

Conference Paper

# Study of the Incidence of CO and CO<sub>2</sub> Gas Emission Levels and Temperature, of the Automotive Air Conditioning System Inside an Interprovincial Bus at Different Environmental and Operating Conditions

## Estudio de la incidencia de los niveles de emisiones de gases CO y CO<sub>2</sub> y temperatura, del sistema de climatización automotriz al interior de un bus interprovincial a diferentes condiciones ambientales y de funcionamiento.

IX CONGRESO  
INTERNACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN DE LA RED  
ECUATORIANA DE  
UNIVERSIDADES Y  
ESCUELAS POLITÉCNICAS Y  
IX CONGRESO  
INTERNACIONAL DE  
CIENCIA TECNOLOGÍA  
EMPRENDIMIENTO E  
INNOVACIÓN  
SECTEI-ESPOCH 2022

Ángel Danilo Parra Parra, Luis Fernando Taguada Cruz, Johnny Pancha Ramos, and Víctor Bravo Morocho

Escuela Ingeniería Automotriz, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur km 1 1/2, Riobamba Ecuador

Corresponding Author: Ángel Danilo Parra Parr; email: Danilo.parra@epoch.edu.ec

Published: 9 November 2023

Production and Hosting by Knowledge E

© Ángel Danilo Parra Parr et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

### Abstract

The present curricular integration work proposes to analyze the levels of CO and CO<sub>2</sub> gas emissions in the passenger compartment of an interprovincial bus, considering environmental and functional conditions, to obtain values that are analyzed, allowing to know the comfort conditions of the passenger, and considering an ideal temperature of 22°C. The study was carried out on the selected route during the bus route, both in the central and peripheral urban sectors, where the influx of users is notable throughout the day. The field measurements were carried out (August 5-10), inside the passenger compartment of an interprovincial bus, considering operating variables of the automotive air conditioning system, such as condition, OFF, air recirculation, and air renewal. Data were collected in the passenger compartment's front, middle, and rear sections. An IAQ TESTO 440 gas analyzer was used through the CO<sub>2</sub> and the CO probe, located at a height of 1.1 m from the floor, which was considered as the average respiratory level of the passenger, generating the data in lapses of 10 min. Once the analysis has been carried out, the data is tabulated and the concentration levels of emissions produced by the users' exhalation are determined. Finally, by tabulating the data, it was possible to know the concentration percentages of the gas emissions produced by the users, in the different locations of the passenger compartment. It is recommended that for future research, a study be carried out with data collected from a full day of travel.

**Keywords:** Air conditioning, optimization, gas emissions, air quality, passenger cabin, comfort, gas analyzer, interprovincial transport.

### Resumen

Este trabajo de integración interna propone analizar el CO<sub>2</sub> y las emisiones de CO<sub>2</sub> en el habitáculo de los autobuses interurbanos, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y funcionales, para obtener los valores analizados, que permitan conocer el estado de confort del pasajero. Teniendo en cuenta la temperatura ideal de 22°C. En la ruta seleccionada,

 OPEN ACCESS



el estudio se realizó a lo largo de la ruta del bus, tanto en la zona céntrica como en la semiurbana donde hay una gran cantidad de usuarios a lo largo del día. Se realizaron mediciones de campo (del 5 al 10 de agosto) al interior del habitáculo de un bus interurbano, teniendo en cuenta variables operativas del sistema de aire acondicionado del vehículo como condición, apagado, recirculación de aire y cambio de aire. Los datos se recopilan en las partes delantera, media y trasera de la cabina. El analizador de gases IAQ TESTO 440 se utiliza como medio para los detectores de CO<sub>2</sub> y CO, colocado a una altura de 1,1 metros del estante, que se considera la frecuencia respiratoria media del pasajero, produce datos en un tiempo breve en 10 minutos. Una vez que se completa el análisis, se tabulan los datos y se determina la concentración exhalada del usuario. Finalmente, es posible conocer el porcentaje de emisiones generadas por el usuario, en diferentes puntos del habitáculo. Se recomienda que se realice un estudio con los datos recopilados en el transcurso de un día de viaje para futuras investigaciones.

**Palabras Clave:** <EMISIONES DE GASES> <TRANSPORTE INTERPROVINCIAL> <ANALIZADOR DE GASES> <AIRE ACONDICIONADO> <CALIDAD DEL AIRE> <HABITÁCULO DE PASAJEROS>.

## 1. Introducción

Personas que se desplazan diariamente y hacen uso de transporte terrestre, como buses entre ciudades ecuatorianas para llegar a diferentes ciudades o en otros casos de una región a otra, a pie o yendo a distintos trabajos. Los pasajeros expuestos a contaminantes transportados por el aire dentro de la cabina del autobús, como partículas finas (PM), partículas ultrafinas (PM < 2,5) y partículas gruesas (PM > 2,5), son partículas que aparecen con frecuencia en las estructuras de los edificios o en los compartimentos de pasajeros de los automóviles, [1].

Las partículas en el aire existen en varias formas, como partículas que son una mezcla de partículas sólidas y gotitas ultrafinas en forma líquida, en las partículas de aire pueden estar presentes en forma de suciedad, polvo, humo u hollín. Las partículas de menor diámetro aerodinámico serán más peligrosas para la salud de cada persona porque pueden atravesar la nasofaringe, penetrar profundamente en los pulmones y depositarse allí. Por lo que las partículas tienen un impacto negativo en la salud del individuo porque pueden causar enfermedades como problemas respiratorios, [2]. Deben poner en funcionamiento el sistema de aire acondicionado automotriz en determinados lapsos de tiempo para que exista una mejor calidad de aire y no se acumule en exceso las emisiones de gases CO y CO<sub>2</sub>, [3]. Otros casos movilizarse de una región a otra, haciendo que el viaje no sea placentero y el confort no sea el óptimo dentro del habitáculo del autobús, estas falencias se ha convertido en un hecho del día a día, [4].

Se han realizado mediciones de campo con equipos que miden las emisiones de CO<sub>2</sub> y CO de los pasajeros de buses interurbanos, teniendo en cuenta variables como la



recirculación del aire, refrescamiento del aire y cuando el sistema de aire acondicionado está completamente apagado, con estas mediciones se recolectarán datos confiables, precisa, con fines de investigación, [2]. En modo de espera, el automóvil se sella y se calienta a una temperatura interior constante de 40 ° C, y después de 4.5 horas a esta temperatura, se toman muestras de aire durante 30 minutos para determinar la concentración de formaldehído, [5].

El análisis se efectuará en el interior del habitáculo de un bus interurbano en su movimiento y sobre los pasajeros que viajan de la Sierra a la Provincia Oriental y viceversa, el estudio también tiene como objetivo recolectar datos y mediciones. Como en la parte delantera, media y baja del habitáculo de los autobuses interurbanos, teniendo en cuenta cuándo se enciende el sistema de aire acondicionado del vehículo y cuándo no se enciende o apaga el sistema de aire acondicionado, [6]. Lo fundamental de este trabajo es dar a conocer y examinar los niveles de CO<sub>2</sub> que se acumulan en espacios reducidos o en cabinas de los automóviles [7].

Los datos se obtienen a partir de mediciones de campo realizadas dentro del habitáculo de los autobuses interurbanos en diferentes lugares y en intervalos, cuando el sistema de aire acondicionado del vehículo está funcionando, en el modo semanal. Devoluciones, refrescamientos de aire o cuando se apaga el sistema de aire acondicionado del vehículo, se realizan los análisis estadísticos pertinentes y se compara y observa cada variable para diferentes emisiones de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, [8]. Incluso a concentraciones bajas a moderadas, el CO<sub>2</sub> (> 800 ppm) se ha asociado con dolor de cabeza, fatiga, insuficiencia renal y disminución de la capacidad cognitiva en los seres humanos [9].

## 2. Marco teórico

### 2.1. Mediciones de campo

El autor [10], indica: “El autobús universitario se utiliza para transportar a los estudiantes desde sus dormitorios hasta los edificios del curso en el campus. Los estudiantes suben y bajan del autobús durante el trabajo de campo”. La ruta del campus ha sido marcada para la ruta del autobús. Los datos, es decir, el cambio de partículas a lo largo del tiempo, se recopilan en las secciones anterior, media y posterior de la cabina. Los datos se recopilan en condiciones de estado estacionario.



**Figure 1**

*La ruta recorrida por el autobús durante las mediciones de campo. Fuente: [10].*

## 2.2. Sensor de dióxido de carbono y su ubicación

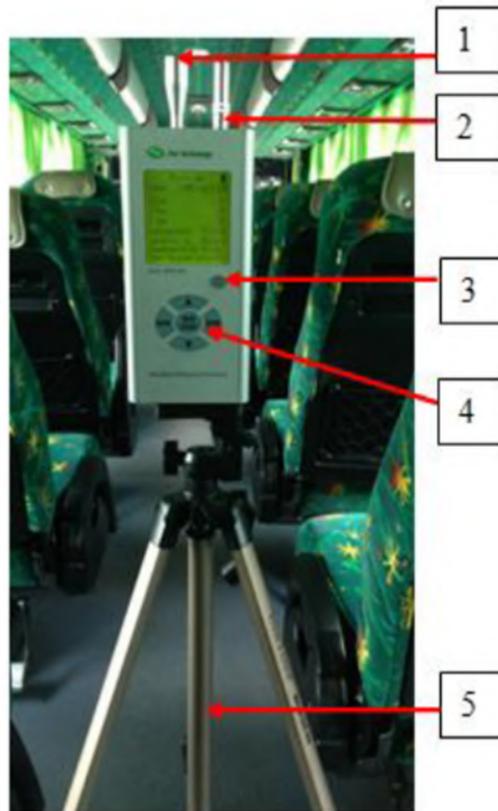
EL sensor genera un voltaje (0~5V) establecido en la concentración de dióxido de carbono. La exactitud de comprobación de la concentración de dióxido de carbono es de  $\pm 10\%$  del valor medido y la frecuencia de comprobación es de 1 Hz. Para este estudio se utilizaron dos sensores de este tipo [11].

El autor [11], menciona: “Se instala un sensor en el ingreso de la unidad de ventilación para monitorear la concentración de dióxido de carbono en el aire que ingresa al compartimiento. La ubicación del segundo sensor en el vehículo está junto del área del estante para paquetes.

## 2.3. Instrumentación utilizada

En la investigación [10], se empleó un trípode como soporte para mantener el medidor de partículas en su lugar durante la recaudación de datos. El medidor de partículas se instala a una elevación de 1,1 m sobre el suelo, que se considera el nivel de respiración del pasajero. Las concentraciones de partículas de PM1, PM2.5 y PM10

se miden monótonamente a medida que el autobús transita en una ruta designada dentro del campus.



**Figure 2**

*Equipo HPC300. Fuente: [10].*

## 2.4. Distribuciones de contaminantes

Las concentraciones de dióxido de carbono, dióxido de carbono y metano son más altas en la parte delantera del habitáculo. “Las concentraciones de CO<sub>2</sub> y CHO excedieron los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), 1.000 ppm y 0,08 ppm, respectivamente” [12]. También se puede ver en la figura que las concentraciones de todos los gases son más bajas en la parte trasera del compartimiento de pasajeros. El autor [13], menciona que: “El flujo de aire máximo típico del calentador es 125 a 200 cfm para un automóvil mediano. El aire del calefactor generalmente se distribuye en el compartimento inferior delantero (para los pies), debajo del asiento delantero y hacia arriba.

### 2.4.1. Influencia de los niveles de CO<sub>2</sub> en la cabina según la actividad humana

La frecuencia respiratoria media de los adultos según su actividad. Según estos datos, la frecuencia respiratoria de un adulto físicamente inactivo convertida en volumen inspiratorio (es decir, flujo de aire pulmonar total por unidad de tiempo) es de 6 l/min de CO<sub>2</sub>. La concentración en el aliento de un adulto es del 3%. A medida que aumentan los niveles de actividad, aumenta la frecuencia respiratoria, lo que da como resultado un mayor flujo de aire desde los pulmones, [14].



**Figure 3**

*Actividad humana y niveles de CO<sub>2</sub>. Fuente: [14].*

Nivel de actividad	Tasa de flujo volumétrico respiratorio	
	Litros/min	Litros/ hora
Descansando	1-6	360
Caminando	15	900
Andar en bicicleta lentamente	15	900
Caminar rápido	30	1800
Subiendo escaleras	30-40	1800-2400
Andar en bicicleta a alta velocidad	60-100	3600-6000
Correr	60-100	3600-6000

**Figure 4**

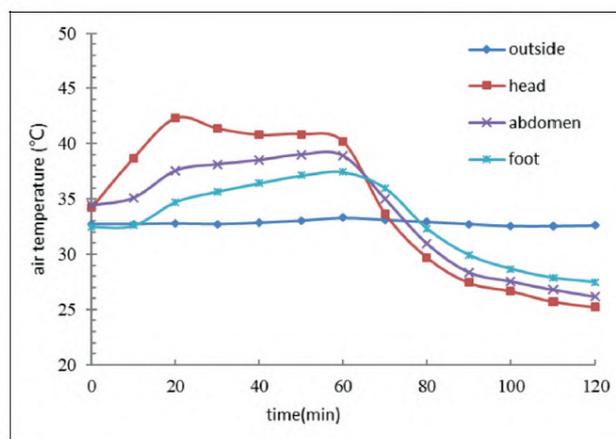
*Tasa respiratoria de adultos en función de la actividad. Fuente: Niveles de actividad humana en el interior de la cabina. Realizado por: [14].*

**Nota:** Esto da como consecuencia que se liberen grandes cantidades de dióxido de carbono a través de la boca y las fosas nasales. El dióxido de carbono permanece dentro de la cabina.

### 2.4.2. Análisis de ambiente térmico

Durante la fase de calentamiento, la temperatura del aire del conductor y del ocupante trasero se distribuye de arriba a abajo. La máxima diferencia de temperatura entre la cabeza y los pies se produce en 20 minutos, y la del conductor y el acompañante trasero son de 8,6 °C y 7,6 °C, respectivamente. La razón principal de la estratificación vertical de la temperatura es que la parte superior de la atmósfera está fuertemente influenciada por la radiación solar, [15].

Temperatura del aire de diferentes partes del conductor y del ocupante trasero en condiciones de conducción. Como puede verse, la regla de estratificación de la temperatura del aire en la cabina se corresponde básicamente con la regla sin carga. Sin embargo, mediante un análisis comparativo con condiciones sin carga, cuando los cambios de temperatura en la cabina tienden a ser planos, la diferencia máxima en la temperatura del aire entre clases en circunstancias de manejo es menor que en situaciones sin carga, [15].



**Figure 5**

*Cambio de temperatura del aire de la posición del pasajero. Fuente: [15].*

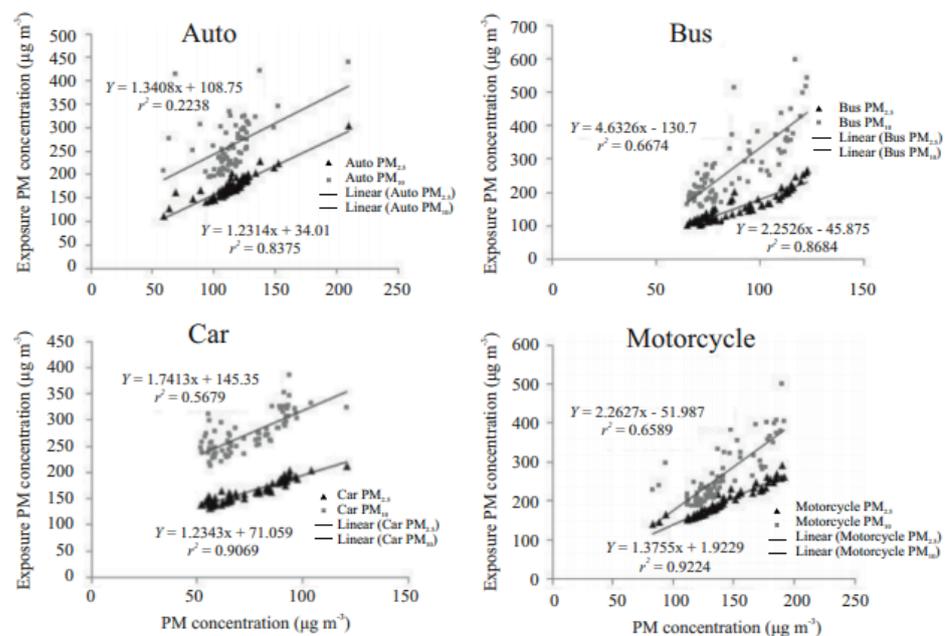
### 2.5. Concentraciones de PM influenciados por los eventos (mañana y tarde)

Los autores [16], menciona lo siguiente: "Se investigaron dos eventos específicos que impresionaron las emisiones de los contaminantes vehiculares, en la mañana y por la noche, para establecer si la exhibición acrecentaría durante estos sucesos". La radiación solar se registró con una sonda Piranómetro Almemo FLA 628S, colocada



en el automóvil durante la adquisición. Más detalles de las sondas y registradores de datos usados [17].

Las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>1</sub> redujeron elocuentemente de la mañana a la noche para todas las modalidades de desplazamiento. La investigación comparativa sugiere que cuando se observa la diferencia de medias menos el valor p, no se trata de un caso de diferencia de medias significativa. En el caso de los automóviles, la diferencia entre los valores medios de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> es de 9 y 8, respectivamente, con valores de 2.5 10 p 0.002 y 0.225, [16].



**Figure 6**

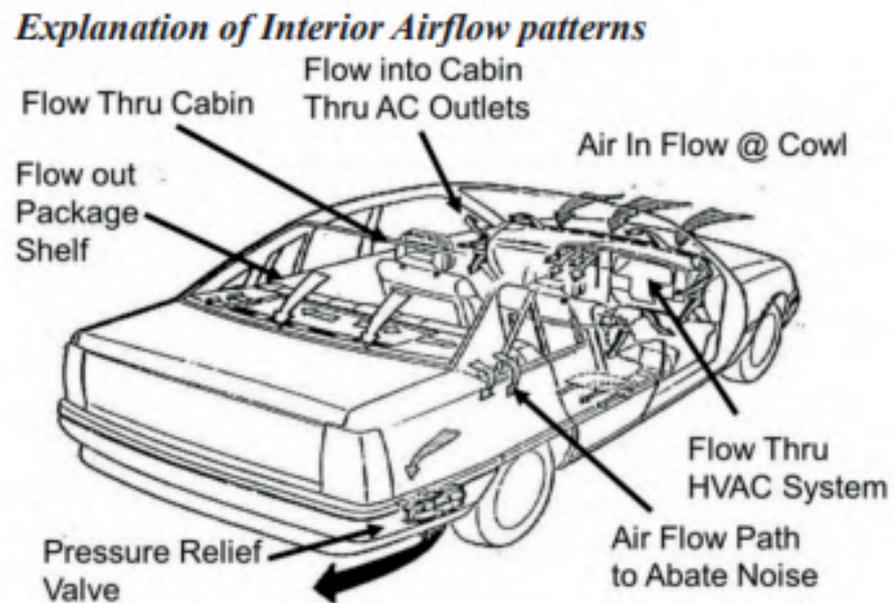
Concentraciones de PM vehiculos. Fuente: [16].

## 2.6. Explicación de los patrones de flujo de aire interior

El sistema MAC, cuando funciona con aire superficial, extrae aire a partir el área de ingreso en la base del parabrisas hacia el ventilador del sistema. En la modalidad de recirculación, los respiraderos cierran los respiraderos exteriores y el aire del compartimiento ingresa al ventilador desde el respiradero detrás del panel, [18].

Entre dos ciudades, los niveles de concentración fueron menores debido al tráfico que fluye libremente y los campos abiertos a ambos lados de la carretera resultaron en una fácil dispersión de los contaminantes emitidos [19]. A menos que el flujo de aire suficiente del ventilador del conjunto del sistema provoque una presión positiva en la

cabina, la presión en el compartimiento será negativa. Si la ventana del conductor está abierta, la presión de la cabina se volverá negativa [18].



**Figure 7**

*Ilustración de flujo en un vehículo típico. Fuente: [18].*

## 2.7. Factores de carga de enfriamiento

### 2.7.1. Infiltración

Al igual que en los edificios, las penetraciones también se producen en los vehículos porque no están completamente cerrados, ya que hay ciertos elementos del vehículo que están en la carrocería del vehículo para acceder a su interior. Según el autor [20], menciona: “La intrusión varía con la velocidad del viento/vehículo. A diferencia de los edificios, los automóviles se utilizan para formar velocidades de viento referentes y los motores logran emitir gases desiguales del aire”.

### 2.7.2. Aislamiento

Mediante consideraciones de coste y compromiso, rara vez se adiciona aislamiento para someter la carga de calor; El aislamiento acústico ordinariamente se considera bastante. El aislamiento agregado de la cubierta y la plataforma reduce la carga de enfriamiento [20]. Además, en algunos vehículos recién lanzados al mercado, tienen conductos HVAC aislados o conductos para reducir el calor durante el enfriamiento y



cuando se enciende el calentador, se perderá calor. El interior del automóvil tiene una temperatura de 48 °C en la parte delantera del convertidor catalítico, así como de 43 °C en la parte superior y lateral del vehículo.

### **2.7.3. Colores y Acristalamiento del vehículo**

En un coche, tanto los colores exteriores como interiores, así como elementos de idénticas o similares características a los cristales como las lunas, ya sean transparentes o tintadas, el parabrisas o la zaga, juegan un papel muy importante en lo que afecta a la Temperatura de inmersión de un automóvil. El autor [20], indica: “La temperatura respiratoria después de una hora de viaje puede estar entre 40 y 60 grados Fahrenheit pero a temperatura ambiente, con una superficie interna entre 50 y 100 grados Fahrenheit dependiendo de la temperatura ambiente”.

### **2.7.4. Temperaturas y humedad Ambientales**

El autor [20], menciona lo siguiente: “Se deben considerar diferentes temperaturas ambientales. Los calentadores están clasificados para funcionar a temperaturas entre -40 y 70 grados Fahrenheit”.

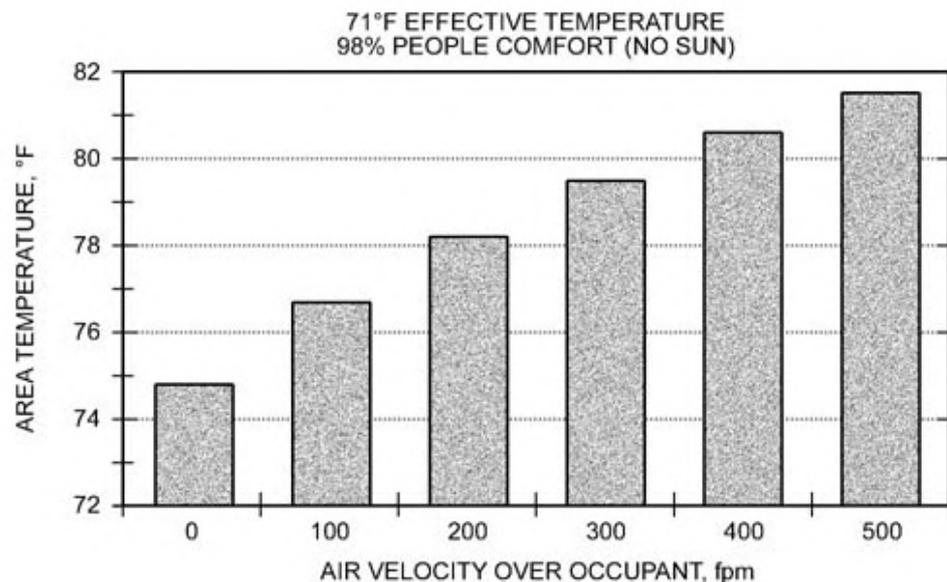
Para vehículos en un sistema de aire acondicionado del vehículo, se diagnostica entre 4°C y 37°C, aunque en otros casos la temperatura ambiente puede ser superior a 51°C, el factor de humedad relativa es la carga en el aire acondicionado del vehículo. sistema, que representa alrededor del 30% del total. Por otro lado, con los componentes dentro del vehículo, se pueden observar temperaturas de diseño más altas con el tiempo cuando el vehículo está expuesto a la luz solar directa.

## **2.8. Calidad del aire interior (IAQ) y Confort térmico.**

Los estudios demuestran que, para lograr un sistema de aire acondicionado del vehículo efectivo, se requiere un diseño adecuado para lograr el desempeño efectivo de un enfriamiento confortable, y se debe regenerar el movimiento del aire en el vehículo, disipando así el calor y el humo corporal del usuario y similares. Suponiendo una temperatura ideal de 21,67 °C sin exposición a la luz solar, el 98 % de las personas se sentiría cómoda con la velocidad del aire hacia su cuerpo [20].

Si bien el propósito de la norma permanece sin cambios especificar tasas mínimas de ventilación y otras medidas destinadas a proporcionar una calidad del aire interior (IAQ) que sea aceptable para los ocupantes humanos y que minimice los efectos adversos

para la salud, los medios para lograr este objetivo han evolucionado ([21], p. 3). Por lo tanto, el aire exhalado de nuestros pulmones contiene aproximadamente 100 veces de dióxido de carbono y luego el aire que se inhala [22].



**Figure 8**

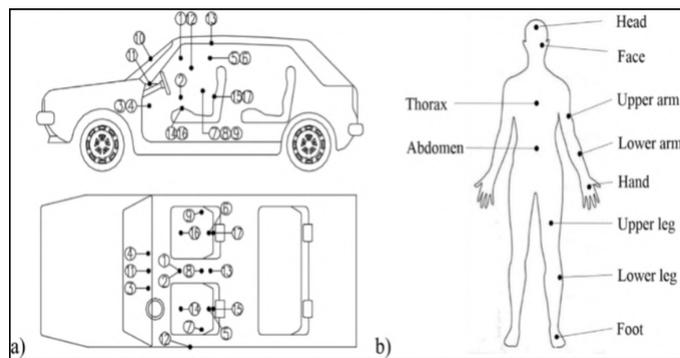
*Comodidad en función de la velocidad del aire. Fuente: [20].*

## 2.9. Temperatura del aire de suministro

El aire distribuido alrededor de los pasajeros, analizada por las diversas pruebas realizadas por los investigadores, quienes notaron que los datos obtenidos no siguieron una tendencia constante que muestra la tendencia de la heterogeneidad. El autor [23], manifiesta que: "En condiciones de estacionamiento bajo techo, la temperatura del aire y la radiación fuera del vehículo mostraron ligeros cambios, que podrían corresponder a cambios en el interior del vehículo".

En condiciones de aparcamiento exterior, la temperatura obtenida sigue la misma tendencia descendente de la temperatura superficial que las condiciones constantes interiores, pero cabe señalar que la radiación solar incide en menor porcentaje al variar el cambio de los datos obtenidos.

La temperatura [23], del aire que ingresa al habitáculo a través de los conductos de alimentación del sistema de aire acondicionado, se diseñó en base a una serie de pruebas realizadas en vehículos en construcción. En un parque, obtener datos en interiores, al aire libre. El aire de suministro cae rápidamente en los primeros 15 minutos después de que se enciende el sistema de aire acondicionado.



**Figure 9**

*Temperatura del aire de suministro. Fuente: [23].*

## 2.10. Ventilación y contaminantes en el aire

Los contaminantes transportados por el aire suelen incluir bacterias, gases de vehículos y sustancias corrosivas [11]. Las capacidades de contacto deben tenerse en cuenta al elegir materiales para la fabricación de componentes de vehículos, especialmente selladores de intercambiadores de calor. La incorporación de filtros de partículas y/o carbón para mejorar la calidad del aire interior (IAQ) es común hoy en día [20]. Casi todos los equipos de manejo de aire de los vehículos pueden superar las recomendaciones de ventilación de ASHRAE para edificios y transporte público. Norma 62.1.

En el habitáculo, la parte encargada de proporcionar el tratamiento del aire se denomina unidad de aire acondicionado, que se encarga de distribuir el aire en el habitáculo [20]. La implementación del sistema de tratamiento de aire se detalla a continuación. La válvula de admisión de aire ayuda a circular el aire hacia el exterior o hacia la cabina a través del ventilador. Como resultado, el aire pasa por el área de distribución de la unidad, donde se dirige a una o más puertas de calefacción, descongelación o ventilación.

Actualmente, la mayoría de los automóviles tienen al menos tres modos en el sistema de aire acondicionado, como calefacción, descongelación y aire acondicionado (ventilación en vehículos sin aire acondicionado). Los modos mixtos más comunes son intensidad, mezcla y ambiente.

## 3. Metodología

### 3.1. Diagrama de actividades

Para realizar del análisis del estudio más fácil se designó un diagrama de actividades específica en los puntos de prueba.

**Table 1**

*Diagrama de actividades*

<b>Ensayos</b>	Equipos y herramientas en el estudio Muestras
<b>Análisis de ensayos</b>	Normativas para emisiones de CO (GOST 33554.2015) Para las emisiones de CO <sub>2</sub> (ASHRAE 62.1-2019)
<b>Pruebas de ruta</b>	Medición de emisiones Ubicacion del Equipo Pruebas
<b>Comparación de resultados</b>	Análisis estadístico Análisis de datos de ruta

**Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022

#### 3.1.1. Analizador de gases IAQ TESTO 440

El testo 440 combina las ventajas de un práctico analizador portátil con menús de medición intuitivos y una amplia gama de sondas para climatización. El medidor para climatización testo 440 puede combinarse con una gran selección de sondas digitales, los testo Smart Probes o diversas sondas de temperatura de Testo [24].

Los sensores verifican las condiciones ambientales, por ejemplo, en oficinas, naves de producción o almacenes. Con el cable unido al mango, la sonda de CO<sub>2</sub> se puede conectar al analizador. La fecha de los valores medidos se registra de manera confiable gracias a la entrada real del período de medición y el período. Gracias a estas fechas es posible evaluar cambios en la calidad del aire interior, [24].



**Figure 10**

*Sonda de CO<sub>2</sub>. Fuente: [24].*

Usando un cable de mango fijo, la sonda de dióxido de carbono se conecta al dispositivo. Especialmente práctico: guarde los valores medidos individuales directamente en el dispositivo presionando el botón en el mango. El menú de medición claramente organizado (en el dispositivo) para mediciones a largo plazo permite una operación intuitiva El historial de medición se almacena de manera confiable gracias a la cómoda



**Table 2**

Equipo IAQ TESTO 440



	Elemento		Elemento
1	Ajustes	2	Confirmar entrada/ selección
3	Menú	4	Testo universal connector /TUC) para la conexión de sondas de cable
5	Conexión tipo K termopar	6	Volver
7	Navegación	8	Dispositivo ON / OFF
9	Conexión micro USB para transferencia de datos	10	Conexión para la medición de presión diferencial (+/- identificación en la parte trasera del instrumento, solo testo 440 dP)

Realizado por: Parra Ángel, Taguada Luis, 2021

entrada de tiempo y período. Gracias a estas fechas, es posible evaluar cambios en las concentraciones de dióxido de carbono, [24].



**Figure 11**

Sonda de CO. Fuente: [24].

### 3.1.2. Número de pruebas

De las emisiones de gases de CO2 artificial y partículas de CO2 dentro del habitáculo se realizó utilizando los tres modos del sistema de climatización del vehículo propuestos para el estudio, [25]. Haciendo uso de sus diversas funciones como apagado, recirculación de aire y regeneración de aire y todos los tiempos de recolección de



datos se realizaron durante 10 min. Con 3 experimentos en cada puesto se realizaron un total de 30 min por cada puesto de donde se obtuvieron los valores medios, por lo que para las 3 variables el tiempo estimado es de 1 h 30 min.

Las mediciones totales que se tomaron son de 4 horas y 30 minutos. En este estudio se obtuvieron valores de CO<sub>2</sub> y concentración de CO<sub>2</sub> en ppm mediante una sonda de CO<sub>2</sub>, lo que facilitó la recopilación de datos básicos para determinar la calidad del aire y los gases, como presión, humedad relativa y temperatura. Facilitar la evaluación de CO<sub>2</sub> y concentraciones de CO<sub>2</sub>, y la determinación del efecto sobre la calidad del aire dentro del compartimiento de pasajeros de un autobús interurbano ecuatoriano.

Modo ventilación	Ubicación	Tiempo medición	Nº muestras	Tiempo total ubicación	Tiempo total medición
Off	Delantera	10 min c/u	3 c/u	30 min c/u	1 hora 30 min
	Media				
	Ultima				
Recirculación	Delantera	10 min c/u	3 c/u	30 min c/u	1 hora 30 min
	Media				
	Ultima				
Renovación	Delantera	10 min c/u	3 c/u	30 min c/u	1 hora 30 min
	Media				
	Ultima				
<b>Total</b>					4 horas 30 min

**Figure 12**

*Número de pruebas para el análisis. Realizado por:* Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

## 3.2. Análisis de ensayos

### 3.2.1. Normativa GOST 33554-2015.

El estándar actual GOST 33554-2015, desarrollado en la Federación Rusa y de aplicación obligatoria en los países de la Unión Aduanera, es una parte integral de los reglamentos técnicos de seguridad para vehículos de ruedas, que en la práctica simula la inspección de los reglamentos de la UNECE. Y tiene los mismos defectos.

El estándar de la GOST 33554-2015 para la calidad del aire en el interior del vehículo deben especificarse como constantes, lo que puede llevarse a cabo en condiciones estándar. Con parámetros específicos del entorno y los medios de prueba, puede ser realizado y reproducido por diferentes laboratorios de prueba y esta es su ventaja, [26].



Especifica los límites y métodos para probar y medir los contaminantes atmosféricos en el compartimiento de pasajeros (en adelante, cabina, cabina, compartimiento de pasajeros) de los vehículos. Esta norma se aplica a los vehículos que utilizan un motor de combustión interna, con una cabina interior cerrada y una velocidad de diseño de al menos 27 km/h. [27].

### 3.2.2. Normativa ASHRAE standard 62.1-2019.

La norma 62.1 ha sufrido cambios significativos a lo largo de los años, lo que refleja una cantidad cada vez mayor de conocimiento, experiencia e investigación relacionada con la ventilación y la calidad del aire. Aunque el propósito de la norma no ha cambiado, es establecer índices mínimos de ventilación y otras medidas para brindar una calidad de aire interior (IAQ) aceptable a los ocupantes y reducir los efectos adversos para la salud. La norma adoptó un enfoque regulatorio para la ventilación al definir los volúmenes de aire exterior mínimos y recomendados para lograr una calidad de aire interior aceptable para muchos espacios interiores. Actualmente, este estándar cubre tres procesos de diseño de ventilación: el proceso IAQ, el proceso de frecuencia de ventilación y el proceso de ventilación natural, [21].

**Table 3**

*Diagrama de actividades.*

Normativa Calidad de aire interior	Contaminante	Valor estándar recomendado
Normativas Interestatal Rusa CO (GOST 33554.2015)	Monóxido de carbono (CO)	5 ppm
ANSI ASHRAE 62.1-2019)	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	700-100 ppm

**Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022

## 3.3. Pruebas de ruta

### 3.3.1. Medición de emisiones

Asumiendo que, como condición de investigación para activar el sistema de aire acondicionado del vehículo, y mantener la temperatura óptima dentro del habitáculo, el confort térmico se puede definir como el estado mental que muestra satisfacción con el ambiente térmico y se evalúa a través de una valoración subjetiva. Lograr el confort térmico para los humanos a temperaturas ambiente entre 19 y 28 grados centígrados, [28].

**Table 4**

*Funciones del sistema de climatización.*

Función	Nomenclatura
Apagado	(OFF)
Recirculación de aire	(REC)
Renovación de aire	(REN)

**Fuente:** [24].

### 3.3.2. Ubicación del equipo

El analizador de gas digital TESTO 440 IAQ se utiliza para medir el dióxido de carbono y las emisiones de monóxido de carbono. Con la ayuda de un trípode como soporte para mantener el contador de partículas en su lugar durante la recolección de datos. El contador de partículas se coloca a una altura de 1,1 m aproximadamente sobre el suelo, que se considera el nivel de respiración del pasajero.

Las concentraciones de partículas de PM1, PM2.5 y PM10 se midieron continuamente mientras el autobús se movía a lo largo de la ruta designada. Los autobuses circulan a una velocidad inferior a 50 km/h durante el trayecto [10].

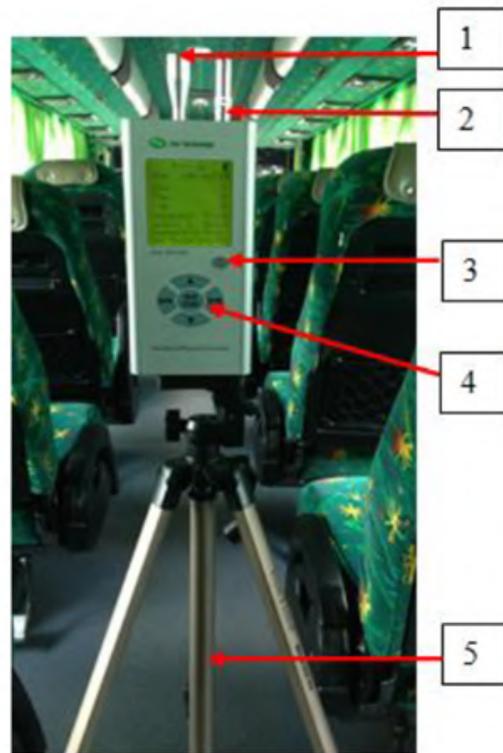
En la figura 3-3. se muestra la ubicación de cada parte del equipo utilizado para la toma de mediciones, las cuales son:

1. Toma de aire;
2. Sonda de temperatura y humedad relativa;
3. Interruptor de alimentación;
4. Panel de control;
5. Trípode.

### 3.3.3. Ubicación del equipo en el interior del habitáculo

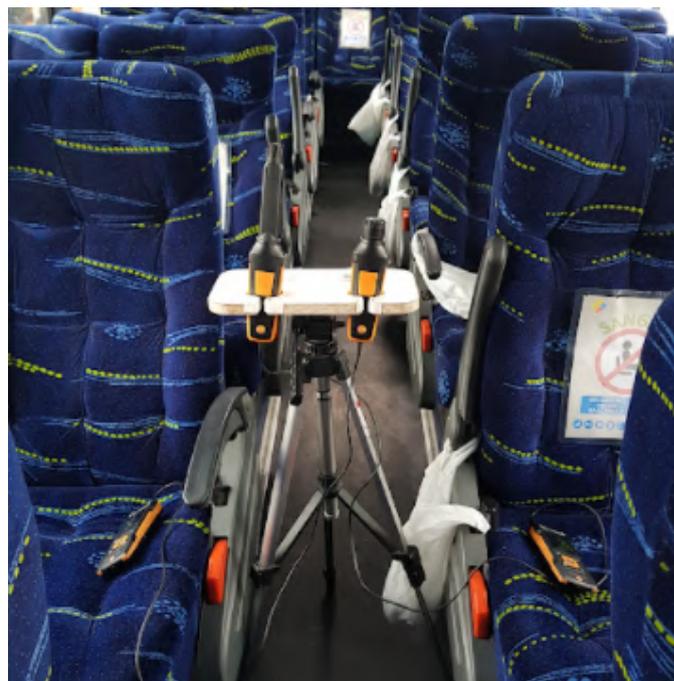
Para el presente estudio se recolecto las muestras por medio del analizador de gases TESTO 440, facilitando la medición de concentraciones de monóxido de carbono y dióxido de carbono, en tres posiciones diferente en el interior del habitáculo como:

- Delantera
- Media
- Final



**Figure 13**

*Ubicación del equipo. Fuente: [10].*



**Figure 14**

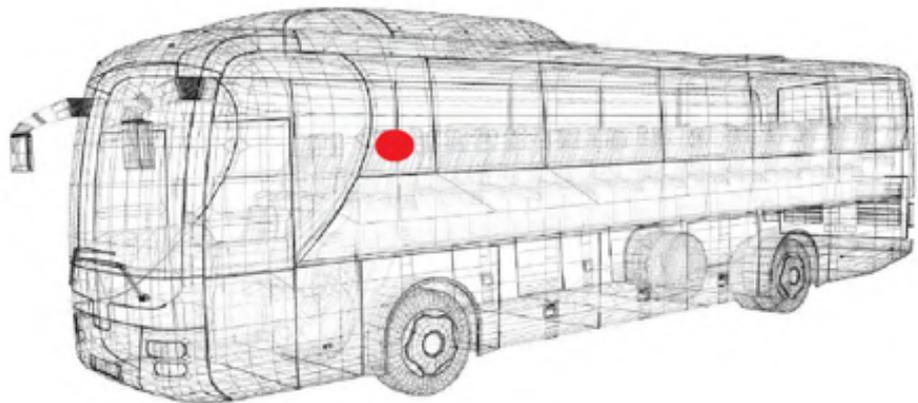
*Ubicación del equipo IAQ TESTO 440. Realizado por: Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.*

**Table 5**

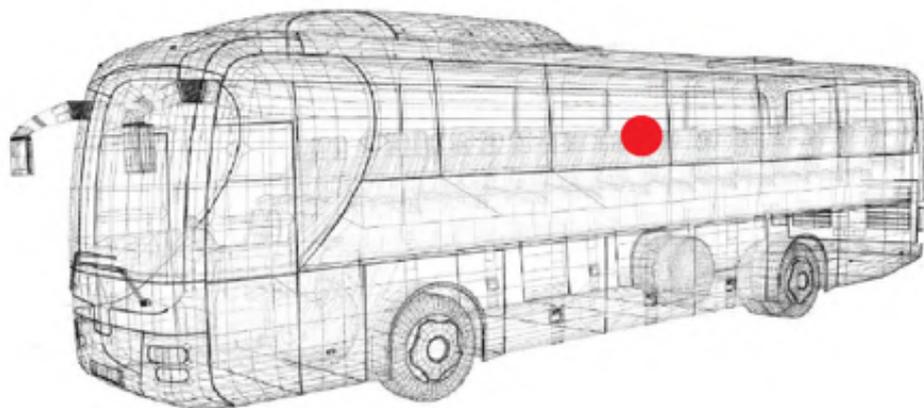
*Nomenclatura posición del habitáculo.*

Posición	Nomenclatura
Delantera	D
Media	M
Final	F

**Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

**Figure 15**

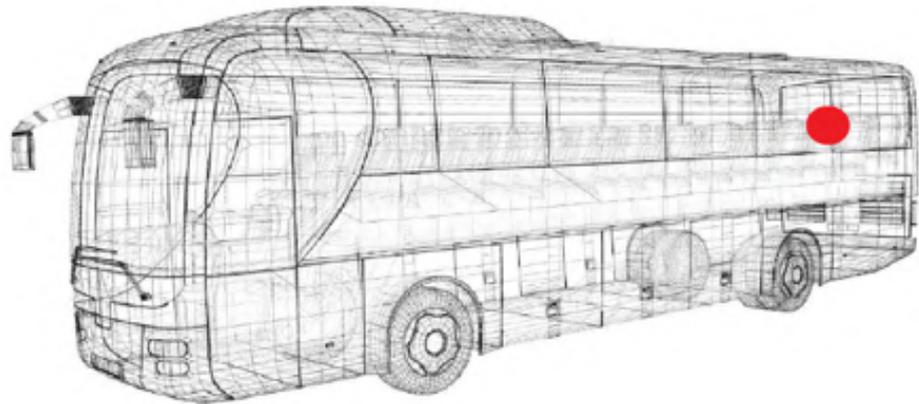
*Ubicación parte delantera (D). Realizado por: Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.*

**Figure 16**

*Ubicación parte media (M). Realizado por: Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.*

### 3.3.4. Montaje del equipo Testo 440 en el interior del autobús

Se realizó la adquisición de un trípode en el cual ayudaría para sostener a los equipos de medición de gases, especialmente a las sondas de monóxido de carbono y dióxido de carbono, también para conseguir la altura adecuada para la realización de las muestras.



**Figure 17**

*Ubicación parte final (F).* **Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

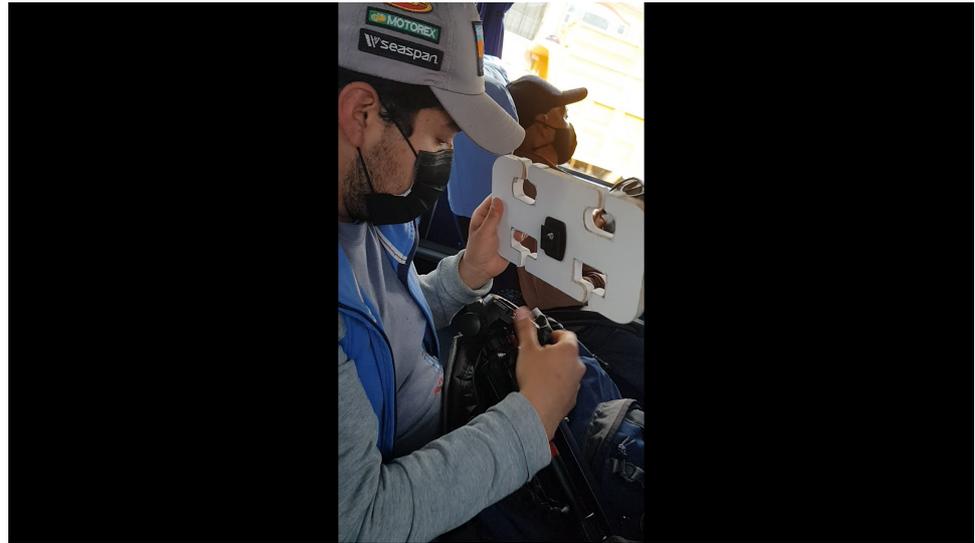


**Figure 18**

*Trípode.* **Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

Se fabricó en madera una base y tallada a la medida de los equipos especialmente para las sondas de monóxido de carbono y dióxido de carbono, así durante el viaje estén en reposo y no se muevan para que así no exista muestras erróneas

Una vez situado los equipos y las sondas en la base de madera y ajustada en el trípode, se procede a colocarse a la altura deseada mediante las regulaciones que



**Figure 19**

*Instalación de la base de madera al trípode. Realizado por:* Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

posee el trípode se puede instalar en diferentes alturas para la recolección de muestras, en este caso la altura debe estar en 1,1 metros



**Figure 20**

*Verificación de la altura del trípode. Realizado por:* Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

Finalmente, que los equipos están seguros en la base de madera y esta base está sujeta al trípode se realiza a ubicarse en el interior del habitáculo del autobús en sus diferentes posiciones ya sea delantera, media o final



**Figure 21**

*Ubicación de los equipos en el interior del autobús. Realizado por: Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.*

### 3.3.5. Recolección de muestras en las diferentes posiciones en el interior del habitáculo del autobús

Para cada recolección o prueba consta de 3 muestras individuales, de 10 minutos cada una, y la base de datos con 1 segundo de diferencia, con las condiciones específicas de funcionamiento del sistema de aire acondicionado, el sistema de acondicionamiento se considera en el siguiente modo: modalidad inactiva (OFF), renovación y recirculación de aire, el horario de recolección de muestras de emisiones de gases de CO<sub>2</sub> y CO es en la mañana y tarde.

Dicha consideración se suministró debido a que en el sitio de inicio de la recolección de datos las condiciones climáticas son desfavorables debido a que se encuentra a una mejor altitud que el nivel del mar, lo que dificulta la recolección de datos. modos, causando incomodidad y molestias Cumplimiento entre diferentes usuarios.



**Figure 22**

*Toma de muestras posición Delantera (D). Realizado por:* Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.



**Figure 23**

*Toma de muestras posición Delantera (D). Realizado por:* Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

Después de esto procedimos a colocar los sensores en el vehículo.

El equipo se lo ubico teniendo en cuenta las diferentes ubicaciones al interior del habitáculo, como son: inicio, medio y final del habitáculo de pasajeros del autobús.



**Figure 24**

*Toma de muestras posición Media (M). Realizado por:* Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.



**Figure 25**

*Toma de muestras posición Media (M). Realizado por:* Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

### 3.4. Ruta de recorrido

En cada bus en el que se realizan los datos de las distintas pruebas se sigue el camino marcado por la Cooperativa de Camiones Interurbanos, de esta forma los datos obtenidos son finalmente analizados de acuerdo a los términos y condiciones del estudio propuesto de condiciones de recolección de datos para cada uno. observando los puntos de partida y llegada de las unidades de transporte, que fueron realizados



**Figure 26**

*Toma de muestras posición Final (F). Realizado por:* Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.



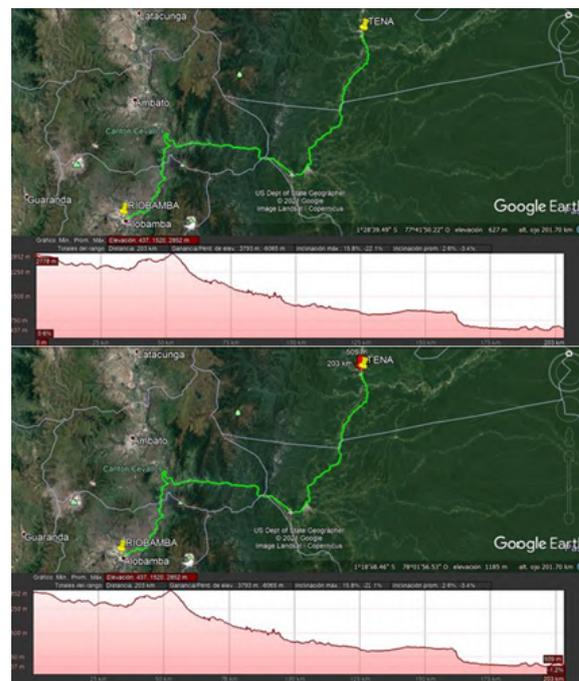
**Figure 27**

*Toma de muestras posición Final (F). Realizado por:* Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

en diferentes horarios, por la mañana se inició la toma de datos con el recorrido del terminal terrestre de Riobamba, siendo el terminal terrestre de Tena el lugar de llegada.

Las pruebas consistieron en 3 muestras individuales, de 10 minutos cada una, con la base de datos separada por 1 segundo, con las condiciones de operación configuradas para el sistema de aire acondicionado del vehículo, patrones de parada, ciclo y actualización, para el horario de la mañana, para el horario de la tarde, se consideran las condiciones de funcionamiento del sistema de aire acondicionado en el siguiente orden, Renovación, Recirculación y finalmente apagado.

En el lugar de inicio de la toma de datos, las condiciones climáticas no son favorables por estar a una altitud mejor que el nivel del mar, lo que dificulta la toma de datos de los modos OFF y Recirculación, lo que conlleva a la causa de molestias e incumplimientos en los diferentes usuarios.



**Figure 28**

*Ruta seleccionada para las pruebas. Fuente: Google Maps.*

### 3.5. Altimetría de la ruta

Elevación máxima de 2752 msnm.

Elevación mínima de 515 msnm.

Distancia: 215 km (Riobamba - Penipe- Baños – Puyo – Tena).



**Figure 29**

*Altimetría seleccionada para las pruebas. Fuente: Google Maps.*

### 3.6. Análisis estadístico

Partiendo de los datos obtenidos con el analizador de gases TESTO 440, que facilita la medida de las concentraciones de monóxido de carbono y dióxido de carbono, es necesario un estudio estadístico para determinar si cada medida, bajo las mismas condiciones y periodos de funcionamiento, tiene un funcionamiento idéntico o similar.

Para la cual, se aplicó pruebas de significación, permitiendo detectar los errores sistemáticos que facilitan la toma, de decisión objetiva si la diferencia entre dos medias es significativa o si ella puede ser considerada como producto de variaciones aleatoria.

### 3.7. Método de análisis estadístico

Para lograr los resultados esperados se utiliza la estadística descriptiva, ya que de esta forma se pueden determinar las respuestas de manera oportuna y comprensible para el lector. En su estudio se utilizará análisis estadístico mediante el método ANOVA.

Se aplicará un análisis de varianza simple, [29]. Este análisis se realiza sobre la base de todos los datos obtenidos en las distintas pruebas realizadas, con el fin de obtener:

- Revisión y demostración de los datos
- Tabulación de los datos obtenidos

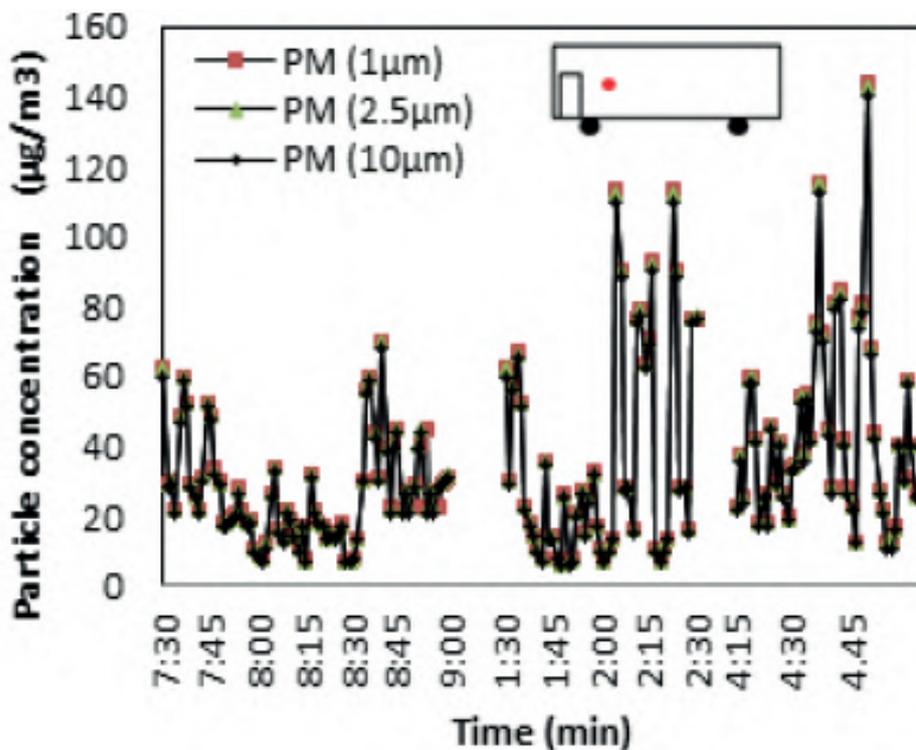


Figure 30

Concentración de partículas, sección Delantera del habitáculo. Fuente: [10].

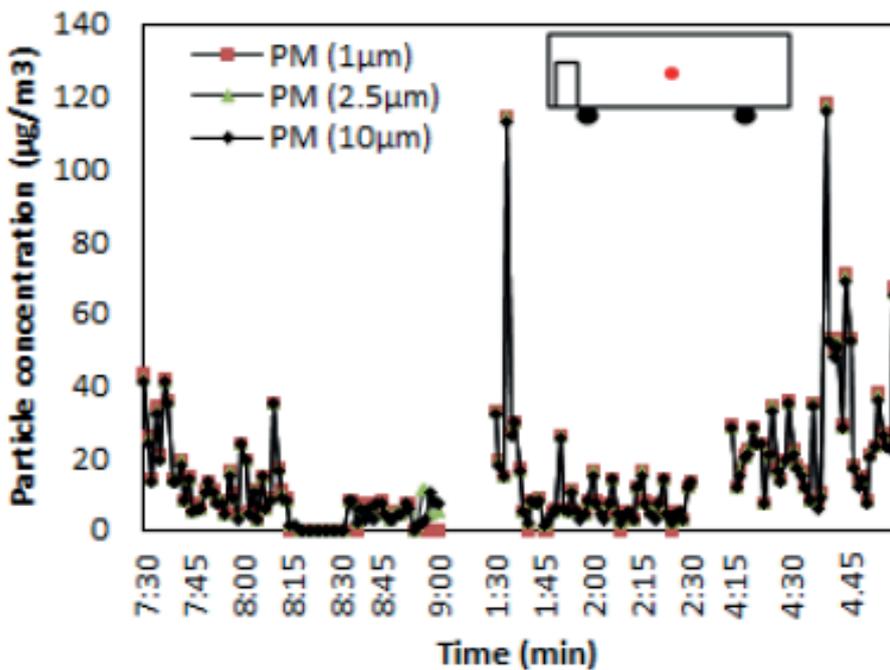
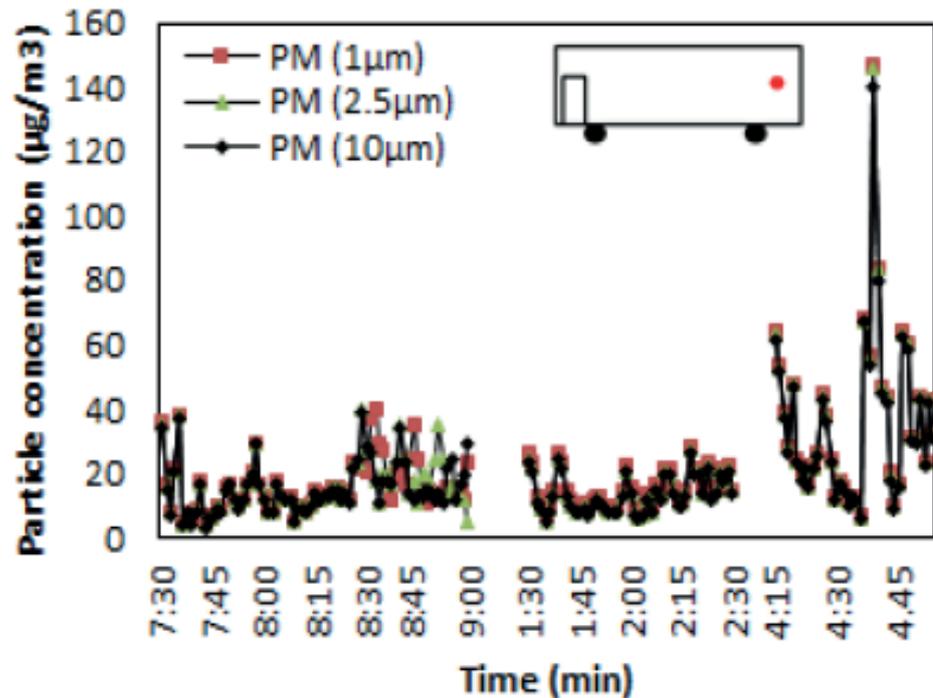


Figure 31

Concentración de partículas, sección Intermedia del habitáculo. Fuente: [10].



**Figure 32**

Concentración de partículas, sección Posterior del habitáculo. **Fuente:** [10].

- Obtención de porcentajes
- Interpolación de datos

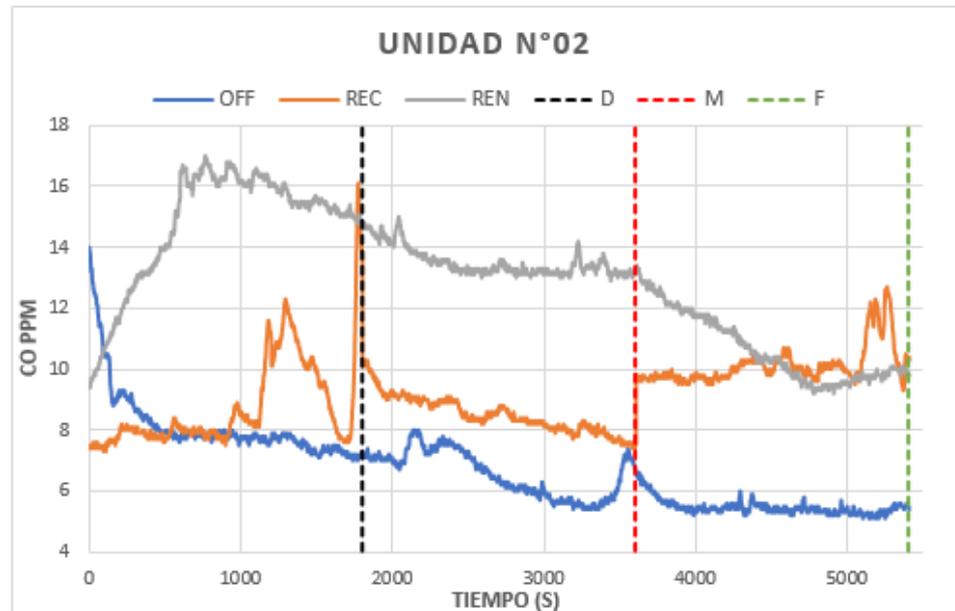
## 4. RESULTADOS

### 4.1. Representación gráfica de CO

Es útil cuando hay más de dos grupos que necesitan ser comparados, cuando hay mediciones repetidas en más de dos ocasiones, cuando los sujetos pueden variar en una o más características que afectan el resultado y se necesita ajustar su efecto o cuando se desea analizar simultáneamente el efecto de dos o más tratamientos diferentes [29].

Se muestran diagramas de dispersión de los datos proporcionados a las emisiones de gases de CO<sub>2</sub> correspondientes a unidades de transporte interprovincial entre ciudades ecuatorianas. Cada gráfico muestra las medidas tomadas en 3 tipos de ubicaciones: delantera (D), Media (M) y Final (F), dentro del compartimiento de pasajeros de un autobús interurbano ecuatoriano. Los datos tabulares producen valores promedio, lo que facilita la representación gráfica.

#### 4.1.1. Unidad con alto nivel de CO



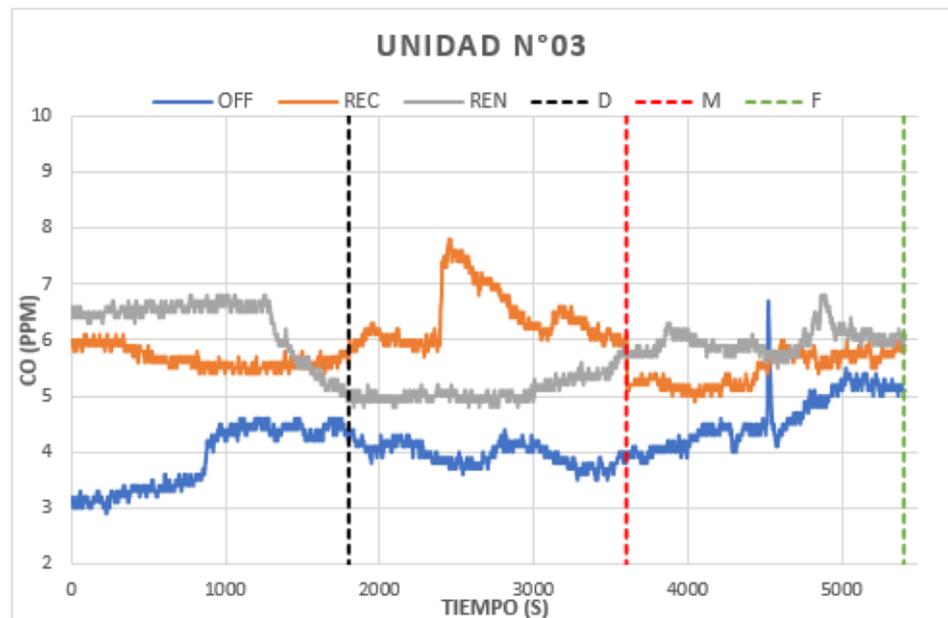
**Figure 33**

Concentración de partículas de Co en unidad 02. Realizado por: Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

**Nota:** En la recolección de datos en el interior del habitáculo del autobús N°02, mostrando como resultados en la función del sistema de climatización automotriz en OFF, en la parte delantera del habitáculo se obtiene un valor alto de 14,5 ppm y va a descender continuamente hasta los 7 ppm, en la parte media del habitáculo va ascender y descender constantemente en un rango de 8 a 5 ppm hasta llegar a los 7,5 ppm y en la parte final del habitáculo se mantiene constante entre 5 a 6,5 ppm. En la función de recirculación de aire se observa que en la parte delantera del habitáculo la gráfica asciende de los 7 ppm hasta obtener un pico alto de 17 ppm, mientras tanto en la parte del medio del habitáculo la gráfica descende entre valores de 10 ppm a 7 ppm, en la parte final de habitáculo comienza desde 9 ppm asciende hasta un pico alto de 12 ppm.

#### 4.1.2. CO Unidad con bajo nivel de CO

**Nota:** Mediante la recolección de datos en el interior del habitáculo del autobús N°03, mostrando como resultados en la función del sistema de climatización automotriz en OFF, en la parte delantera del habitáculo se obtiene un valor de 3,5 ppm ascendiendo continuamente hasta los 5 ppm, en la parte media del habitáculo va ascender y



**Figure 34**

Concentración de partículas de Co en unidad 03. Realizado por: Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

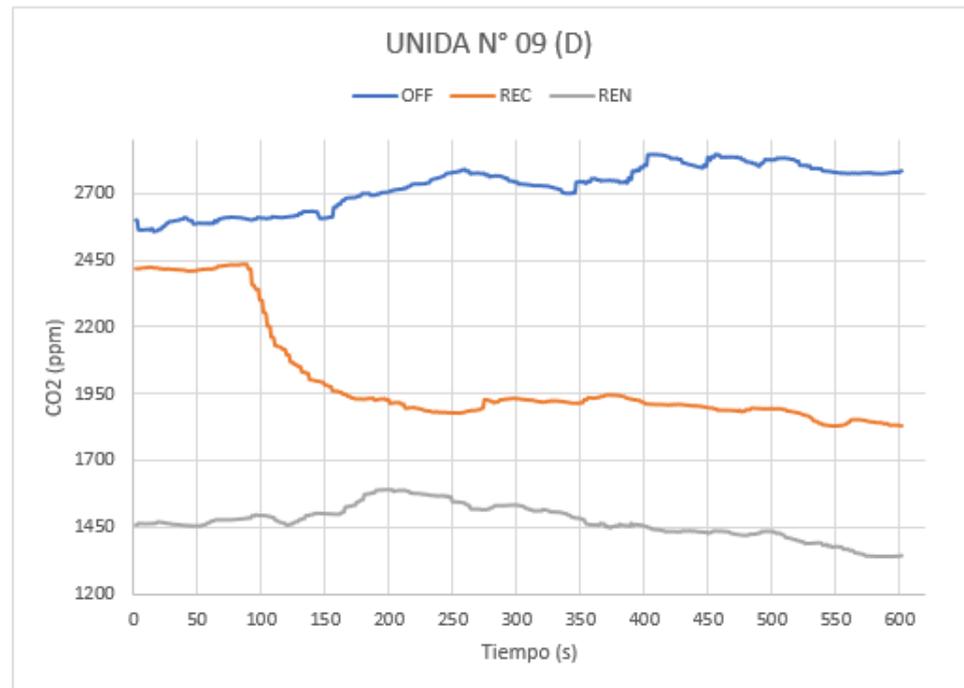
descender constantemente en un rango de 4 y 5,5 ppm hasta llegar a los 4 ppm y en la parte final del habitáculo asciende constantemente desde los 3,9 ppm hasta los 5,5 ppm obteniendo un pico alto de 6,5 ppm. Y en la función de renovación en la parte delantera del habitáculo va desde los 7 ppm ascendiendo constantemente y desciende hasta los 5,5 ppm, en la parte media del habitáculo va ascendiendo constantemente de los 5 ppm hasta los 6 ppm y en la parte final del habitáculo asciende y desciende constantemente desde los 5 ppm hasta los 6,2 ppm obteniendo un pico alto de 7 ppm.

## 4.2. Representación gráfica del CO<sub>2</sub>

Los gráficos de dispersión de datos proporcionados, a las concentraciones de emisión de gases de CO<sub>2</sub>, corresponden a las unidades de transporte interprovincial entre ciudades ecuatorianas. Cada gráfico muestra las medidas tomadas en 3 tipos de ubicaciones: Delantera (D), Media (M) y Final (F), dentro del compartimento de pasajeros del autobús terrestre.

### 4.2.1. Unidad con alto nivel de CO<sub>2</sub> Delantera (D)

**Nota:** La gráfica de la ubicación Delantera, de los datos obtenidos en las pruebas realizadas, mostrando curvas variables como en el caso de la condición apagado, donde, se



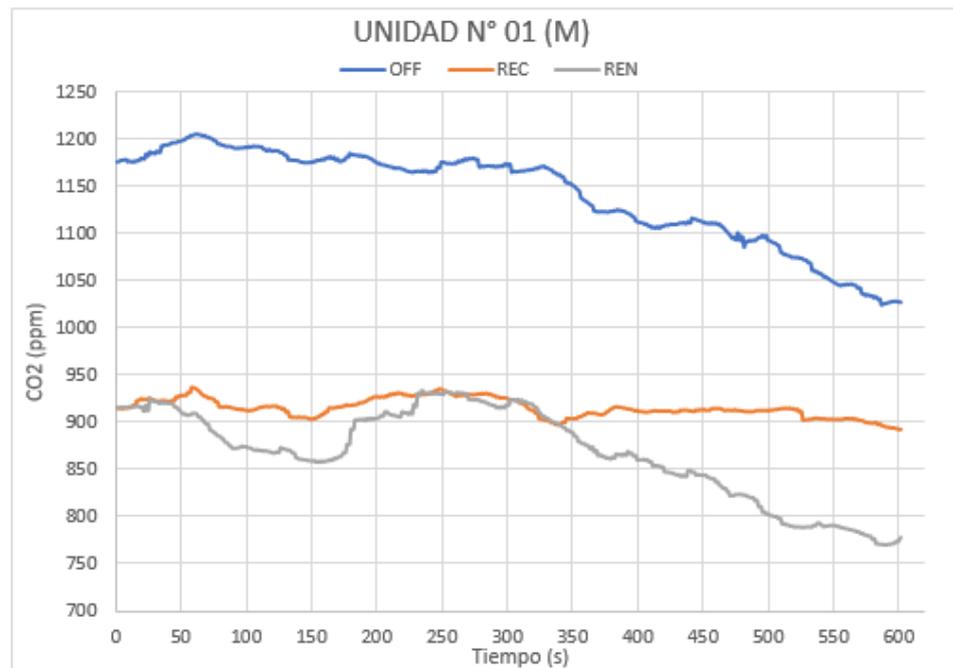
**Figure 35**

*Comparativa de niveles de CO<sub>2</sub> en Unidad N° 09 (D).* **Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

obtuvieron valores altos de CO<sub>2</sub>, en un rango iniciando aproximadamente en 2400 a 3000 de CO<sub>2</sub>. En la condición de Recirculación, se obtiene valores en un rango más reducido, donde, como valores máximos se obtuvieron de 2300 y valores más bajos fue de 1900 de CO<sub>2</sub>. En la condición de Renovación, se obtiene valores en un rango, donde, como valores máximos se obtuvieron de 1700 y valores más bajos fue de 1300 de CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.2. Unidad con alto nivel de CO<sub>2</sub> Media (M)

**Nota:** La representación gráfica de la ubicación Mitad, de los datos obtenidos en las pruebas realizadas, mostrando curvas variables como en el caso de la condición apagado, donde, se obtuvieron valores altos de CO<sub>2</sub>, en un amplio rango iniciando aproximadamente en 1200 a 1050 de CO<sub>2</sub>. En la condición de Recirculación, se obtiene valores en un rango más reducido, donde, como valores máximos se obtuvieron de 900 y valores más bajos fue de 850 de CO<sub>2</sub>. En la condición de Renovación, se obtiene valores en un rango amplio, donde, como valores máximos se obtuvieron de 900 y valores más bajos fue de 750 de CO<sub>2</sub>.



**Figure 36**

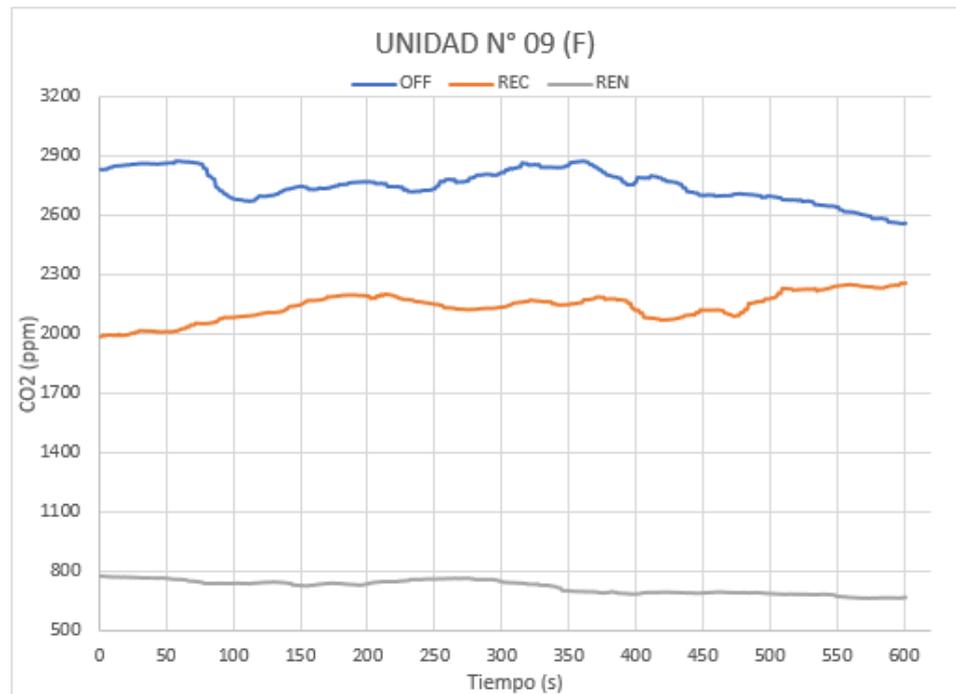
*Comparativa de niveles de CO<sub>2</sub> en Unidad N° 01. Realizado por:* Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

#### 4.2.3. Unidad con alto nivel de CO<sub>2</sub> Final (F)

**Nota:** Finalmente la gráfica de la ubicación Final, de los datos obtenidos en las pruebas realizadas, mostrando curvas variables como en el caso de la condición apagado, donde, se obtuvieron valores altos de CO<sub>2</sub>, en un rango iniciando aproximadamente en 2800 a 2900 de CO<sub>2</sub>. En la condición de Recirculación, se obtiene valores en un rango más reducido, donde, como valores máximos se obtuvieron de 2200 y valores más bajos fue de 2100 de CO<sub>2</sub>. En la condición de Renovación, se obtiene valores en un rango, donde, como valores máximos se obtuvieron de 850 y valores más bajos fue de 700 de CO<sub>2</sub>.

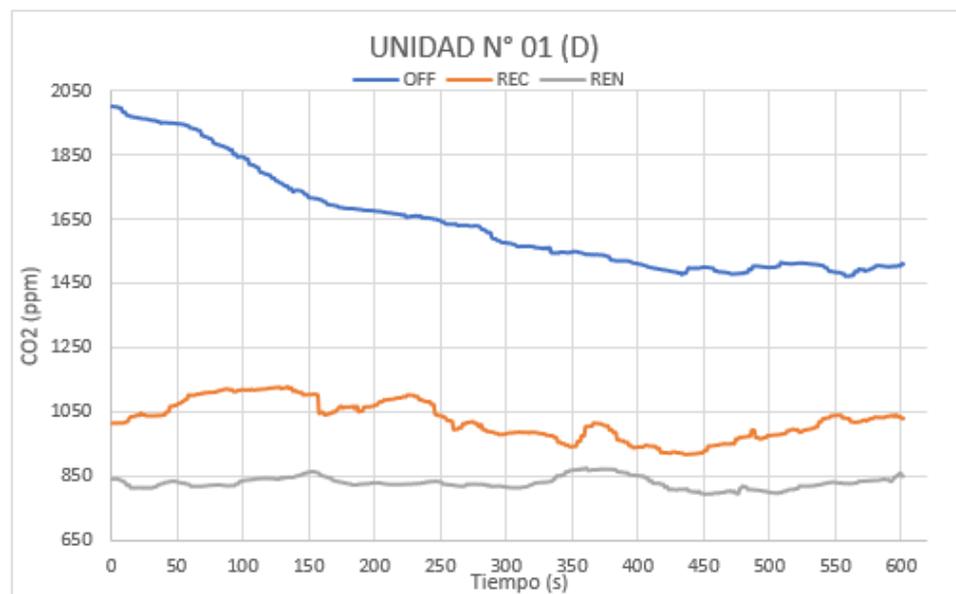
#### 4.2.4. Unidad con bajo nivel de CO<sub>2</sub> delantera (D)

**Nota:** La representación gráfica de los datos obtenidos durante las pruebas realizadas muestra que en estado apagado (OFF) existen valores elevados en un amplio rango de 1400 a 2000 concentraciones de CO<sub>2</sub> (ppm). En condiciones cíclicas (REC), estos son valores que van desde 1200 a 900 concentraciones de CO<sub>2</sub> (ppm). Bajo Condiciones de Actualización (REN), estos son valores entre 850 y 750 concentraciones de CO<sub>2</sub> (ppm).



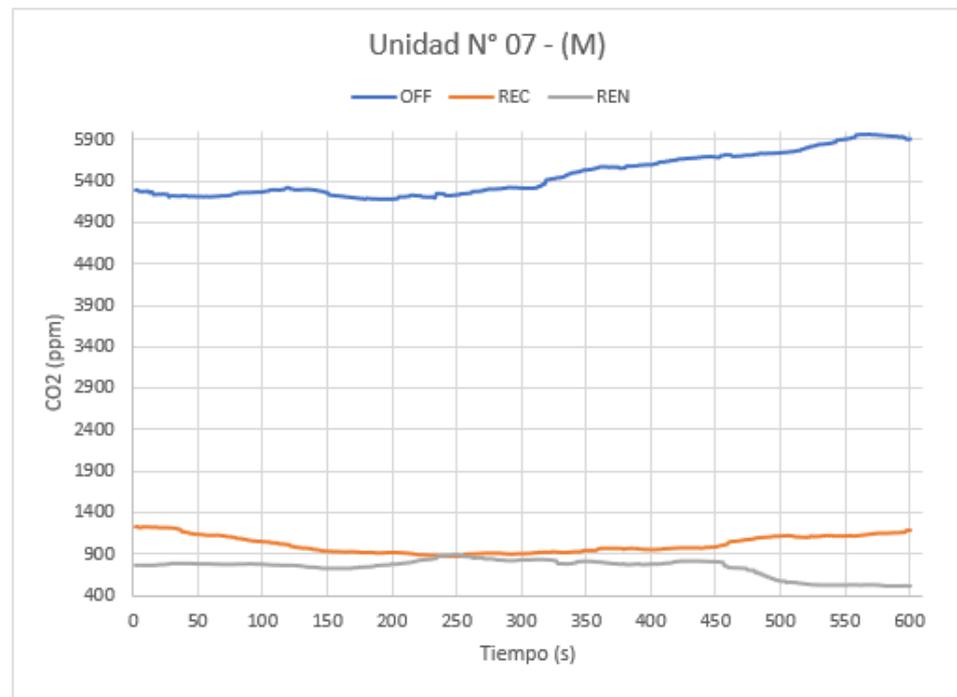
**Figure 37**

Comparativa de niveles de CO2 en Unidad N° 09 (F). **Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.



**Figure 38**

Comparativa de niveles de CO2 en Unidad N° 01 (D). **Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.



**Figure 39**

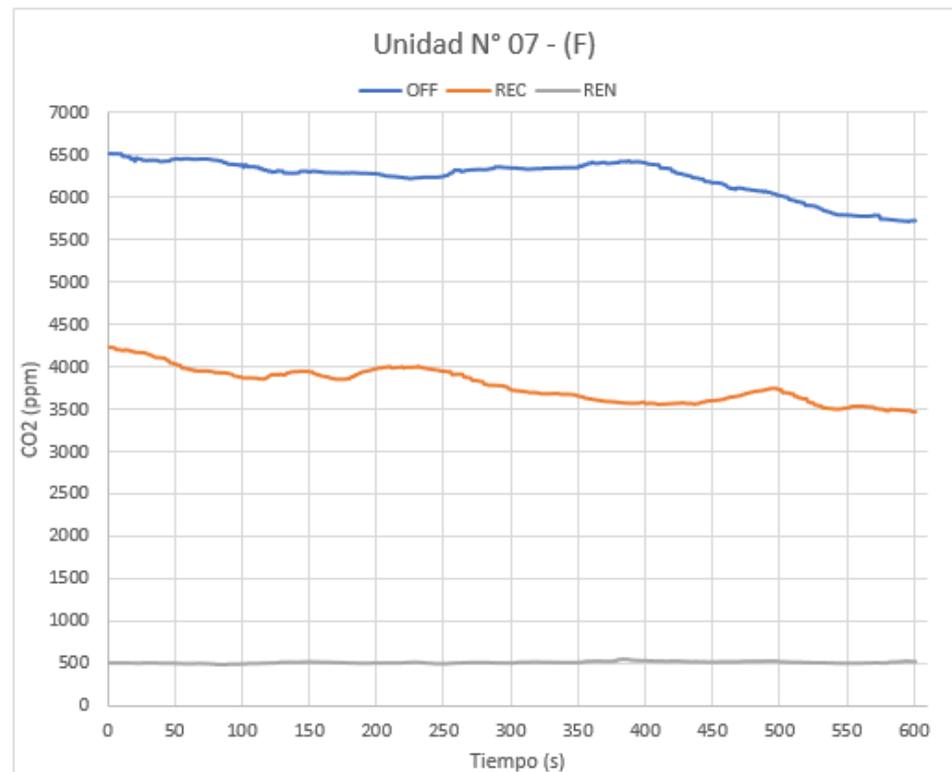
Comparativa de niveles de CO<sub>2</sub> en Unidad N° 07 (M). **Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

#### 4.2.5. Unidad con bajo nivel de CO<sub>2</sub> Media (M)

**Nota:** Mediante la representación gráfica de la ubicación Medio, de los datos obtenidos en las pruebas realizadas, mostrando curvas variables como en el caso de la condición apagado, donde, se obtuvieron valores altos de CO<sub>2</sub>, en un rango iniciando aproximadamente en 5100 a 3600 de CO<sub>2</sub>. En la condición de Recirculación, se obtiene valores en un rango más reducido, donde, como valores máximos se obtuvieron de 1300 y valores más bajos fue de 975 de CO<sub>2</sub>. En la condición de Renovación, se obtiene valores en un rango, donde, como valores máximos se obtuvieron de 1500 y valores más bajos fue de 400 de CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.6. Unidad con alto bajo de CO<sub>2</sub> Final (F)

**Nota:** Finalmente la representación gráfica de la ubicación Final, de los datos obtenidos en las pruebas realizadas, mostrando curvas variables como en el caso de la condición apagado, donde, se obtuvieron valores altos de CO<sub>2</sub>, en un rango iniciando aproximadamente en 6300 a 5700 de CO<sub>2</sub>. En la condición de Recirculación, se obtiene valores en un rango más reducido, donde, como valores máximos se obtuvieron de



**Figure 40**

Comparativa de niveles de CO<sub>2</sub> en Unidad N° 07 (F). **Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

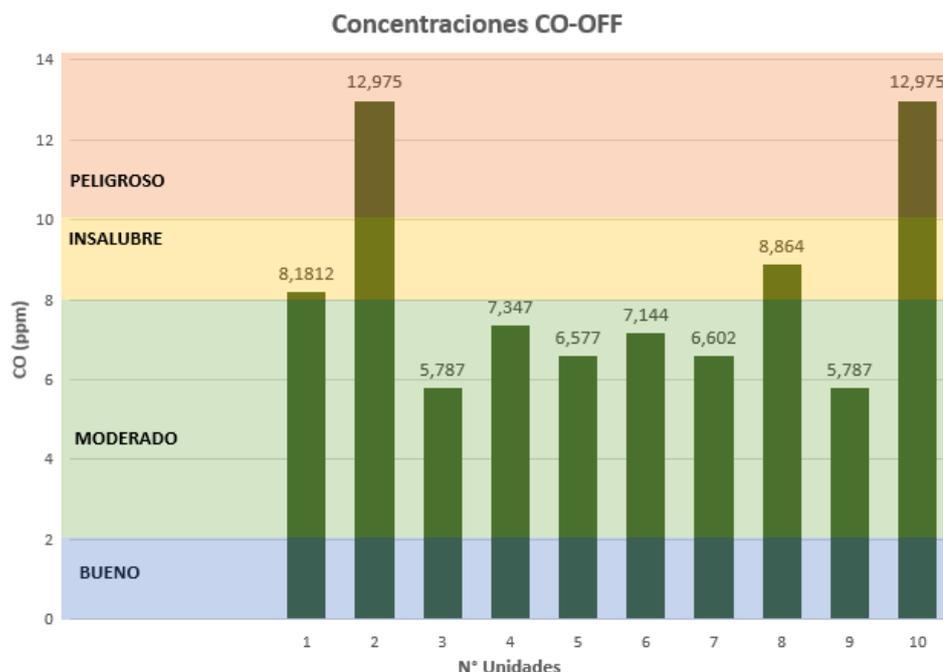
4300 y valores más bajos fue de 3800 de CO<sub>2</sub>. En la condición de Renovación, se obtiene valores en un rango, donde, como valores máximos se obtuvieron de 550 y valores más bajos fue de 460 de CO<sub>2</sub>.

### 4.3. Graficas de barras de CO

Una vez dentro, los contaminantes transportados por el aire pueden permanecer durante períodos prolongados al recircular el aire [30]. La configuración da como resultado mediciones de CO más consistentes que las otras dos configuraciones. Sin embargo, el nivel de contaminación inicial puede auto contaminarse al inicio del viaje en este caso, la vigilancia se inició desde la salida del aparcamiento subterráneo, [30].

#### 4.3.1. CO Apagado (OFF)

**Nota:** Los datos promedio de las mediciones de CO en la función de apagado de un sistema de aire acondicionado de 10 unidades en camiones interurbanos, se realiza un gráfico para que se vea la expresión del nivel de CO por unidad y qué semáforos



**Figure 41**

Comparación de concentración de CO, condición OFF. **Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

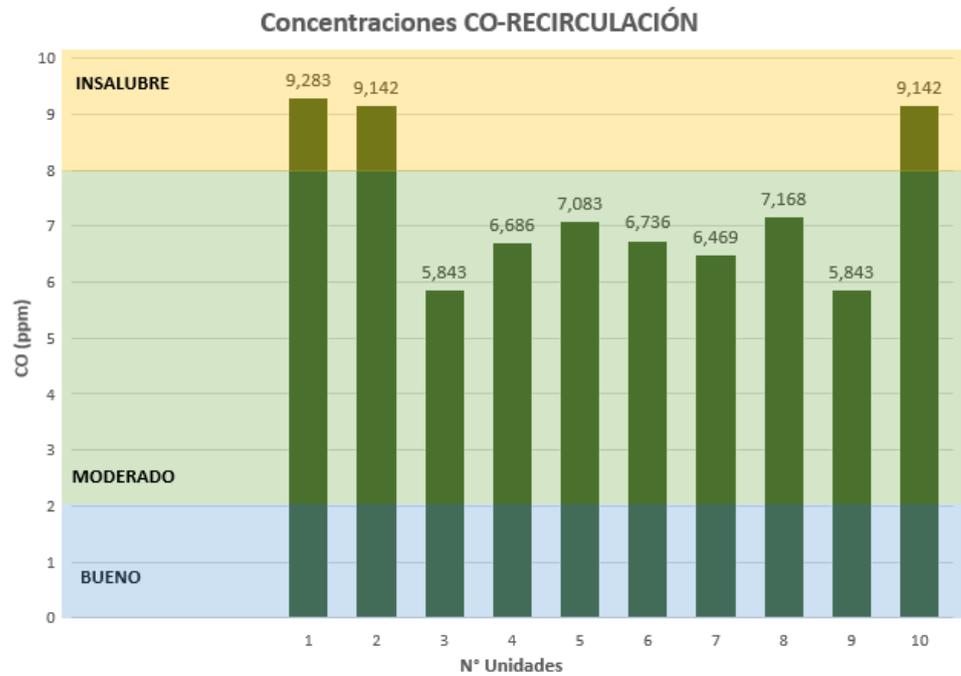
monitorear. El nivel de peligro que estas concentraciones pueden representar para el usuario, en este caso se observó que las concentraciones para la mayoría de las unidades estarían en el rango medio, mientras que para dos de ellas en la zona de peligro.

#### 4.3.2. CO Recirculación de aire (REC)

**Nota:** Mediante las medidas promedio de CO en el aire para la función RECIRCULACIÓN de un sistema de aire acondicionado de camiones interurbanos de 10 unidades, se hizo una gráfica para que se viera la expresión de los niveles. CO por unidad y por tráfico tenga en cuenta lo peligrosas que son estas concentraciones para los ocupantes, en este caso las concentraciones de la mayoría de las unidades estarían en el rango moderado, mientras que con 3 unidades estarían en el rango insalubre.

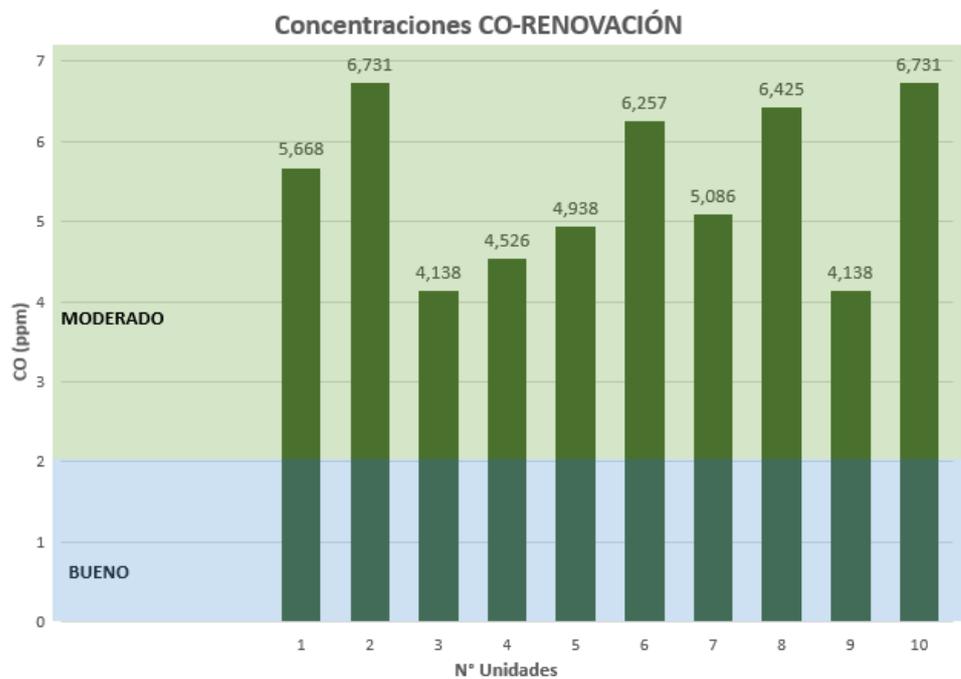
#### 4.3.3. CO Renovación de aire (REN)

**Nota:** Finalmente los datos promedio de las mediciones de CO en la función RENO-VACIÓN de un sistema de aire acondicionado de 10 unidades para camiones interurbanos, se traza una gráfica para que en la expresión de los niveles de CO por unidad



**Figure 42**

Comparación de concentración de CO, condición REC. **Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.



**Figure 43**

Comparación de concentración de CO, condición REN. **Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

y según el semáforo se vea cuán peligrosos son estas las concentraciones son para

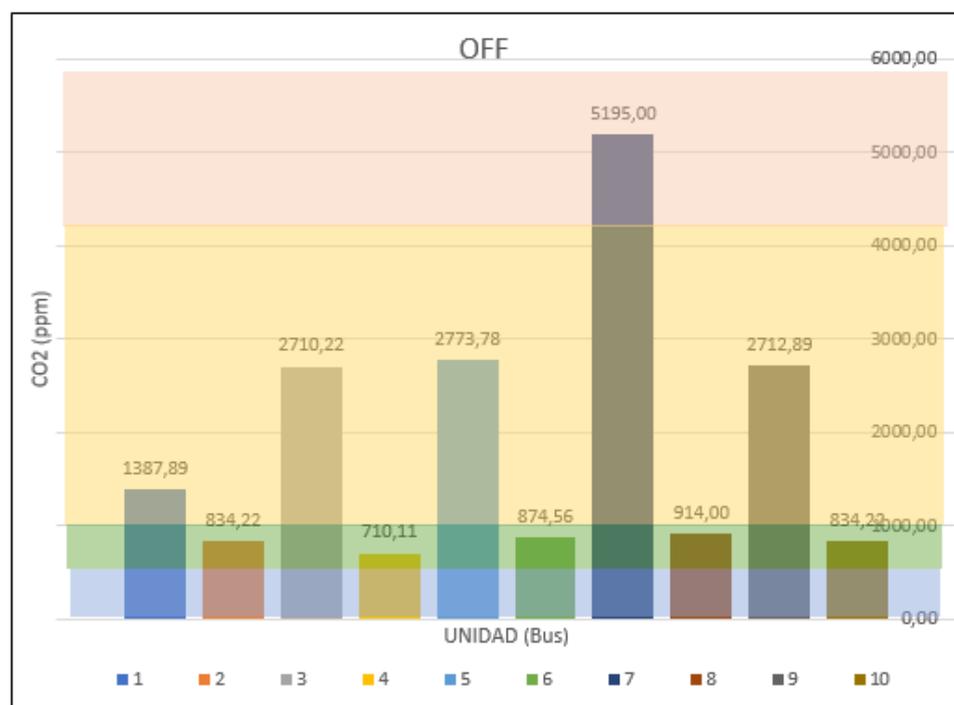


el usuario, en este caso se observaron concentraciones de 10 unidades en el rango correcto.

#### 4.4. Grafica de barras de CO2

Una mínima o máxima cantidad de exhalación, respectivamente, hace que el aire se considere exagerado seco o excesivo húmedo, lo que supone buenas condiciones de CO2 cuando su concentración es inferior a 700 ppm. En general, las concentraciones no deseadas superiores a 1100 partes por millón son dañinas para la cognición humana [31].

##### 4.4.1. CO2 Apagado (OFF)



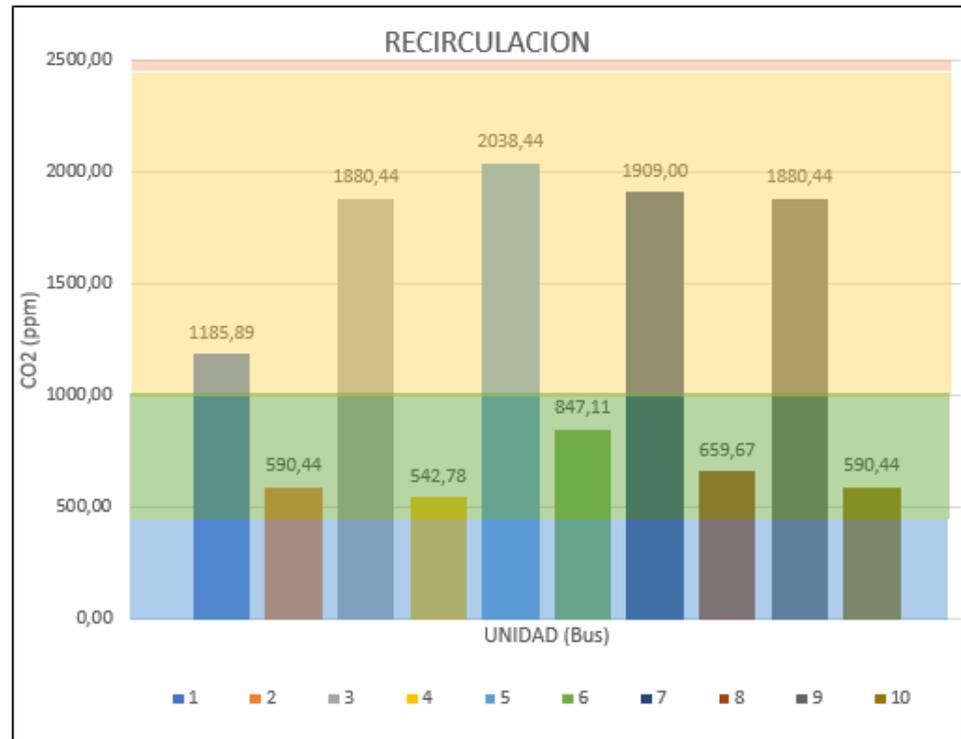
**Figure 44**

Comparación de concentración de CO2, condición OFF. **Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

**Nota:** Se observar que, en estado apagado, gana un alto valor de CO2 en la unidad 07, lo que es perjudicial para varios usuarios. Al mismo tiempo, se observa que el dispositivo 06 produce datos bajos sobre la concentración de partículas, lo que no daña la salud del usuario y afecta su comodidad.



#### 4.4.2. CO2 Recirculación de aire (REC)



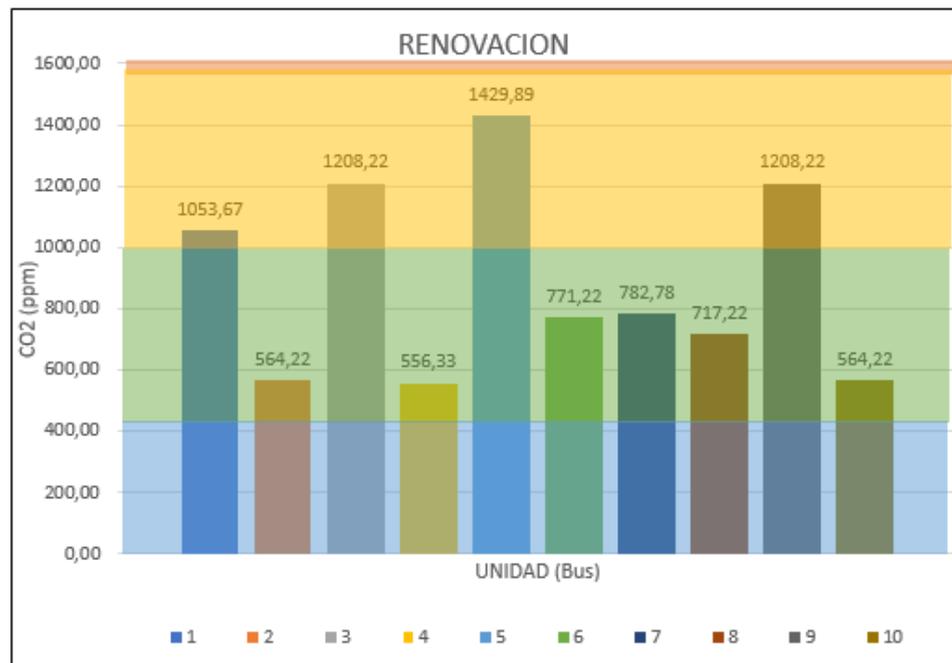
**Figure 45**

Comparación de concentración de CO2, condición REC. **Realizado por:** Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

**Nota:** En la modalidad de REC se adquiere un valor alto de CO2 en la unidad 05, lo cual es perjudicial para diferentes usuarios. Al mismo tiempo, se puede observar que la parte 04 produce datos bajos de concentración de partículas, lo que no es perjudicial para la salud del usuario, afectando su comodidad.

#### 4.4.3. CO2 Renovación de aire (REN)

**Nota:** Finalmente se observa que en la modalidad de REN se obtiene un valor de CO2 alto de 05 unidades, lo cual es perjudicial para diferentes usuarios. Al mismo tiempo, se puede observar que la parte 04 produce datos bajos de concentración de partículas, lo que no es perjudicial para la salud del usuario, afectando su comodidad.



**Figure 46**

Comparación de concentración de CO<sub>2</sub>, condición REN. Realizado por: Parra Ángel, Taguada Luis, 2022.

## 5. CONCLUSIONES

Se recopiló información científica y técnica de diferentes plataformas de datos de repositorios de investigaciones realizadas con anterioridad, proporcionando información que ha sido evaluada y validada.

Se logra demostrar que la altitud (msnm) es un componente que influye en la acumulación de CO y las emisiones de CO y CO<sub>2</sub> dentro de la cabina, debido a que a menor altitud la presión atmosférica es mayor, de ahí la mayor concentración, cuando se tiene menor presión atmosférica a mayor altitud a una concentración más baja.

Se concluye que el efecto de las concentraciones de material particulado de monóxido de carbono y dióxido de carbono, obtenido con el analizador de gases IAQ TESTO 440, detectores de CO y CO<sub>2</sub>, se analiza con conocimiento de su efecto sobre la calidad del aire, y por ende afectan directamente la calidad del aire. Diferentes usuarios desde el interior del autobús.

Se evalúan los datos de la recolección de datos dentro de las cabinas de las diferentes unidades de transporte, utilizando diagramas de dispersión, gráficos y tablas con el fin de mostrar los resultados obtenidos durante el proceso. Prueba en carretera, para que sea de fácil explicación y explicación. para los lectores.



Se puede demostrar y confirmar que, bajo las condiciones del estudio, la concentración de partículas de CO OFF-(D) aumentó con el tiempo de recolección de datos, el aumento fue muy superior a los niveles recomendados por diferentes organizaciones, estableciendo un rango moderado de 750 ppm a 1100 ppm.

## References

- [1] Sc C, Sc CO. No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. China; 2013. pp. 10-7. [Consulta: 18 noviembre 2021].
- [2] Mar CS. Trabajo de Diploma Impacto sobre la contaminación atmosférica de la Pensamiento., [en línea], 2014, pp. 8-15.
- [3] Dirks K, Wang JY, Khan A. Exposición a la contaminación del aire en relación con el viaje a la escuela: un estudio de caso de Bradford [en línea]Reino Unido; 2016.
- [4] Kamar HM, Kamsah N. Simulación CFD de la temperatura del aire dentro del compartimiento de pasajeros de un autobús., [en línea], 2015, pp. 5-9.
- [5] Brodzik K, Faber J. In-vehicle air quality – recent trends in requirements and testing methods. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, [en línea], 2018, (Hong Kong) vol. 19, no. 9, pp. 41-44. [Consulta: 17 junio 2021]. ISSN 1509-5878. <https://doi.org/10.24136/atest.2018.279>
- [6] Campagnoli E, Torino P. Preliminary investigation on thermal behavior of vehicles in different climate conditions, no. 1. Malasia; 2019. pp. 103-8.
- [7] Cheik GC, Perlis UM, Kamarudin LM, Perlis UM, Shukri S, Perlis UM, et al. Monitoreo de dióxido de carbono (CO 2) Acumulación en la cabina del vehículo. no. Co 2. (2016), (United States of America) pp. 14-17.
- [8] Faber J, Brodzik K. Air quality inside passenger cars. AIMS Environmental Science, vol. 4, no. 1, [en línea], 2017, (United States of America) pp. 112-133. [Consulta: 11 septiembre 2021]. ISSN 2372-0352. <https://doi.org/10.3934/environsci.2017.1.112>
- [9] Cha Y. In-cabin carbon dioxide and health effects Yingying Cha specifications, dimensions and drawings may be subject to change without notice, no, [en línea], 2019, (Taiwan) October. [Consulta: 08 junio 2021]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22676.86405>
- [10] Ahmad Shafie NE, Mohamed Kamar H, Kamsah N. Field measurement of particulate matter inside a bus passenger compartment. Jurnal Teknologi, vol. 77, [en línea], 2015b. no. 30, pp. 69-73. [Consulta: 30 agosto 2021]. ISSN 01279696. <https://doi.org/10.11113/jt.v77.6870>



- [11] Mathur GD. Field tests to monitor build-up of carbon dioxide in vehicle cabin with AC system operating in recirculation mode for improving cabin IAQ and safety. SAE Technical Papers, no. [en línea], April 2008, (United state of America), [Consulta: 9 noviembre 2021]. ISSN 26883627. <https://doi.org/10.4271/2008-01-0829>
- [12] Lee TYK, Lee SH. Combustion and emission characteristics of wood pyrolysis oil-butanol blended fuels in a di diesel engine. International Journal of ... [en línea], vol. 13, no. 2, 2012, pp. 293-300. [Consulta: 29 octubre 2021]. ISSN 1229-9138. <https://doi.org/10.1007/s12239>. Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.1007/s12239-012-0027-2>
- [13] Masivo AY. Automóviles y tránsito masivo., no. Atkinson; 2000. pp. 45-55. [en línea].
- [14] Mathur GD. Development of a model to predict build-up of cabin carbon dioxide concentrations in automobiles for indoor air quality. SAE Technical Papers, vol. 2017-March, [en línea], 2017, no. March, (United state of America), [Consulta: 9 noviembre 2021]. ISSN 01487191. <https://doi.org/10.4271/2017-01-0163>
- [15] Zhang L, Qi L, Liu J, Wu Q. Experimental study on dynamic thermal environment of passenger compartment based on thermal evaluation indexes. Science Progress, [en línea], vol. 103, no. 3, Malasia, 2020. pp. 1-21. [Consulta: 2 diciembre 2021]. ISSN 20477163. <https://doi.org/10.1177/0036850420942991>
- [16] Kumar P, Gupta NC, Parmar KS. Comparisons of particulate matters exposure to commuters in different transportation modes in Delhi. Sustainable Environment Research, vol. 24, no. 5, [en línea], 2014, pp. 373-380. [Consulta: 09 octubre 2021]. ISSN 24682039
- [17] Danca PA, Nastase I, Croitoru C, Bode F, Sandu M. Thermal comfort evaluation inside a car parked under sun and shadow using a thermal manikin. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 664, no. 1, [en línea], 2021, Reino Unido, pp. 12-64. [Consulta: 08 junio 2021]. ISSN 1755-1307. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/664/1/012064>
- [18] Atkinson WJ, Hill WR, Mathur GD. The impact of increased air recirculation on interior cabin air quality. SAE Technical Papers, vol. 2017-March, no, [en línea], 2017, (United States of America). [Consulta: 15 junio 2021]. ISSN 01487191. <https://doi.org/10.4271/2017-01-0169>
- [19] Kolluru SS, Patra AK, Sahu SP. A comparison of personal exposure to air pollutants in different travel modes on national highways in India. Science of the Total Environment, vol. 619-620, [en línea], 2018, pp. 155-164. [Consulta: 09 julio 2021]. ISSN 18791026. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.086>



- [20] ASHRAE. Automobiles and mass transit. ASHRAE Handbook—HVAC Applications (SI), no. Atkinson (2007), (United States of America) pp. 9.1-9.20.
- [21] Falih M. Ventilation for acceptable indoor air quality. ASHRAE Standard, no. 62.1, [en línea], 2004, (United state of America), pp. 11-20. [Consulta: 07 julio 2021]. ISSN 10412336.
- [22] Mathur G. Use of partial recirculation to limit build-up of cabin carbon dioxide concentrations to safe limits per ASHRAE Standard-62. SAE Technical Papers, [en línea], vol. 2020-April, no. April. 2020, (United States of America), [Consulta: 9 noviembre 2021]. ISSN 01487191. <https://doi.org/10.4271/2020-01-1245>.
- [23] Zhou X, Lai D, Chen Q. Experimental investigation of thermal comfort in a passenger car under driving conditions. Building and Environment, [en línea], vol. 149, San Francisco, 2019, pp. 109-119. [Consulta: 2 julio 2021]. ISSN 03601323. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.022>
- [24] TESTO. Medidores para climatización [en línea]2021. pp. 1–12. [Consulta: 5 noviembre 2021].
- [25] Mathur GD. Effect of cabin volume on build-up of cabin carbon dioxide concentrations from occupant breathing in automobiles. SAE Technical Papers, vol. 2018-April, no. [en línea], (United state of America), [Consulta: 9 noviembre 2021]. ISSN 01487191. <https://doi.org/10.4271/2018-01-0074>
- [26] Saikin AM, Buznikov SE, Zhuravlev AV, Zaytseva EP, Lebedev AV, Kuznetsov DA. Test methods and equipment for assessment of passenger compartment environmental parameters of modern and advanced driverless vehicles. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, [en línea], vol. 819, no. 1., España, 2020. [Consulta: 12 noviembre 2021]. ISSN 1757899X. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/819/1/012029>
- [27] Certificación MY. "Contenido De Contaminantes En El Interior De La Cabina Del Conductor Y Del Pasajero Compartimiento". Requisitos técnicos y métodos de prueba. (2016), (United States of America) pp. 1-22.
- [28] Goh CC, Kamarudin LM, Shukri S, Abdullah NS, Zakaria A. Monitoring of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) accumulation in vehicle cabin. 3rd International Conference on Electronic Design, ICED, [en línea], 2016, no. August, pp. 427-432. [Consulta: 07 julio 2021]. <https://doi.org/10.1109/ICED.2016.7804682>
- [29] Dagnino S. J., Análisis de varianza. Revista Chilena de Anestesia, vol. 43, no. 4, [en línea], 2014, pp. 306-310. [Consulta: 23 junio 2021]. ISSN 07164076.
- [30] Dirks KN, Talbot N, Salmond JA, Costello SB. In-cabin vehicle carbon monoxide concentrations under different ventilation settings. Atmosphere, vol. 9, no. 9, [en



- linea], 2018, New Zeland, pp. 1-14. [Consulta: 18 julio 2021]. ISSN 20734433. <https://doi.org/10.3390/atmos9090338>
- [31] Szczurek A, Maciejewska M. Categorisation for air quality assessment in car cabin. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, [en línea], vol. 48, España, 2016., pp. 161-170. [Consulta: 12 noviembre 2021]. ISSN 13619209. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.08.015>
- [32] Musat R, Brasov UT, Helerea E, Brasov UT. Parámetros y modelos del vehículo Confort térmico Parámetros y modelos del vehículo Comodidad térmica., [en línea], 2016, pp. 1-5.
- [33] Musat R, Helerea E. Parameters and models of the vehicle thermal comfort. *Acta Universitatis Sapientiae Electrical and Mechanical Engineering* [en línea], vol. 1, no. January 2009, pp. 215-226. [Consulta: 18 noviembre 2021]. Disponible en: <http://www.acta.sapientia.ro/acta-emeng/C1/emeng1-19.pdf>
- [34] Pham L, Molden N, Boyle S, Johnson K, Jung H. Development of a standard testing method for vehicle cabin air quality index. *SAE International Journal of Commercial Vehicles*, [en línea], vol. 12, no. 2., 2019, [Consulta: 22 noviembre 2021]. ISSN 19463928. <https://doi.org/10.4271/02-12-02-0012>.
- [35] Qin D, Guo B, Zhou J, Cheng H, Chen X. Indoor air formaldehyde (HCHO) pollution of urban coach cabins. *Scientific Reports*, [en línea], vol. 10, no. 1, Bently, 2020. pp. 1-9. [Consulta: 2 junio 2021]. ISSN 20452322. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57263-4>.