, en condiciones de filtro de A/C usado y nuevo principalmente en los vehículos 4 y 6 que son en los cuales se dan las mayores variaciones, estas variaciones se pueden generar debido a múltiples factores al momento de la prueba, en los vehículos restantes se observa una menor variación. De igual manera al modo de ventilación anterior, se observa un patrón determinado entre los vehículos analizados y el tipo de filtro, ya que en la mayoría de los vehículos se nota que las medias de concentraciones de CO son menores o iguales con la utilización de un filtro nuevo con respecto a uno usado.

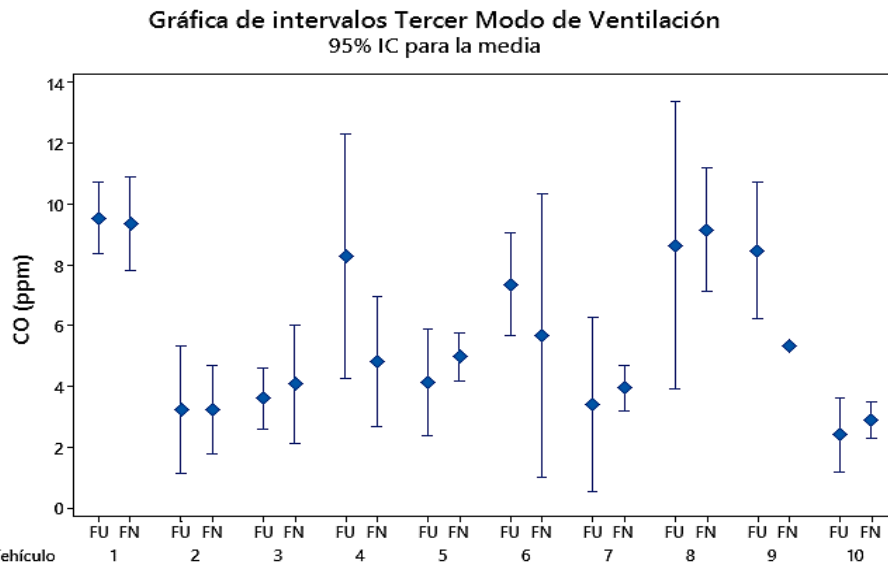


Gráfico 58-3: Gráfica de intervalos para CO tercer modo de ventilación Kia Cerato
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3.2.4. Primer modo de ventilación CO2

El primer modo de ventilación para CO₂, fue analizado exactamente de la misma manera que para el CO, por lo cual se estableció un análisis de varianza que se encuentra especificado en la tabla 32 - 3 y de la cual se obtiene que el valor de P para el tipo de filtro es mayor al nivel de significancia, lo que se traduce en que no existe una diferencia estadísticamente significativa en las concentraciones de CO₂ con la utilización de un filtro usado o nuevo. También se observa que el valor de P, en el número de vehículos analizados, es menor al nivel de significancia por lo cual se determinó que existe una diferencia significativa de CO₂ entre los vehículos analizados. Se observa que la interacción entre estos dos factores determinada por un valor P es superior al nivel de significancia, esto quiere decir que no hay una relación entre estos dos factores. Al establecerse de esta manera el software provee un análisis que indica que al existir un valor de p menor a 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el CO₂.

Tabla 32-3: Análisis de varianza CO₂ – primer modo de ventilación Kia Cerato

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	18348.6	1	18348.6	0.17	0.6799
B: Vehículo	3.14775E6	9	349750	3.29	0.0043
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	1.16909E6	9	129899	1.22	0.3088
RESIDUOS	4.24939E6	40	106235		
TOTAL (CORREGIDO)	8.58459E6	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el análisis de pruebas múltiples de la tabla 33 - 3 se puede observar que, en la sección de grupos homogéneos, el tipo de filtro nuevo y usado comparten la alineación, lo cual es un primer indicio de que no existe una diferencia estadísticamente significativa en concentraciones de dióxido de carbono, con la utilización de un tipo de filtro u otro, Esta tabla comprueba el análisis de varianza que se presenta en la tabla 32-3 y también se logra corroborar en las gráficas expuestas a continuación.

Tabla 33-3: Prueba de múltiples rangos CO2 tipo de filtro, ventilación (a) Kia Cerato

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	4262.19	59.5077	X
Usado	30	4297.17	59.5077	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Nuevo - Usado		-34.9748	170.087	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 59-3 se puede analizar de una manera mas representativa que el nivel de concentraciones de CO2 es ligeramente inferior utilizando un filtro de A/C nuevo, sin embargo, de acuerdo a lo expresado por el analisis de varianza y la prueba de multiples rangos, esta diferencia no es estadisticamente significativa. Se puede visualizar en el gráfico (a) que el valor medio de concentraciones de CO2 con filtro nuevo se encuentra en aproximadamente 4250 ppm, mientras que el nivel de CO2 con el filtro usado se encuentra en 4300 ppm, lo cual implica una diferencia de 50 ppm entre la utilizacion de un tipo de filtro u otro. Esto contrasta que no representa una diferencia representativa, considerando la escala y los valores que puede alcanzar este contaminante. En la gráfica de interacciones (b) se puede observar que, no existe una diferencia considerable entre los vehículos y el tipo de filtro, sin embargo en los vehículos 4, 7 y 10 se puede observar una reducción en las concentraciones de CO2 con la utilización de filtro nuevo; en los vehículos 1, 5 y 9 las concentraciones con filtro usado son menores en comparación con las de filtro nuevo, en los vehículos restantes no existe variación en las concentraciones con respecto al uso de filtro nuevo y usado.

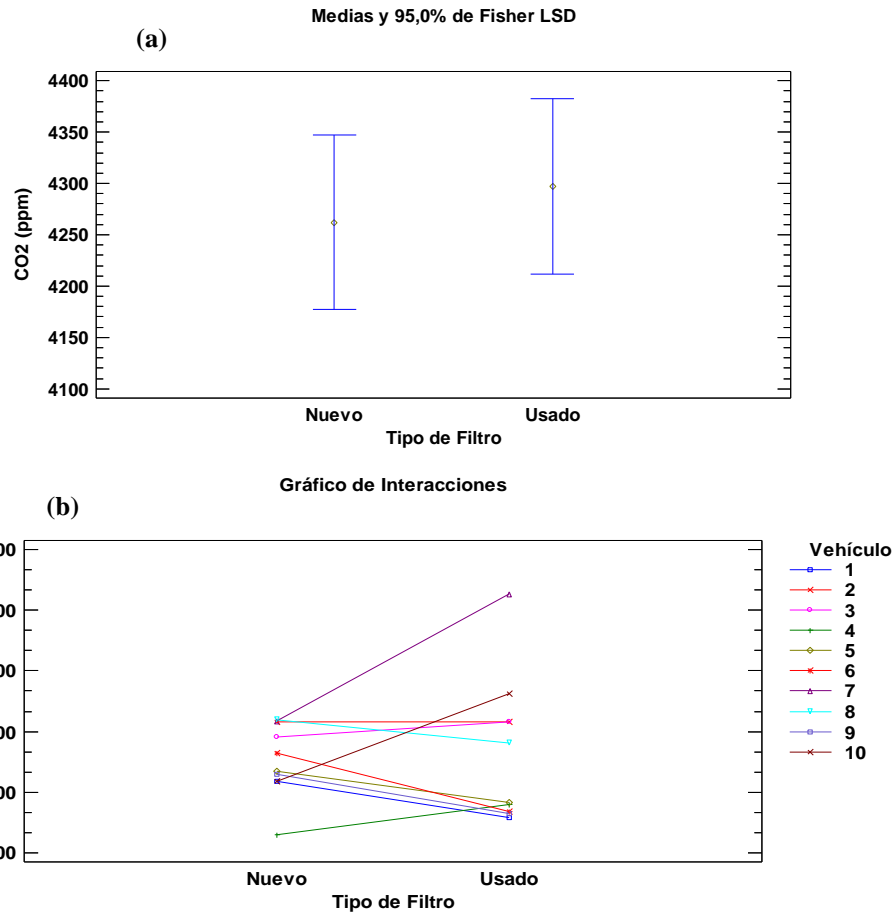


Gráfico 59-3: Medias e interacciones CO₂ por tipo de filtro ventilación (a) Kia Cerato
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 60-3 se logra apreciar la gráfica de intervalos en donde se puede visualizar que no existe una variación considerable en casi todos los vehículos, se puede apreciar también que en 5 vehículos el valor de la media con filtro de A/C usado es mayor que con filtro nuevo, destacando una importante diferencia del vehículo 7, mientras que en los 5 vehículos restantes el nivel medio de concentraciones de CO₂ fue mayor con el filtro de A/C nuevo, sin embargo la diferencia no es muy notoria y se considera que no existe variación entre los dos tipos de filtro. De esta manera también se constata el análisis de que la diferencia del valor medio de CO₂, es significativamente diferente en los vehículos analizados.

Gráfica de intervalos Primer Modo de Ventilación
95% IC para la media

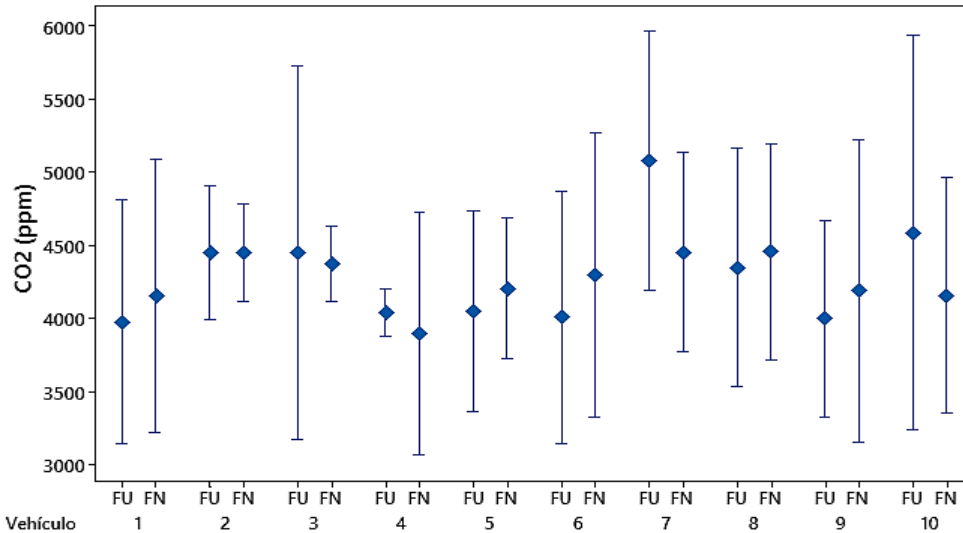


Gráfico 60-3: Gráfica de intervalos para CO2 primer modo de ventilación Kia Cerato
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3.2.5. Segundo modo de ventilación CO2

En el segundo modo de ventilación, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 34 - 3, en el cual se observa que el valor de P con respecto al tipo de filtro es superior al nivel de significancia, lo cual indica que no existe una diferencia significativa en el nivel de CO2 con la utilización del filtro de A/C usado / nuevo, sin embargo, al considerar el vehículo, podemos observar que este aspecto si tiene una diferencia significativa en el nivel de concentraciones de dióxido de carbono, este aspecto indica que en los vehículos analizados, el CO2 es significativamente diferente por vehículo, sin embargo, esta diferencia no está relacionada con el tipo de filtro, lo cual se sustenta en el hecho de que la interacción del filtro de A/C con el vehículo no es estadísticamente significativa.

Tabla 34-3: Análisis de varianza CO2 – segundo modo de ventilación Kia Cerato

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	13248.5	1	13248.5	0.41	0.5257
B: Vehículo	2.01922E6	9	224358	6.94	0.0000
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	544194	9	60466.0	1.87	0.0851
RESIDUOS	1.29294E6	40	32323.5		
TOTAL (CORREGIDO)	3.8696E6	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En la prueba de múltiples rangos de la tabla 35 - 3 se logra constatar, por medio de los grupos homogéneos que corresponden al tipo de filtro nuevo y usado, que existe una alineación entre estos dos factores, lo cual indica que no existe una diferencia significativa de la utilización del filtro de habitáculo en el nivel de concentraciones de dióxido de carbono. Esto se puede validar observando el valor de las medias de CO₂ que, para el filtro usado, se encuentra en 832 ppm y para el filtro de A/C nuevo se encuentra en 803 ppm, esto indica una diferencia de aproximadamente 29 ppm, lo cual no representa una diferencia significativa considerando los valores que puede alcanzar el CO₂.

Tabla 35-3: Prueba múltiples rangos CO₂ tipo de filtro, ventilación (b) Kia Cerato

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	803.186	32.8245	X
Usado	30	832.905	32.8245	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Nuevo - Usado		-60.7974	69.176	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 61-3, se puede analizar de manera gráfica lo expresado en el análisis de varianza y en la prueba de múltiples rangos. En la prueba de medias, gráfica (a), se puede visualizar los valores de la media que se encontraban representados en la prueba de múltiples rangos, en este caso también se observa los límites o los bigotes para cada condición de filtro. Se puede observar que el límite superior del filtro nuevo se acerca al límite superior del filtro usado, lo cual nos indica que, además de los valores medios, los límites mencionados también van a compartirse y van a ser similares en los dos tipos de filtro, por esta razón no se establece una diferencia significativa, pues esta diferencia entre los límites considera aproximadamente 30 ppm, lo que, al igual que con las medias, no representa una diferencia representativa. Además, en el gráfico (b) de interacción se observa la variación que existe con las condiciones de filtro en cada uno de los vehículos probados, de esta manera, en varios vehículos, se observa una ligera interacción que sin embargo no llega a ser significativa de acuerdo con el análisis de varianza.

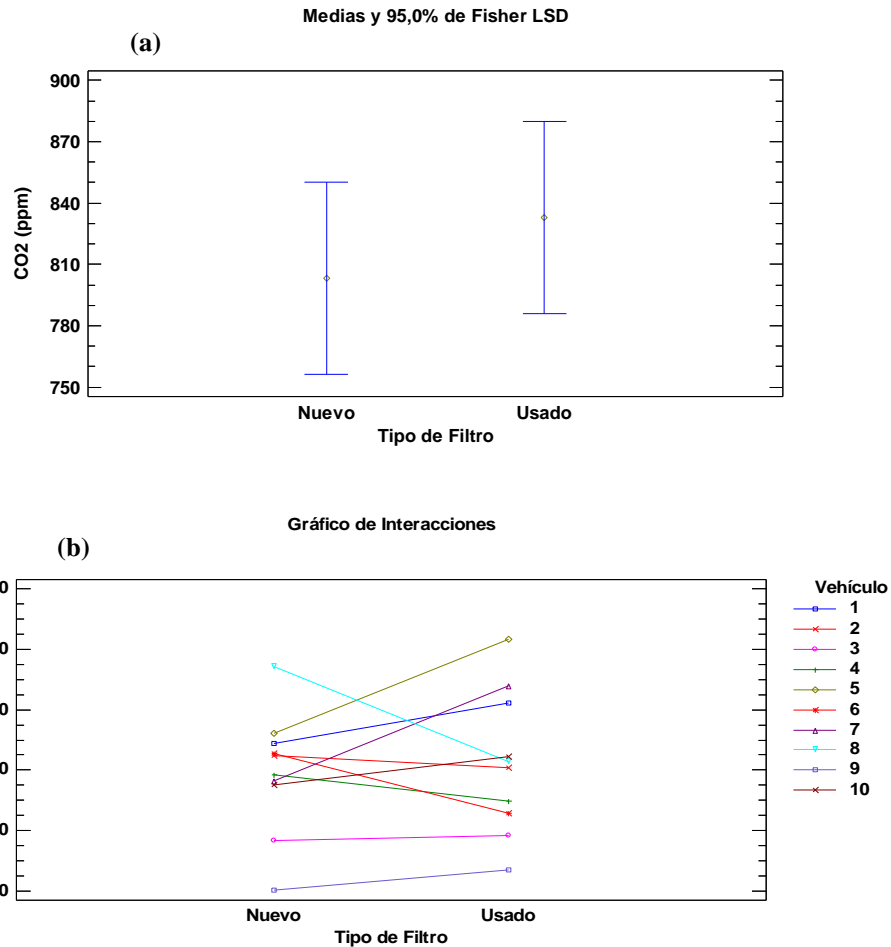


Gráfico 61-3: Medias e interacciones CO₂ por tipo de filtro ventilación (b) Kia Cerato
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

El gráfico 62-3 representa las gráficas de intervalos para cada vehículo analizado con la utilización de los dos tipos de filtro Usado/Nuevo, en esta gráfica se determina la diferencia que existe con un tipo de filtro u otro. Se puede observar que este comportamiento tiende a presentar un patrón en el cual los valores promedio de concentraciones de CO₂ con filtro de A/C usado son ligeramente superiores al nivel de concentraciones de CO₂ con filtro nuevo, la diferencia de CO₂ entre los tipos de filtro es diferente para cada tipo de vehículo. Se observa que el vehículo 5 y 7 presentan la mayor diferencia entre las medias, en los vehículos restantes se observa una variación menor que de acuerdo con el análisis de varianza no representan una diferencia significativa en el nivel de concentraciones de CO₂.

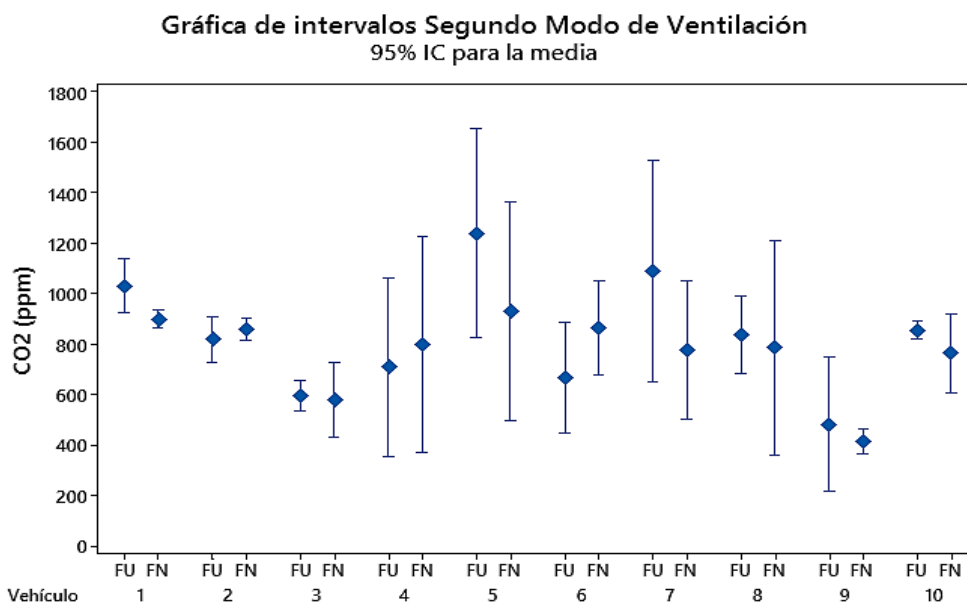


Gráfico 62-3: Gráfica de intervalos para CO2 segundo modo de ventilación Kia Cerato
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3.2.6. Tercer modo de ventilación CO2

El tercer modo de ventilación para CO2, el análisis de varianza indica que existe una diferencia significativa en los tipos de vehículo, puesto que el valor de P es inferior al nivel de significancia del 5%. La interacción entre los factores de tipo de filtro y vehículo establece una diferencia estadísticamente significativa en el nivel de concentraciones de dióxido de carbono, por lo que los dos factores actúan sobre el nivel de CO2 de manera dependiente, estos resultados se pueden apreciar en la tabla 36 - 3.

Tabla 36-3: Análisis de varianza CO2 – tercer modo de ventilación Kia Cerato

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	24831.5	1	24831.5	0.30	0.5878
B: Vehículo	2.95137E6	9	327930	3.94	0.0012
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	1.83358E6	9	203732	2.45	0.0251
<i>RESIDUOS</i>	3.32594E6	40	83148.5		
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	8.13573E6	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En la prueba de múltiples rangos, se confirma lo expresado en el análisis de varianza con respecto a la influencia del tipo de filtro de A/C en el nivel de concentraciones de CO2, pues se observa que los grupos homogéneos, correspondientes al tipo de filtro, se encuentran alineados indicando que no

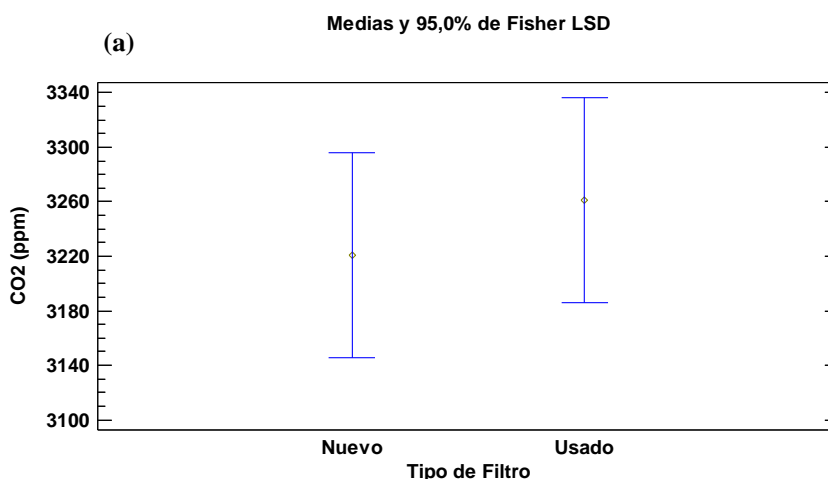
existe una diferencia significativa en los valores medios de CO₂, y se verifica analizando el valor de las medias expresados en la tabla 37 - 3, puesto que existe una diferencia de medias de aproximadamente 41 ppm de CO₂ que es un valor muy bajo considerando que la escala de concentraciones de este contaminante es alta.

Tabla 37-3: Pruebas múltiples rangos CO₂ tipo de filtro, ventilación (c) Kia Cerato

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	3220.78	52.6462	X
Usado	30	3261.46	52.6462	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Nuevo - Usado		-207.194	127.556	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfica 63-3 se puede verificar de manera gráfica los datos recopilados en las tablas 36-3 y 37-3 de la prueba de multiples rangos y el analisis de varianza, con lo cual se demuestra que no existe una diferencia significativa en el nivel de concentraciones de CO₂ con la utilizacion de el filtro de A/C nuevo con respecto a uno usado. En el gráfico (a) se observa que las medias entre filtro usado y nuevo tienen aproximadamente el mismo valor, lo que es un indicativo de que no existe una diferencia significativa entre una condicion y otra con el nivel de confianza establecido del 95%. En la gráfica de interaccion (b) se observa que en las gráficas de los vehículos 4, 7 y 10 existe una diferencia entre la utilización de filtro nuevo y usado siendo los valores de CO₂ menores con el uso del filtro nuevo, sin embargo, en los vehículos restantes no se observa gran variación entre el uso de ambos filtros, por lo cual se concluye que no existe una diferencia significativa y se corrobora con lo establecido anteriormente.



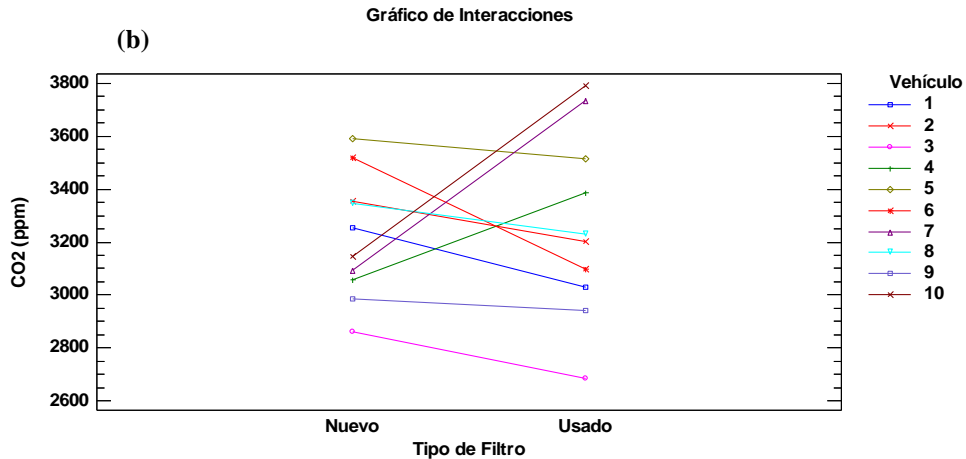


Gráfico 63-3: Medias e interacciones CO2 por tipo de filtro ventilación (c) Kia Cerato
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En la gráfica de intervalos representada en el gráfica 64-3, se puede observar el comportamiento de cada intervalo para el tipo de filtro utilizado y para los 10 vehículos que fueron analizados, de esta manera se observa que existe un patrón en 9 de los vehículos, el cual refleja que las medias, con el filtro de A/C usado y con el filtro nuevo, son similares y no representan una variación significativa. Este aspecto es respaldado por el análisis de varianza y la prueba de múltiples rangos que indican que no existe una variación significativa entre el tipo de filtro utilizado y el número de vehículos estudiados.

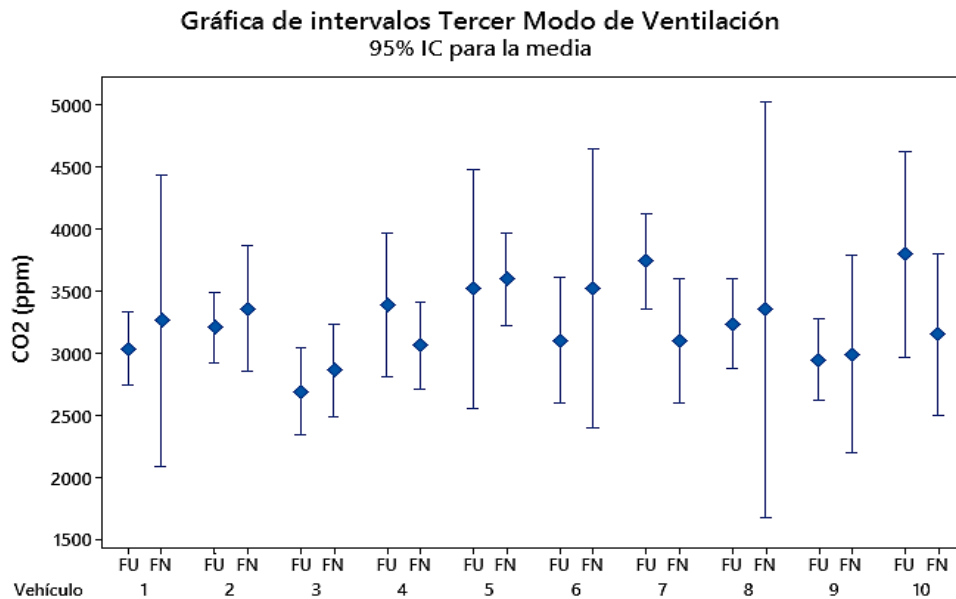


Gráfico 64-3: Gráfica de intervalos para CO2 tercer modo de ventilación Kia Cerato
 Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3.2.7. Prueba completa CO

La prueba completa para cada uno de los contaminantes se la realizó con el objetivo de determinar la calidad del aire al interior del habitáculo del vehículo en toda la prueba de 90 minutos y así determinar si la aplicación de los tres modos de ventilación tiene una variación significativa con respecto a los resultados analizados previamente, para lo cual se empleó el análisis de varianza y la prueba de múltiples rangos para determinar la influencia del filtro de A/C usado / nuevo, en el nivel de concentraciones de CO, esto se hizo siguiendo el mismo procedimiento que en los vehículos Kia Sportage.

El análisis de varianza mostrado en la tabla 38 - 3 determinó que, al ser el valor de P, correspondiente a la variable de tipo de filtro, menor que el nivel de significancia del 5%, este componente tiene una diferencia significativa en el nivel de concentraciones de CO al interior del habitáculo. También se observa que el valor de P correspondiente a los vehículos analizados establece que existe una diferencia significativa en concentraciones de monóxido de carbono entre los vehículos analizados, el análisis de varianza también demostró que existe un nivel de interacción significativo entre estos dos factores.

Tabla 38-3: Análisis de varianza CO – prueba completa Kia Cerato

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	6.01667	1	6.01667	10.45	0.0025
B: Vehículo	243.551	9	27.0612	47.01	0.0000
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	22.5133	9	2.50148	4.35	0.0005
<i>RESIDUOS</i>	23.0267	40	0.575667		
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	295.107	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

El análisis resultante de la prueba de múltiples rangos establece que existe una diferencia significativa en el nivel de concentraciones de CO al interior del habitáculo, ya que en los grupos homogéneos correspondientes a los tipos de filtro nuevo y usado se visualiza que no comparten la alineación en la columna. Además, al analizar los valores de las medias de la tabla 39 - 3 se observa que la diferencia entre un filtro y otro corresponde a 0.63 ppm la cual, a pesar de ser una diferencia muy pequeña, el análisis estadístico establece que el tipo de filtro influye de manera significativa en el nivel de concentraciones de CO siendo menores las concentraciones con la utilización de un filtro de A/C nuevo.

Tabla 39-3: Pruebas múltiples rangos CO tipo de filtro, prueba completa Kia Cerato

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	4.76	0.138524	X
Usado	30	5.39333	0.138524	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Nuevo - Usado	*	-0.63333	0.395934	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

El análisis proporcionado por la tabla 38 - 3 ANOVA y la prueba de múltiples rangos se puede corroborar de manera visual en el gráfico 65-3 con la gráfica de medias (a), en la cual se observa que la media de CO con el filtro de A/C nuevo es inferior a la media con el filtro usado siendo un valor de aproximadamente 4.7 ppm de CO con filtro nuevo y 5.4 ppm de CO con filtro usado, llegando a la conclusión de que son significativamente diferentes. Mientras que en la gráfica de interacciones (b), se puede observar que en la mayoría de los vehículos el comportamiento del CO es menor con la utilización de filtro nuevo.

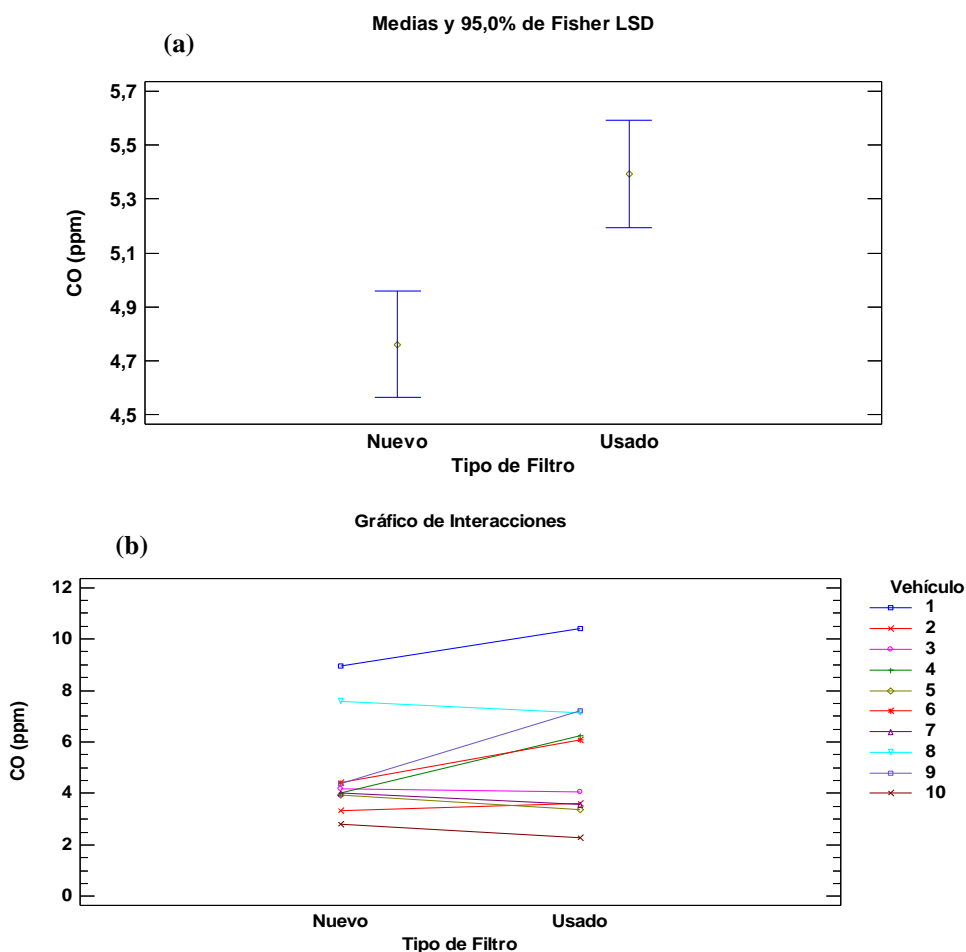


Gráfico 65-3: Medias e interacciones CO por tipo de filtro prueba completa Kia Cerato

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 66-3 se recopila el comportamiento de cada uno de los vehículos analizados con los dos tipos de filtro por medio de una gráfica de intervalos, los cuales fueron calculados tomando como base el análisis de varianza. En esta gráfica se pueden observar que en los vehículos 1, 2, 4, 6 y 9 el valor medio de CO es mayor con la utilización del filtro de A/C usado, en los demás vehículos el valor medio de CO para filtro nuevo y usado es similar lo que indica que esta diferencia es lo suficientemente significativa como para establecer una diferencia entre un tipo de filtro u otro.

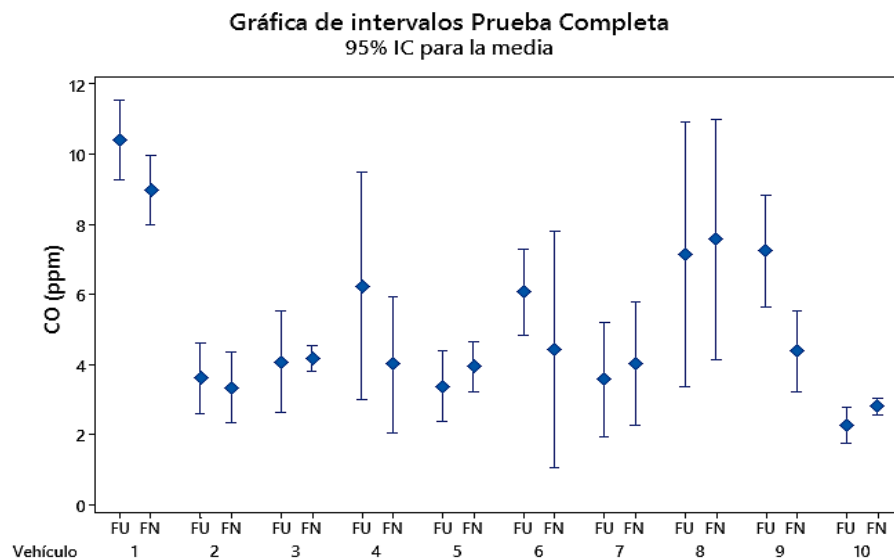


Gráfico 66-3: Gráfica de intervalos para CO prueba completa Kia Cerato
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

3.3.2.8. Prueba completa CO2

El análisis de varianza para CO2, determina que en este aspecto se tiene una diferencia que es estadísticamente significativa con la utilización del filtro de A/C nuevo, ya que el valor de P en el factor vehículo, el cual se encuentra representado en la tabla 40 - 3, es inferior al nivel de significancia del 5%, sin embargo, el factor de tipo de filtro tiene un valor de P por encima del 5% razón por la cual este factor no representa una diferencia significativa. También se da una interacción estadísticamente significativa entre estos dos factores con un valor de P de 0.0153.

Tabla 40-3: Análisis de varianza CO2 – prueba completa Kia Cerato

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
A: Tipo de Filtro	29570.4	1	29570.4	0.77	0.3852
B: Vehículo	1.77745E6	9	197495	5.15	0.0001
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	926795	9	102977	2.68	0.0153
<i>RESIDUOS</i>	1.53447E6	40	38361.8		
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	4.26829E6	59			

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En la prueba de múltiples rangos representada en la tabla 41 - 3, se puede constatar que los grupos correspondientes a tipo de filtro nuevo y usado comparten la misma alineación en la columna de grupos homogéneos, lo que indica que, en efecto, la diferencia significativa de medias de este factor no es diferente, además se observa que el valor de la media de CO2 con filtro nuevo es 2842 ppm, la cual es inferior en 44 ppm a la media de CO2 con filtro usado, con esto se corrobora que no hay una diferencia significativa de este factor.

Tabla 41-3: Prueba múltiples rangos CO2 tipo de filtro prueba completa Kia Cerato

Tipo de Filtro	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Nuevo	30	2842.07	35.7593	X
Usado	30	2886.47	35.7593	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Nuevo - Usado		-44.4	102.209	

Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 67-3 se puede comprobar los resultados obtenidos por el análisis de varianza, y por la prueba de múltiples rangos, ya que se logra observar que el valor de las medias en el gráfico (a) indiscutiblemente es menor con el filtro de A/C nuevo, sin embargo, las medias de filtro nuevo y usado son similares con valores de aproximadamente 2850 ppm y 2870 ppm respectivamente, con esto se demuestra lo establecido en las tablas 40-3 y 41-3. Se infiere que, para este caso, el filtro de A/C no tiene una influencia significativa en el nivel de concentraciones de CO2. En la gráfica de interacciones (b) se visualiza que el vehículo 7 y 10 son los únicos que presentan una variación notable con respecto a la utilización de un filtro nuevo, sin embargo, los demás vehículos no representan ningún tipo de variación, corroborándose lo mencionado en las tablas antes analizadas.

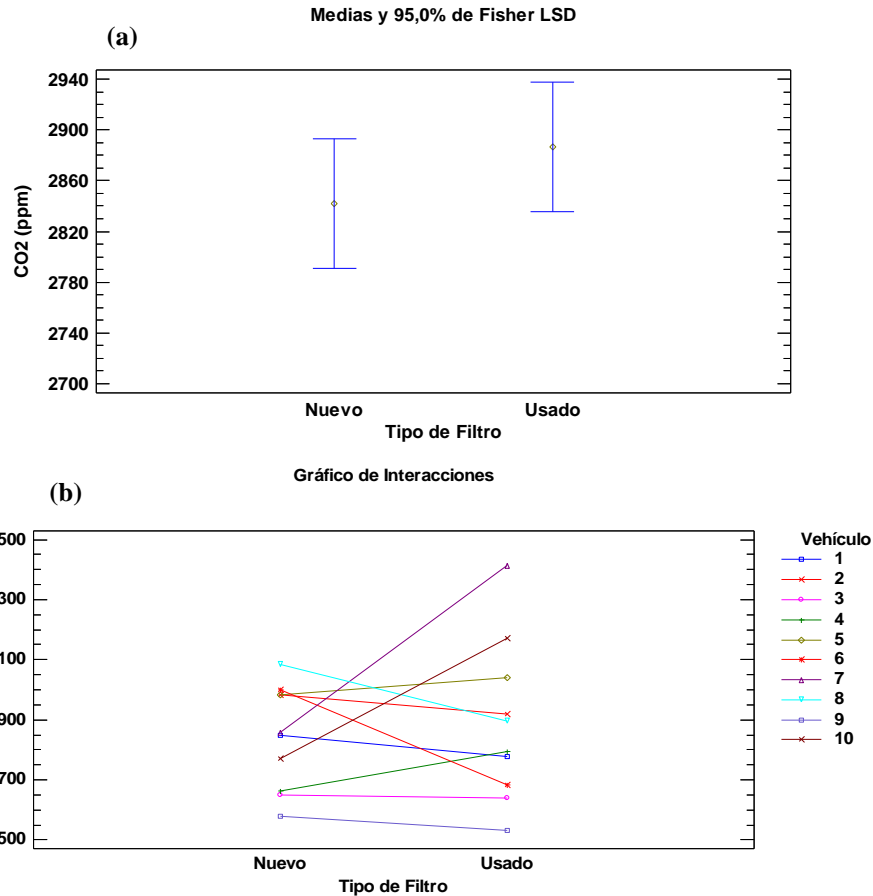


Gráfico 67-3: Medias e interacciones CO₂ por tipo de filtro prueba completa Kia Cerato
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

En el gráfico 68-3, se puede visualizar el comportamiento de dióxido de carbono con el filtro de A/C usado y nuevo para cada uno de los vehículos Kia Cerato analizados, se puede observar que en los vehículos 4, 7 y 10 las medias de CO₂ son ligeramente más elevadas con filtro usado que con filtro nuevo. En los vehículos 1, 2, 3, 5, 6, 8 y 9, las medias de concentraciones de CO₂ no representan una diferencia significativa con la utilización de filtro nuevo con respecto a uno usado con lo cual no hay una variación considerable y se corrobora los resultados del análisis estadístico que se realizó.

Gráfica de intervalos Prueba Completa
95% IC para la media

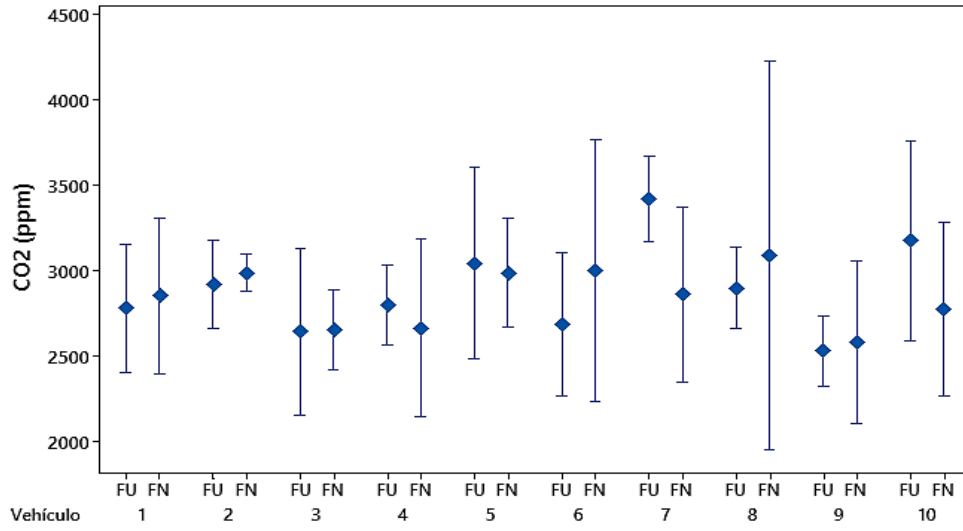


Gráfico 68-3: Gráfica de intervalos para CO2 prueba completa Kia Cerato
Realizado por: Almeida James y Barreno Luis, 2021

CONCLUSIONES

Con la utilización del instrumento de medida de IAQ Testo 440, se efectuó la medición de concentraciones de CO y CO₂ al interior del habitáculo, con el cual se determinó en qué condiciones se encontraban los vehículos analizados en referencia a la calidad de aire interior.

De acuerdo con la revisión bibliográfica y los resultados obtenidos, una de las principales fuentes de CO₂ al interior del habitáculo es proveniente de la respiración de los ocupantes, mientras que la fuente principal de CO es el motor del vehículo, por otra parte, la acumulación de este contaminante depende del adecuado funcionamiento del climatizador y del modo de ventilación empleado determinando que en el modo de renovación de aire las concentraciones de CO y CO₂ disminuyen considerablemente en contraste con los modos de recirculación de aire y climatizador apagado, en los cuales se evidencia un incremento en el nivel de concentraciones.

Al aplicar las variables de funcionamiento del climatizador, se observó que, en los vehículos con un funcionamiento inadecuado del sistema de aire acondicionado, al no poder controlar la temperatura al interior del habitáculo, el nivel de concentraciones de CO en el modo de renovación de aire no disminuye, razón por la cual no se puede alcanzar el confort ambiental en vehículos con esta condición.

Con base en el análisis de varianza se determinó que en los vehículos Kia Sportage Active existe una diferencia estadísticamente significativa con un nivel de concentraciones de CO₂ menor con la utilización de un filtro de A/C nuevo con respecto al filtro usado, sin embargo, no existe una diferencia con respecto a las concentraciones de CO; en los vehículos Kia Cerato Forte, se evidenció un nivel de concentraciones de CO inferior con la utilización del filtro de A/C nuevo, sin embargo, no existe una diferencia significativa en el nivel de concentraciones de CO₂.

En la mayoría de los vehículos Kia Sportage Active se determinó que los niveles de concentración de CO, con filtro nuevo y filtro usado, superan ampliamente el valor MAC de 5 ppm establecido por la norma (GOST 33554, 2015), sin embargo, en 3 de los vehículos no se supera este valor. En el caso de los vehículos Kia Cerato Forte, las concentraciones de CO con filtro usado en 5 de los 10 vehículos, superan el valor establecido por la normativa, y con filtro nuevo, 8 de los 10 vehículos se mantienen dentro del valor establecido por (GOST 33554, 2015). En el caso del CO₂, se determinó que tanto los vehículos Kia Cerato Forte como Kia Sportage Active, las concentraciones superan ampliamente el valor estándar de 1000 ppm recomendado por la norma (ANSI/ASHRAE Standard 62.1, 2019).

RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente estudio, el sistema de climatización del vehículo, puede ser un factor determinante en el nivel de concentraciones de CO y CO₂ al interior del habitáculo, por tal razón es recomendable una correcta utilización de este sistema con el fin de disminuir o mitigar el nivel de concentraciones de estas emisiones.

Un mantenimiento adecuado del sistema de climatización y aire acondicionado del vehículo se ve reflejado en el nivel de concentraciones de emisiones contaminantes, ya que, si este sistema se encuentra en malas condiciones, puede provocar un incremento en el nivel de CO y CO₂ al interior del habitáculo; de igual manera se recomienda un cambio del filtro de A/C, de acuerdo con su estado.

De acuerdo con la revisión bibliográfica y los resultados obtenidos, se determinó que las concentraciones de CO y CO₂, tienden a elevarse con las ventanas cerradas y el motor encendido en función del tiempo, por lo cual no es recomendable permanecer por prolongados periodos de tiempo en esta condición dentro del vehículo, o a su vez se recomienda emplear estrategias de ventilación para el ingreso de aire fresco como son abrir las ventanas o usar el sistema de aire acondicionado en modo de renovación de aire.

GLOSARIO

A.

ANOVA. Análisis de Varianza

Acumulación. Reunión una cantidad considerable de algo

Auto contaminación. Contaminación por uno mismo

C.

Confort Ambiental. Bienestar o comodidad ambiental (temperatura, humedad relativa, presión)

Calidad de Aire. Nivel de contaminación del aire

Climatizador. Componentes con la función de regular la temperatura en la cabina del vehículo

Concentraciones. Acumulación de algo en un espacio definido

Condiciones Ambientales. Valores de Temperatura, presión y humedad relativa del ambiente,

CO. Monóxido de Carbono

CO2. Dióxido de Carbono

F.

Filtro de Habitáculo. Elemento del sistema de climatización que sirve para filtrar el polvo y partículas que ingresan a la cabina.

G.

Gráfica de Intervalos. Gráfica estadística por medio del análisis de varianza que determina el valor promedio y los bigotes o intervalos en base a la desviación estándar.

H.

Habitáculo. Compartimiento interior del vehículo

HVAC. Heating, ventilation, and air conditioning (Calefacción, ventilación y aire acondicionado)

Humedad Relativa. Medida de cantidad de vapor de agua en el aire

I.

IAQ. Indoor Air Quality (Calidad de Aire Interior)

M.

MAC. (Maximum admissible Concentration), Concentración Máximo Admisibles

Modo de Ventilación. Estrategia de Ventilación por medio de la utilización de los modos del climatizador del vehículo.

P.

Presión. Presión atmosférica (Ambiental)

PEL. Límite Permisible de Exposición de acuerdo a lo establecido por la norma (OSHA 2011)

Protocolo/Certificado de Calibración. Documento que contiene los resultados de la calibración de un instrumento de medición

Punto de Muestreo. Lugar en el cual se realiza la medición

R.

Recirculación de aire. Modo del climatizador en el que se reutiliza/recircula el aire del interior de la cabina.

Renovación de aire. Entrada de aire fresco o exterior al interior de la cabina del vehículo

T.

Temperatura. Medida que describe la sensación de frío o calor

Tiempo de Exposición. Tiempo en el que la persona está expuesta a un determinado contaminante

V.

Ventilación. Sistema que permite la renovación del aire interior.

BIBLIOGRAFÍA

- ABI ESBER, Layale, et al.** The effect of different ventilation modes on in-vehicle carbon monoxide exposure. *Atmospheric Environment*, 2007. vol. 41, no. 17, pp. 3644-3657. ISSN 13522310. DOI 10.1016/j.atmosenv.2006.12.036.
- ALAHMER, Ali, et al.** Design for thermal sensation and comfort states in vehicles cabins. *Applied Thermal Engineering*, 2012. vol. 36, no. 1, pp. 126-140. ISSN 13594311. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2011.11.056.
- ALAMEDDINE, Ibrahim, et al.** Operational and environmental determinants of in-vehicle CO and PM 2.5 exposure. *Science of the Total Environment* [en línea], 2016. vol. 551-552, pp. 42-50. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2016.01.030. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.030>.
- ALMUTAIRI, Aisha, et al.** Evaluation of the indoor air quality in governmental oversight supermarkets (Co-Ops) in Kuwait. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2019. vol. 9, no. 22. ISSN 20763417. DOI 10.3390/APP9224950.
- ANGELOVA, R.A, et al.** Accumulation of metabolic carbon dioxide (CO₂) in a vehicle cabin. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. vol. 664, no. 1. ISSN 1757899X. DOI 10.1088/1757-899X/664/1/012010.
- ANSI/ASHRAE STANDARD 62.1, 2019.** Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality:
- ATKINSON, Ward, et al.** The Impact of Increased Air Recirculation on Interior Cabin Air Quality. SAE Technical Paper, 2017.
- BARNES, Natasha, et al.** In-cabin air quality during driving and engine idling in air-conditioned private vehicles in Hong Kong. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018. vol. 15, no. 4. ISSN 16604601. DOI 10.3390/ijerph15040611.
- BEJARANO Mauro., & BARRERO , Fernando.** Estudio de la intoxicación por monóxido de carbono y otros gases en Colombia notificados al SIVIGILA en los años 2010 y 2011 [En Línea] (Trabajo de Titulación). (Pre grado) Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales - U.D.C.A., Colombia, 2014. pp 19-20. [Consulta: 2021-06-01]. Disponible en: <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/245>
- CDC, C. for D.C. and P., 1992.** Unintentional Deaths from Carbon Monoxide Poisoning -- Michigan,

1987-1989. [en línea]. [Consulta: 2021-06-01]. Disponible en:
<https://www.cdc.gov/Mmwr/preview/mmwrhtml/00018025.htm>.

CDC, C. for D.C. and P., Deaths from motor-vehicle-related unintentional carbon monoxide poisoning. , 1996. vol. 45, no. 47, pp. 1029-1048. DOI 10.1001 / jama.1996.03540240020012.

CDC, C. for D.C. and P., 2021. Carbon Monoxide Poisoning (CO) | Disease or Condition of the Week | CDC. [en línea]. [Consulta: 2021-06-01]. Disponible en:
<https://www.cdc.gov/dotw/carbonmonoxide/index.html>.

CHIESA, Giacomo, et al. Multisensor IoT platform for optimising IAQ levels in buildings through a smart ventilation system. Sustainability (Switzerland), 2019. vol. 11, no. 20. ISSN 20711050. DOI 10.3390/su11205777.

CHUNG, J. joon & KIM, H.J., An automobile environment detection system based on deep neural network and its implementation using iot-enabled in-vehicle air quality sensors. Sustainability (Switzerland), 2020. vol. 12, no. 6. ISSN 20711050. DOI 10.3390/su12062475.

COBAS, Jorge, et al. La investigación científica como componente del proceso formativo del Licenciado en Cultura Física. , 2010. pp. 1-10.

COLWILL, D.M. & HICKMAN, A.J., Exposure of Drivers to Carbon Monoxide. Journal of the Air Pollution Control Association, 2012. vol. 2470, no. 1980. DOI 10.1080/00022470.1980.10465191.

CORTEZ, Liliana & ALAN, David, *Procesos y fundamentos de la investigacion cientifica* [en línea]. Machala - Ecuador: Ediciones UTMACH, 2018 [Consulta: 2021-06-15]. Disponible en:
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12498/1/Procesos-y-FundamentosDeLainvestiagcionCientifica.pdf>

DENG, Yue, et al. An unobstructive sensing method for indoor air quality optimization and metabolic assessment within vehicles. Sensors (Switzerland), 2020. vol. 20, no. 24, pp. 1-14. ISSN 14248220. DOI 10.3390/s20247202.

ECONOMIC AND SOCIAL COUNCIL, Proposal for Amendment 1 to Mutual Resolution No. 3 Concerning Vehicle Interior Air Quality (VIAQ). The Oxford Handbook on the United Nations, 2020. vol. 2020. DOI 10.1093/oxfordhb/9780199560103.003.0007.

EL-FADEL, M. & ABI-ESBER, L., In-vehicle Exposure to Carbon Monoxide Emissions from Vehicular Exhaust: A Critical Review. Critical Reviews in Environmental Science and

Technology [en línea], 2009. no. May 2015. DOI 10.1080/10643380701798264. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643380701798264>.

EL UNIVERSO, 2020. Monóxido de carbono, el enemigo silencioso que te puede matar si descansas en el auto | Salud | La Revista | El Universo. [en línea]. Guayaquil, 21 agosto 2020. pp. 1. [Consulta: 13 abril 2021]. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/larevista/2020/08/21/nota/7950274/monoxido-carbono-causa-muerte-dormir-auto/>.

ERDMANN, Christine, et al. Indoor Carbon Dioxide Concentrations and Sick Building Syndrome Symptoms in the Base Study Revisited: Analyses of the 100 Building Dataset. *Indoor Air*, 2002. vol. 1, no. January 2002, pp. 443-448.

ESBER, L.A. & EL-FADEL, M., In-vehicle CO ingestion: Validation through field measurements and mass balance simulations. *Science of the Total Environment*, 2008. vol. 394, no. 1, pp. 75-89. ISSN 00489697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2008.01.034.

FRUIN, Scott, et al. Measurements and predictors of on-road ultrafine particle concentrations and associated pollutants in Los Angeles. *Atmospheric Environment*, 2008. vol. 42, no. 2, pp. 207-219. ISSN 13522310. DOI 10.1016/j.atmosenv.2007.09.057.

GALATSIS, Kosmas, et al. Ventilation control for improved cabin air quality and vehicle safety. *IEEE Vehicular Technology Conference*, 2001. vol. 4, no. 53ND, pp. 3018-3021. ISSN 07400551. DOI 10.1109/vetecs.2001.944157.

GIRI, J.Aswin., et al. Effect of ambient concentration of carbon monoxide (CO) on the in-vehicle concentration of carbon monoxide in Chennai , India. *Environmental Engineering Research*, 2021. vol. 26, no. 3, pp. 0-1. DOI <https://doi.org/10.4491/eer.2020.165>.

GLADYSZEWSKA-FIEDORUK, K., Concentrations of carbon dioxide in a car. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [en línea], 2011. vol. 16, no. 2, pp. 166-171. ISSN 13619209. DOI 10.1016/j.trd.2010.07.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2010.07.003>.

GLADYSZEWSKA-FIEDORUK, K., Concentrations of carbon dioxide in the cabin of a small passenger car. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2011. vol. 16, no. 4, pp. 327-331. ISSN 13619209. DOI 10.1016/j.trd.2011.01.005.

GOST 33554, 2015. Content of Pollutants in the interior of driver's cab and passenger compartment.

- GRADY, Michael, et al.** Vehicle cabin air quality with fractional air recirculation. SAE Technical Papers, 2013. vol. 2. ISSN 26883627. DOI 10.4271/2013-01-1494.
- HARIK, Ghinwa, et al.** Is in-cabin exposure to carbon monoxide and fine particulate matter amplified by the vehicle's self-pollution potential? Quantifying the rate of exhaust intrusion. Transportation Research Part D: Transport and Environment [en línea], 2017. vol. 54, pp. 225-238. ISSN 13619209. DOI 10.1016/j.trd.2017.05.009. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.05.009>.
- HUDDA, N. & FRUIN, S.A.,** Carbon dioxide accumulation inside vehicles: The effect of ventilation and driving conditions. Science of The Total Environment [en línea]. 2018. vol. 610-611, pp. 1448-1456. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.08.105. Diponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.105>.
- JORMA, S.,** Finnish classification of indoor climate 2000: revised target values. Indoor Air 2002, 2002. pp. 643-648.
- KILIC, M. & AKYOL, S.M.,** Experimental investigation of thermal comfort and air quality in an automobile cabin during the cooling period. Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung, 2012. vol. 48, no. 8, pp. 1375-1384. ISSN 09477411. DOI 10.1007/s00231-012-0988-8.
- LEE, E.S. & ZHU, Y.,** Application of a high-efficiency cabin air filter for simultaneous mitigation of ultrafine particle and carbon dioxide exposures inside passenger vehicles. Environmental Science and Technology, 2014. vol. 48, no. 4, pp. 2328-2335. ISSN 0013936X. DOI 10.1021/es404952q.
- LUANGPRASERT, Maytat, et al.** In-vehicle carbon dioxide concentration in commuting cars in Bangkok, Thailand. Journal of the Air and Waste Management Association, 2017. vol. 67, no. 5, pp. 623-633. ISSN 21622906. DOI 10.1080/10962247.2016.1268983.
- MARR, Linsey.C., et al.** Reducing the risk of accidental death due to vehicle-related carbon monoxide poisoning. Journal of the Air and Waste Management Association, 1998. vol. 48, no. 10, pp. 899-906. ISSN 10473289. DOI 10.1080/10473289.1998.10463745.
- MATHUR, G.D.,** Experimental investigation to monitor tailpipe emissions entering into vehicle cabin to improve Indoor Air Quality (IAQ). SAE Technical Papers, 2007. no. 724, pp. 776-790. ISSN 26883627. DOI 10.4271/2007-01-0539.

- MATHUR, G.D.**, Influence of vehicle age on build-up of carbon dioxide in cabin to monitor indoor air quality (IAQ). Institution of Mechanical Engineers - VTMS 10, Vehicle Thermal Management Systems Conference and Exhibition, 2011. no. March, pp. 623-634. DOI 10.1533/9780857095053.8.623.
- MATHUR, G.D.**, Effect of Cabin Volume on Build-up of Cabin Carbon Dioxide Concentrations from Occupant Breathing in Automobiles. SAE Technical Papers, 2018. vol. 2018-April, pp. 1-9. ISSN 01487191. DOI 10.4271/2018-01-0074.
- OSHA, 2011.** Indoor air quality in commercial and institutional buildings. . S.l.:
- OSMAN**, Calidad del Aire Interior. Enciclopedia De Salud Y Seguridad En El Trabajo [en línea], 2011. vol. 2, pp. 44.1-44.33. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Capítulo+44.+Calidad+del+aire+interior>.
- PÉREZ DARQUEA, D.G.**, Estudio De Emisiones Contaminantes Utilizando Combustibles Locales. INNOVA Research Journal, 2017. vol. 2, no. 23, pp. 23-34.
- ROCHA-HOYOS, Juan, et al.** Effect of the addition of biodiesel on the performance and opacity of a diesel engine. Informacion Tecnologica, 2019. vol. 30, no. 3, pp. 137-146. ISSN 07180764. DOI 10.4067/S0718-07642019000300137.
- RODRÍGUEZ, A. & PÉREZ, O.**, Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. Revista Escuela de Administración de Negocios [en línea], 2017. pp. 27. DOI <https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20652069006>.
- ROJAS, Vicente, et al.** Control de la temperatura en el interior del habitáculo de un vehículo. Lámpsakos, 2020. no. 23, pp. 79. ISSN 2145-4086. DOI 10.21501/21454086.3462.
- RUDELL, B., et al.** Efficiency of automotive cabin air filters to reduce acute health effects of diesel exhaust in human subjects. Occupational and Environmental Medicine, 1999. vol. 56, no. 4, pp. 222-231. ISSN 13510711. DOI 10.1136/oem.56.4.222.
- RUIZ, Iván, et al.** Assessing metabolic rate and indoor air quality with passive environmental sensors. Journal of Breath Research, 2018. vol. 12, no. 3. ISSN 17527163. DOI 10.1088/1752-7163/aaaec9.
- SAAD, Shaharil, et al.** Development of indoor environmental index: Air quality index and thermal comfort index. AIP Conference Proceedings, 2017. vol. 1808, no. March. ISSN 15517616. DOI

10.1063/1.4975276.

SÁNCHEZ, F., Epistemic Fundamentals of Qualitative and Quantitative Research: Consensus and Dissensos. *Revista Digital De Investigación En Docencia Universitaria* [en línea], 2019. vol. 13, no. 1, pp. 102-222. DOI doi: <https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-25162019000100008.

SIMION, Mihaela, et al. Factors which Influence the Thermal Comfort Inside of Vehicles. *Energy Procedia*, 2016. vol. 85, no. November 2015, pp. 472-480. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2015.12.229.

SKREȚOWICZ, María, et al. Evaluation of driver exposure risk on toxins emitted from exhausts engine in traffic congestion simulated conditions. *E3S Web of Conferences*, 2018. vol. 44, no. x. ISSN 22671242. DOI 10.1051/e3sconf/20184400163.

STEWART, R.D., The effect of Carbon Monoxide on Humans. [en línea], 1975. no. 7. DOI <https://doi.org/10.1146/annurev.pa.15.040175.002205>. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643380701798264>.

TARTAKOVSKY, Leonid, et al. In-vehicle particle air pollution and its mitigation. *Atmospheric Environment* [en línea], 2013. vol. 64, pp. 320-328. ISSN 13522310. DOI 10.1016/j.atmosenv.2012.10.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.10.003>.

TESSATHAN, Tanawat, et al. Cabin-Ambient Air Exchanges and Their Relation to In-Vehicle CO₂ Concentration. *SAE Technical Papers*, 2017. vol. 2017-March, no. March. ISSN 01487191. DOI 10.4271/2017-01-1725.

TESTO, 2021. *Sondas para climatización testo de generación moderna con empuñadura con cable*.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*, 2010 WHO Region. S.l.: s.n. ISBN 978 92 890 0213 4.

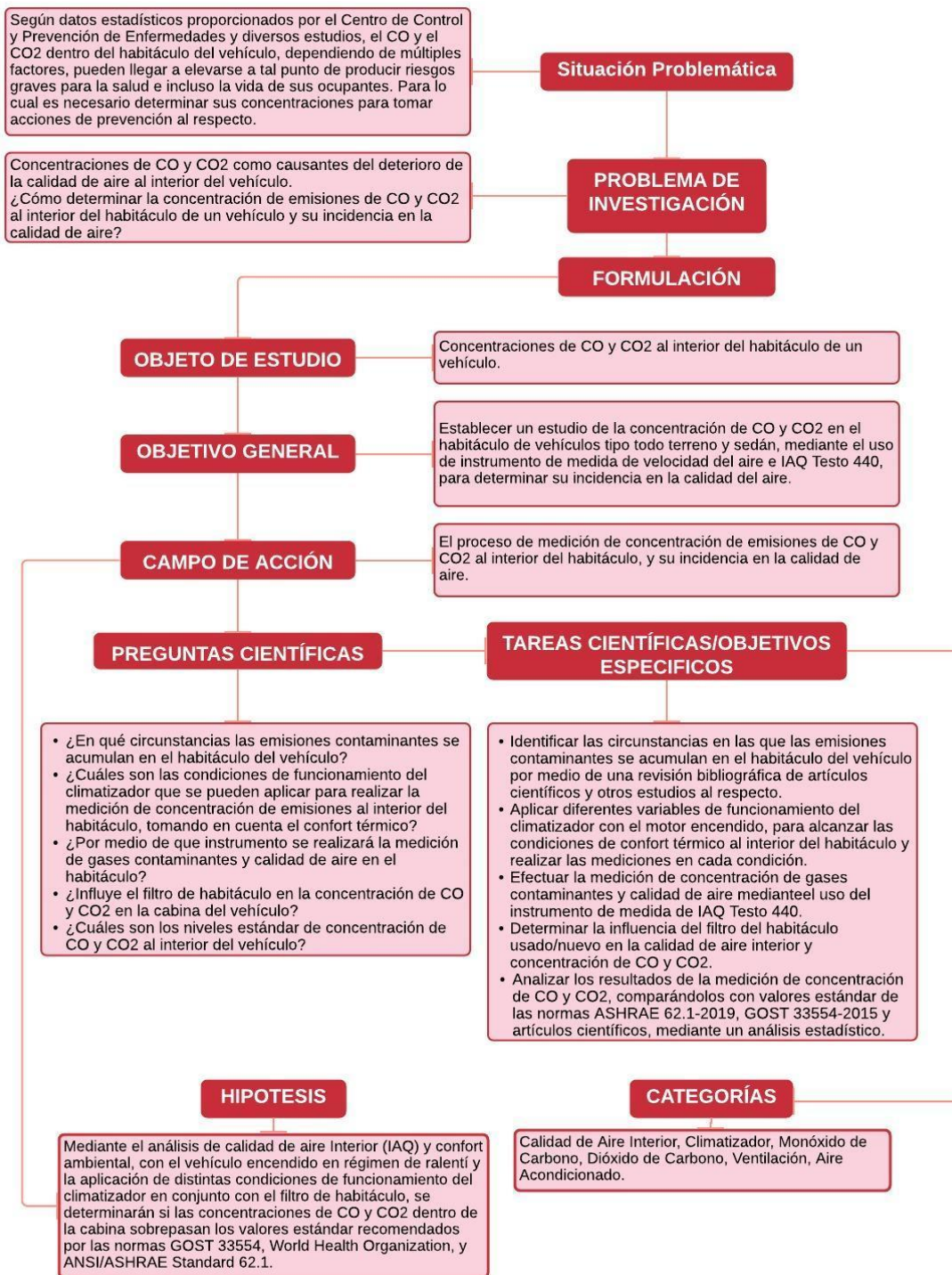
XU, Bin, et al. Air quality inside motor vehicles' cabins: A review. *Indoor and Built Environment*, 2018. vol. 27, no. 4, pp. 452-465. DOI 10.1177/1420326X16679217.

XU, Bin, et al. Investigation of volatile organic compounds exposure inside vehicle cabins in China. *Atmospheric Pollution Research*, 2016a. vol. 7, no. 2, pp. 215-220. ISSN 13091042. DOI 10.1016/j.apr.2015.09.005.

ZULAUF, Nicole, et al. Indoor Air Pollution in Cars : An Update on Novel Insights. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019. vol. 16, no. 13. DOI 10.3390/ijerph16132441

ANEXOS

Anexo A



Anexo A: Estructura de Investigación

Fuente: Autores

Anexo B

Kalibrier-Protokoll

Certificate of conformity • Protocole d'étalonnage
Certificato di taratura • Informe de calibración



**Gerät / Module type /
Modèle / Modelo:**

0632 1270

**Serien-Nr. / Serial no. /
No. de série / Número de serie:**

20851848

**Messwerte / Measured values /
Valeurs mesurées / Valores medidos:**

**Sollwert /
Reference /
Référence /
Referencia:**

**Toleranz /
Tolerance /
Tolérance /
Tolerancia:**

**Istwert /
Actual Value /
Valeur réelle /
Valor medido:**

80.0 ppm

CO
± 5.0 ppm

82.2 ppm

**Datum / Date /
Date / Fecha:**

**Prüfer / Inspector /
Vérificateur / Verificador:**

15.04.2021

4869

Anexo B: Certificado de calibración sonda de CO
Fuente: (TESTO 2021)

Anexo C

Kalibrier-Protokoll

Certificate of conformity • Protocole d'étalonnage
Certificato di taratura • Informe de calibración



Gerät / Module type /
Modèle / Modelo:

0632 1550

Serien-Nr. / Serial no. /
N°. de série / Número de serie:

58616604

Messwerte / Measured values / Valeurs mesurées / Valores medidos:		
Sollwert / Reference / Référence / Referencia:	Zulässige Toleranz / Permissible tolerance / Tolérance admise / Tolerancia permitida:	Istwert / Actual Value / Valeur réelle / Valor medido :
CO2		
998.5 ppm	± 80.0 ppm	1003.0 ppm
4996.0 ppm	± 350.0 ppm	4980.6 ppm
Temperatur / Temperature / Température / Temperatura (NTC)		
23.2 °C	±0.5 °C	23.1 °C
Relative Luftfeuchte / Relative humidity / Humidité relative / Humedad relativa		
43.5 %RH	±2.0 %RH	42.7 %RH
Absolutdruck / Absolute pressure / Pression absolue / Presión absoluta		
1021.0 hPa	±3.0 hPa	1020.9 hPa

Datum / Date / Date / Fecha:
18.01.2021

Prüfer / Inspector /
Responsable / Verificador

J. Yeung

Anexo C: Certificado de Calibración Sonda de CO2
Fuente: (TESTO 2021)

Anexo D

Kalibrier-Protokoll

Certificate of conformity • Protocole d'étalonnage
Certificato di taratura • Informe de calibración



Gerät / Module type / **0560 4401**
Modèle / Modelo:

Messbereich / Measuring range / **-200...+1370°C**
Etendue de mesure / Rango de medición: **-40...+150°C**

Serien-Nr. / Serial no. /
N°. de série / Número de serie: **83264522**

Messwerte / Measured values /
Valeurs mesurées / Valores medidos:

Sollwert / Reference / Référence / Referencia:	Zulässige Toleranz / Permissible tolerance / Tolérance admise / Tolerancia permitida:	Istwert / Actual Value / Valeur réelle / Valor medido:
---	--	---

80.0°C
25.0°C

Temperature:
+/-0.5°C
+/-0.5°C

80.0°C
25.0°C

Datum / Date
Date / Fecha:
28.01.2021

Prüfer / Inspector /
Responsable / Verificad
1497

Anexo D: Certificado de Calibración Testo 440
Fuente: (TESTO 2021)

Anexo E

Descripción técnica de los vehículos a medir las concentraciones de CO y CO₂ al interior del habitáculo.

Fecha de Aplicación _____

1. Especificaciones Generales del vehículo Testeado.

- 1.1. Fabricante _____
- 1.2. Modelo _____
- 1.3. Tipo de Motor _____
- 1.4. Cilindraje _____
- 1.5. Tipo de Combustible _____
- 1.6. Año de Fabricación _____
- 1.7. Categoría _____
- 1.8. Clase _____
- 1.9. Número de Identificación (VIN) _____
- 1.10. Placa del Vehículo _____
- 1.11. Kilometraje _____

2. Revisión de condiciones del vehículo antes de la prueba

Ítem a evaluar	Cumple	No Cumple	Observaciones
Cierre de puertas y ventanas			
Aire Acondicionado			
Ventoleras del Climatizador			
Ventana Delantera Izquierda			
Ventana Delantera Derecha			
Ventana Posterior Izquierda			
Ventana Posterior Derecha			
Aceite			
Filtro de Habitáculo			
Vehículo en General			

3. Condiciones durante la prueba.

	Usado	Nuevo
Filtro de Habitáculo		

Primera Medición					
Hora Inicio					
Hora Fin					
Condiciones Ambientales					
Presión Atmosférica (kPa)					
Humedad Relativa (%)					
Temperatura (°C)					
Resultados Preliminares					
	CO2 (ppm)	CO (ppm)	% HR	T (°C)	P (kPa)
Media					
Min					
Max					

Segunda Medición					
Hora Inicio					
Hora Fin					
Condiciones Ambientales					
Presión Atmosférica (kPa)					
Humedad Relativa (%)					
Temperatura (°C)					
Resultados Preliminares					
	CO2 (ppm)	CO (ppm)	% HR	T (°C)	P (kPa)
Media					
Min					
Max					

Tercera Medición					
Hora Inicio					
Hora Fin					
Condiciones Ambientales					
Presión Atmosférica (kPa)					
Humedad Relativa (%)					
Temperatura (°C)					
Resultados Preliminares					
	CO2 (ppm)	CO (ppm)	% HR	T (°C)	P (kPa)
Media					
Min					
Max					

4. Observaciones/Notas

5. Firmas:

Entrega Vehículo:

Recibe Vehículo:

Nombre: _____

Nombre: _____

CI: _____

CI: _____

Anexo E: Descripción técnica del vehículo de prueba con respecto al contenido de CO y CO2
Fuente: Autores