



*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.  
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada, Toluca, Estado de México. 7223898475*

RFC: ATI120618V12

**Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.**

<http://www.dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/>

**Año: XI Número: 1. Artículo no.:87 Período: 1ro de septiembre al 31 de diciembre del 2023**

**TÍTULO:** Metodología para evaluar las emisiones de gases contaminantes en vehículos livianos utilizando un ciclo de conducción OBD II y un analizador de gases: un caso de estudio en la ciudad de Ambato.

**AUTORES:**

1. Máster. Antonio Gabriel Castillo Medina.
2. Máster. Esteban Fernando López Espinel.
3. Máster. Giovanni Vinicio Pineda Silva.

**RESUMEN:** Este estudio se enfoca en la evaluación de las emisiones de gases contaminantes en vehículos livianos que funcionan con gasolina. El objetivo principal es desarrollar una metodología precisa y confiable para medir y analizar las emisiones de CO, CO<sub>2</sub>, HC y NO<sub>x</sub>, utilizando un ciclo de conducción OBD II y un analizador de gases. Para lograr este objetivo, se realizaron mediciones de las emisiones en dos condiciones diferentes: en ralentí y en marcha. Se utilizó un analizador de gases especializado para recopilar los datos de emisión, y se implementó un ciclo de conducción OBD II para simular condiciones de conducción realistas. Los resultados obtenidos revelaron patrones distintos en las emisiones de gases en las diferentes condiciones de funcionamiento del vehículo.

**PALABRAS CLAVES:** gases contaminantes, emisión, vehículos livianos, CO, CO<sub>2</sub>.

**TITLE:** Methodology to evaluate the emissions of polluting gases in light vehicles using an OBD II driving cycle and a gas analyzer: a case study in the city of Ambato.

**AUTHORS:**

1. Master. Antonio Gabriel Castillo Medina.
2. Master. Esteban Fernando López Espinel.
3. Master. Giovanni Vinicio Pineda Silva.

**ABSTRACT:** This study focuses on the evaluation of polluting gas emissions in light vehicles that run on gasoline. The main objective is to develop an accurate and reliable methodology to measure and analyze CO, CO<sub>2</sub>, HC and NO<sub>x</sub> emissions using an OBD II drive cycle and gas analyzer. To achieve this goal, emissions measurements were made under two different conditions: idling and running. A specialized exhaust analyzer was used to collect the emission data, and an OBD II drive cycle was implemented to simulate realistic driving conditions. The results obtained revealed different patterns in the gas emissions in the different operating conditions of the vehicle.

**KEY WORDS:** polluting gases, emission, light vehicles, CO, CO<sub>2</sub>.

**INTRODUCCIÓN.**

La contaminación del aire es uno de los principales problemas en muchas ciudades del mundo, que afecta a millones de personas con efectos negativos en la salud, responsable de millones de muertes prematuras y de enfermedades respiratorias, y también afectando al medio ambiente (World Health Organization, 2018).

En el Ecuador, la contaminación del aire es un problema creciente en las ciudades, y según el informe del Ministerio de Ambiente del Ecuador, el 57% de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son producidas por el transporte terrestre. La ciudad de Ambato, en la provincia de Tungurahua, no es ajena a esta problemática. La elevada congestión vehicular en sus calles y la falta de una política efectiva de control de emisiones, contribuyen significativamente a la contaminación del aire en la ciudad, y se ha demostrado que el uso de motores de combustión aumenta los niveles de contaminación del aire.

La mayoría de los motores diésel cumplen las estrictas normativas actuales sobre emisiones de NO<sub>x</sub> y partículas mediante sistemas de postratamiento. Uno de los principales inconvenientes de estos sistemas de postratamiento es que sólo son eficaces para reducir las emisiones cuando la temperatura de su catalizador se encuentra dentro de un determinado rango (normalmente entre 250 °C y 450 °C) (Garg et al., 2016).

En el Ecuador, la contaminación del aire es un problema creciente en las ciudades, y según el informe del Ministerio de Ambiente del Ecuador, el 57% de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son producidas por el transporte terrestre (Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador, 2012). La ciudad de Ambato, en la provincia de Tungurahua, no es ajena a esta problemática. La elevada congestión vehicular en sus calles y la falta de una política efectiva de control de emisiones, contribuyen significativamente a la contaminación del aire en la ciudad.

En los últimos años, se han llevado a cabo diversas investigaciones para medir las emisiones de gases contaminantes en vehículos automotores. Algunos estudios han utilizado ciclos de conducción estandarizados, como el ciclo de conducción europeo (NEDC) o el ciclo de conducción armonizado mundial (WLTP).

El transporte de carga urbano es un importante contribuidor de emisiones contaminantes en las ciudades (Sabas & Quezada, 2023); también existen otros métodos como la medición de emisiones en carretera (PEMS). Esta técnica permite medir las emisiones de gases contaminantes en condiciones reales de conducción; sin embargo, la técnica PEMS es costosa y requiere equipos especializados, lo que hace que su uso no sea viable; no obstante, es importante mencionar, que no todas las ciudades cuentan con los recursos o infraestructura necesaria para llevar a cabo estas pruebas en su totalidad; también se han utilizado técnicas alternativas para evaluar las emisiones de los vehículos como la medición de los gases de escape en condiciones de conducción reales a través del uso de dispositivos portátiles como los analizadores de gases.

En ese contexto, surge la necesidad de desarrollar metodologías precisas y confiables para la medición de las emisiones de los vehículos en condiciones de conducción reales y saber cómo se comportan estos gases, que permitan identificar y controlar las fuentes de contaminación en las ciudades y mejorar la calidad del aire (Errigo et al., 2020). En este sentido, el uso de ciclos de conducción específicos combinados con la tecnología de diagnóstico a bordo (OBD II) y analizadores de gases, se ha convertido en una herramienta valiosa para la evaluación de las emisiones de los vehículos.

El objetivo de la investigación es el desarrollo de una metodología para la medición de gases, con el fin de evitar el consumo excesivo de combustible, basándonos en que los fabricantes de automóviles no realizan estudios de la zona en la cual va a funcionar el vehículo (Paz et al., 2022).

La investigación se enmarca en lo experimental con un enfoque cuantitativo, lo que permitirá obtener datos precisos y confiables sobre las emisiones de los vehículos. Los resultados obtenidos permitirán a las autoridades locales tomar decisiones informadas para mejorar la calidad del aire y conocer el comportamiento de estos gases en cada una de las etapas del ciclo OBD II; adicionalmente, analizar los resultados y establecer conclusiones para determinar la viabilidad de la metodología propuesta como una herramienta efectiva para la medición de emisiones de vehículos livianos en la ciudad de Ambato y aplicarlos a vehículos con otras tecnologías.

## **DESARROLLO.**

### **Materiales y Métodos.**

Para llevar a cabo el experimento de medición de gases contaminantes en la ciudad de Ambato, se consideraron minuciosamente las condiciones ambientales relevantes. La selección y control de estas condiciones es de suma importancia, ya que pueden influir significativamente en los resultados obtenidos y en la interpretación de los datos recopilados que se muestran en la Tabla 1; conocer estas condiciones ayuda a garantizar la precisión y la comparabilidad de los resultados obtenidos en el experimento.

Tabla 1. Condiciones Ambientales.

| <b>Datos meteorológicos</b> |      |
|-----------------------------|------|
| Temperatura (°C)            | 22   |
| Presión atmosférica (Hpa)   | 800  |
| Humedad (%)                 | 50   |
| Altitud msnm                | 2577 |

Para la población, se consideró el contexto de la propiedad vehicular, según datos de la Asociación de empresas Automotrices de Ecuador (AEADE) en su reporte del año 2021, con un tamaño de flota de 157.728 vehículos: por otro lado, datos de matriculación vehicular de la Dirección de Tránsito, Transporte Terrestre y Seguridad Vial del mismo año estiman en la tabla 2, la composición del parque en Ambato.

Tabla 2. Cifras de Matriculación Ambato 2021.

| <b>Tipo de vehículos</b> | <b>Cantidad</b> |
|--------------------------|-----------------|
| Privados                 | 82.135          |
| comerciales taxis        | 2.398           |
| Carga liviana            | 1.013           |
| transporte Público       | 397             |
| <b>TOTAL</b>             | <b>85.943</b>   |

Con esta consideración, más del 54% de los vehículos que reporta la AEADE como parte del parque de Tungurahua, han sido matriculados en la ciudad de Ambato, y se puede considerar que los 85.943 vehículos es la componente principal del parque automotor rodante de la ciudad de Ambato con una antigüedad menor a 10 años, quienes deben pasar anualmente la revisión técnica vehicular.

El vehículo utilizado para las pruebas fue un automóvil de tamaño mediano con motor de cuatro cilindros que según la población de este experimento son los vehículos que están siendo utilizados en la ciudad de Ambato, Ecuador. El vehículo se sometió a una revisión mecánica completa antes de la prueba para asegurar su buen funcionamiento y minimizar la influencia de factores externos en los resultados de la prueba.



Figura 1. Vehículo de prueba en el dinamómetro. Fuente: Realización propia.

Luego de la selección del vehículo, se procedió a realizar la medición de gases contaminantes mediante el uso de un analizador de gases; para ello, se utilizó un analizador de gases marca TEXA, modelo GASBOX Autopower, que es un analizador de gases de escape para motores a Gasolina, el cual se conectó de forma inalámbrica al computador para la adquisición de los datos durante el ciclo de conducción en lapsos de 2 segundos, obteniendo más de 250 datos. El analizador permitió la medición en tiempo real de los siguientes gases: CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> y datos como la relación estequiométrica lambda. La configuración de medición se realizó de acuerdo con las especificaciones del fabricante (Lyu et al., 2021; Abdel-Rahman, 1998).



Figura 2. Analizador de gases marca TEXA modelo GasBox.

Fuente: <https://www.texaiberica.com/productos/gasbox-opabox-autopower>

En cuanto al diseño experimental, se realizó una prueba de conducción en un banco de rodillos de chasis para vehículos (chassis dynamometer) de la marca MotoRRoll, el cual tiene un funcionamiento mixto, ya que cuenta con la medición inercial y un freno hidráulico, que no solo permite medir Potencia y Torque; sin embargo, dada su tecnología, también lo aplicamos para realizar diagnóstico de fallas, y poder simular cualquier condición de ruta o ciclo de conducción.

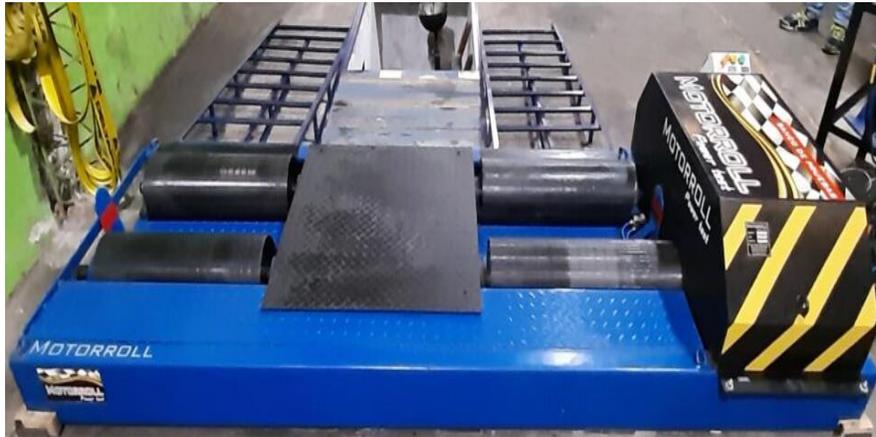


Figura 3. Banco de Rodillos Inercial

Fuente: <https://gabriellimotorsport.com.ar/chiptuning-diagnostico/chiptuning/dinamometro/>

Para la realización del ciclo de conducción utilizamos un ciclo de conducción OBD II estándar. El ciclo OBD II simula la conducción en carretera y se utiliza en la mayoría de los vehículos modernos para realizar pruebas de emisiones en tiempo real.

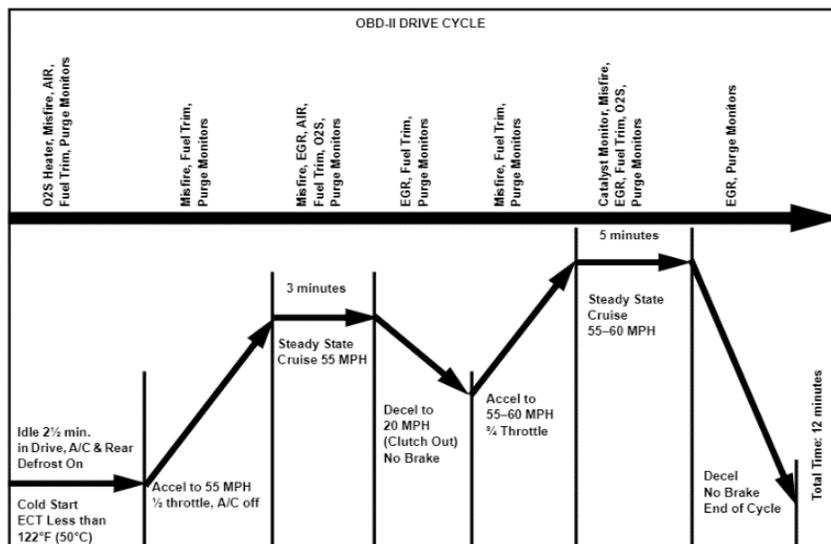


Figura 4. Ciclo de Conducción OBD II. Fuente: Volkswagen Audi OBD-II Readiness Code Charts.

El Ciclo de Conducción OBD-II consta de ocho fases, como se ilustra en la figura 4. A continuación, se proporciona una explicación de cada paso:

**Fase 1: Arranque en frío.**

La ECM determina la presencia de un arranque en frío, comparando la temperatura del líquido refrigerante del motor (por debajo de 50°C) con la temperatura del aire de admisión y refrigerante que están dentro de 6°C durante el arranque. Durante este período, se ejecutan los monitores de calentador de O<sub>2</sub>S, fallo de encendido, sistema de aire, sistema de combustible y EVAP.

**Fase 2: Ralentí 2½ minutos.**

Encienda el aire acondicionado (A/C) y las luces delanteras para ayudar al monitor de fallos de encendido: las cargas eléctricas adicionales ayudan a equilibrar los pulsos de combustión. Durante este período, se ejecutan los monitores de calentador de O<sub>2</sub>S, sistema de aire, EVAP, fallo de encendido y posiblemente, el sistema de combustible (si está funcionando en circuito cerrado).

**Fase 3: Aceleración.**

Antes de acelerar, apague el A/C y las luces delanteras (si es posible). Abra el acelerador a la mitad hasta alcanzar los 89 KPH. Durante la aceleración, se ejecutan los monitores de fallo de encendido, sistema de combustible y EVAP.

**Fase 4: Crucero en estado estable.**

Durante esta parte del ciclo, se ejecutan los monitores de O<sub>2</sub>S, sistema de aire, EGR, EVAP, fallo de encendido y sistema de combustible.

**Fase 5: Deceleración.**

Disminuya gradualmente la velocidad sin aplicar los frenos; además, en los vehículos con transmisión manual, manténgase en alta velocidad y no presione el embrague. Durante este período, se ejecutan los monitores de EGR, EVAP y sistema de combustible.

**Fase 6: Aceleración.**

Aplique  $\frac{3}{4}$  de acelerador hasta alcanzar las 97 KPH. Durante la aceleración, se ejecutan los monitores de fallo de encendido, sistema de combustible y EVAP.

**Fase 7: Crucero en estado estable.**

Durante este período, se ejecutan los monitores de CAT, O<sub>2</sub>S, sistema de aire, EGR, EVAP, fallo de encendido y sistema de combustible.

**Fase 8: Deceleración.**

Disminuya gradualmente la velocidad sin aplicar los frenos; además, en los vehículos con transmisión manual, manténgase en alta velocidad y no presione el embrague. Durante esta parte del Ciclo de Conducción, se ejecutan los monitores de EGR, EVAP y sistema de combustible.

Las mediciones se realizaron en un ambiente controlado, manteniendo una temperatura ambiente constante de 22°C y una humedad relativa del 50%. Antes de cada prueba, se llevó a cabo una verificación del equipo de medición y se realizó una calibración del analizador de gases.

Para cada parte del ciclo OBD II se midieron las emisiones de los siguientes gases: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), oxígeno (O<sub>2</sub>) e hidrocarburos (HC) y el valor de lambda calculado por el analizador (Joumard et al., 2000).

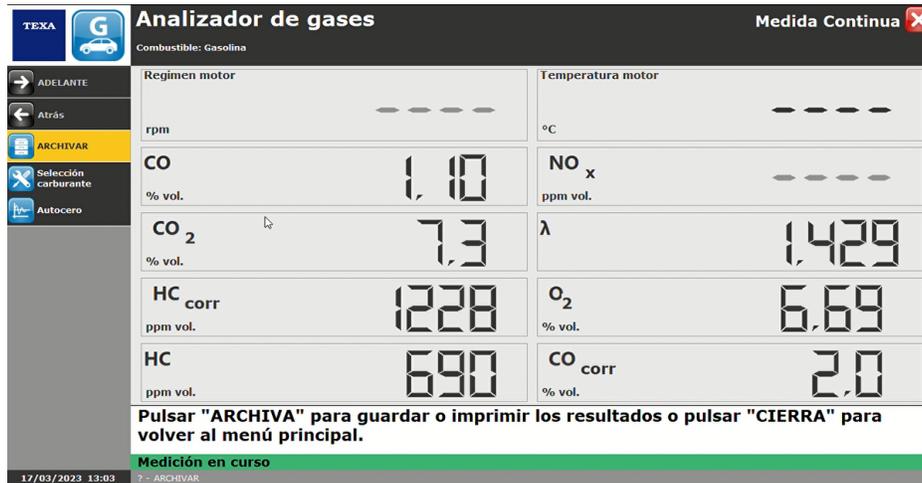


Figura 5. Datos del Analizador de Gases. Fuente: Software TEXA.

En resumen, se utilizó un ciclo OBD II estándar y un analizador de gases para medir las emisiones de gases contaminantes en un vehículo liviano de gasolina. Los resultados obtenidos serán de gran interés para los fabricantes de automóviles, las autoridades reguladoras y los investigadores que trabajan en el campo de las emisiones vehiculares y la calidad del aire.

### Resultados.

Una vez ejecutada la toma de los gases explicadas en la metodología, se establece la adquisición de datos en los distintos tramos del ciclo OBD II como son aceleraciones, desaceleraciones y velocidad constante. La obtención de los datos se realizó mediante el software TEXA y se tomaron datos de las emisiones de gases contaminantes en lapsos de tiempos cortos de 2 segundos para las fases de aceleración y desaceleración, y lapsos de tiempo largos de 15 segundos en las fases de velocidad constante, los cuales se muestran en la siguiente tabla 3 con las emisiones de CO, CO<sub>2</sub>, HC y O<sub>2</sub>, y la columna de lambda muestra el valor de la relación aire/combustible durante cada fase de conducción.

Tabla 3. Base de datos.

| FASE          | Tiempo | RMP  | Velocidad | Distancia | CO   | CO <sub>2</sub> | HC  | O <sub>2</sub> | lambda |
|---------------|--------|------|-----------|-----------|------|-----------------|-----|----------------|--------|
| Aceleración 1 | 0      | 0    | 0         | 0         | 0    | 0               | 0   | 0              | 0      |
|               | 2      | 1692 | 33,03     | 16,83     | 3,42 | 9,8             | 929 | 3,05           | 0,993  |
|               | 5      | 2554 | 49,87     | 44,74     | 2,67 | 10,3            | 646 | 2,57           | 1,016  |
|               | 7      | 3165 | 61,79     | 81,44     | 1,95 | 11              | 469 | 2,15           | 1,027  |
|               | 9      | 3595 | 70,2      | 123,63    | 1,38 | 11,5            | 368 | 2              | 1,044  |

|                 |                  |       |       |         |         |      |      |       |       |
|-----------------|------------------|-------|-------|---------|---------|------|------|-------|-------|
|                 | 11               | 4050  | 79,08 | 171,46  | 0,96    | 11,8 | 309  | 1,83  | 1,052 |
|                 | 14               | 4248  | 82,94 | 222,81  | 0,72    | 12,1 | 278  | 1,54  | 1,046 |
| v = constante 1 | 16               | 4358  | 85,09 | 275,73  | 0,64    | 12,4 | 258  | 1,29  | 1,036 |
|                 | 32               | 4424  | 86,39 | 655,3   | 0,56    | 12,7 | 235  | 1,21  | 1,035 |
|                 | 45               | 4352  | 84,98 | 975,98  | 0,59    | 12,7 | 236  | 1,12  | 1,029 |
|                 | 61               | 4312  | 84,2  | 1346,11 | 0,56    | 12,7 | 239  | 1,07  | 1,026 |
|                 | 74               | 4280  | 83,57 | 1660,82 | 0,59    | 12,7 | 236  | 1,11  | 1,028 |
|                 | 90               | 4315  | 84,26 | 2027,49 | 0,6     | 12,7 | 238  | 1,07  | 1,026 |
|                 | 115              | 4263  | 83,25 | 2602,92 | 0,59    | 12,7 | 238  | 1,09  | 1,027 |
|                 | 131              | 4445  | 86,79 | 2979,36 | 0,59    | 12,7 | 236  | 1,09  | 1,027 |
|                 | 146              | 4402  | 85,95 | 3356,8  | 0,56    | 12,6 | 235  | 1,16  | 1,032 |
|                 | 160              | 4373  | 85,4  | 3678,13 | 0,61    | 12,7 | 239  | 1,06  | 1,025 |
|                 | 176              | 4392  | 85,75 | 4052,49 | 0,58    | 12,7 | 237  | 1,08  | 1,027 |
|                 | 191              | 4408  | 86,06 | 4428,97 | 0,56    | 12,7 | 235  | 1,09  | 1,028 |
|                 | Desaceleración 1 | 194   | 4236  | 82,7    | 4481,12 | 0,56 | 12,7 | 231   | 1,11  |
| 196             |                  | 3681  | 71,87 | 4527,17 | 0,54    | 12,5 | 228  | 2,8   | 1,121 |
| 198             |                  | 3133  | 61,17 | 4566,37 | 0,53    | 12   | 243  | 9,22  | 1,482 |
| 200             |                  | 2625  | 51,26 | 4599,16 | 0,52    | 11,9 | 245  | 15,1  | 1,817 |
| 203             |                  | 2144  | 41,87 | 4626,03 | 0,05    | 1,8  | 749  | 18,7  | 1,98  |
| 205             |                  | 1690  | 33    | 4647,38 | 0,05    | 1    | 800  | 19,5  | 2,01  |
| Aceleración 2   | 207              | 1827  | 35,67 | 4669,26 | 0,04    | 0,7  | 884  | 18    | 1,97  |
|                 | 209              | 2164  | 42,25 | 4695,19 | 0,23    | 4,2  | 797  | 9,21  | 1,52  |
|                 | 214              | 2813  | 54,94 | 4759,3  | 0,45    | 9,1  | 532  | 4,7   | 1,281 |
|                 | 216              | 3086  | 60,25 | 4796,65 | 0,47    | 11   | 394  | 3,27  | 1,159 |
|                 | 218              | 3386  | 66,1  | 4837,5  | 0,45    | 11,5 | 347  | 2,8   | 1,129 |
|                 | 221              | 3745  | 73,12 | 4882,66 | 0,44    | 11,7 | 320  | 2,48  | 1,11  |
|                 | 223              | 4232  | 82,63 | 4933,59 | 0,46    | 12   | 300  | 2,01  | 1,081 |
|                 | 225              | 4560  | 89,04 | 4988,9  | 0,48    | 12,2 | 286  | 1,67  | 1,062 |
| v = constante 2 | 227              | 4757  | 92,88 | 5046,92 | 0,48    | 12,4 | 271  | 1,38  | 1,046 |
|                 | 230              | 4761  | 92,97 | 5105,01 | 0,52    | 12,5 | 250  | 1,19  | 1,035 |
|                 | 245              | 4795  | 93,62 | 5514,52 | 0,55    | 12,7 | 215  | 1,07  | 1,029 |
|                 | 261              | 4697  | 91,71 | 5918,41 | 0,56    | 12,7 | 213  | 1,04  | 1,027 |
|                 | 277              | 4707  | 91,9  | 6320,58 | 0,57    | 12,6 | 215  | 1,03  | 1,026 |
|                 | 290              | 4696  | 91,68 | 6664,97 | 0,57    | 12,6 | 214  | 1,03  | 1,026 |
|                 | 306              | 4567  | 89,18 | 7059,34 | 0,59    | 12,6 | 211  | 1,02  | 1,04  |
|                 | 322              | 4640  | 90,61 | 7452,72 | 0,57    | 12,6 | 218  | 1,03  | 1,026 |
|                 | 338              | 4639  | 90,59 | 7849,73 | 0,56    | 12,6 | 211  | 1,03  | 1,026 |
|                 | 353              | 4555  | 88,93 | 8242,66 | 0,57    | 12,6 | 208  | 1,027 | 1,04  |
|                 | 369              | 4487  | 87,63 | 8628,39 | 0,55    | 12,5 | 212  | 1,12  | 1,032 |
|                 | 385              | 4463  | 87,14 | 9010,28 | 0,55    | 12,5 | 213  | 1,16  | 1,034 |
|                 | 401              | 4463  | 87,15 | 9391,69 | 0,55    | 12,5 | 215  | 1,17  | 1,034 |
|                 | 416              | 4459  | 87,07 | 9772,88 | 0,55    | 12,4 | 215  | 1,19  | 1,035 |
|                 | 432              | 4458  | 87,04 | 10154   | 0,55    | 12,5 | 214  | 1,19  | 1,035 |
| 448             | 4454             | 86,97 | 10535 | 0,55    | 12,5    | 216  | 1,19 | 1,035 |       |

|                  |     |      |       |         |      |      |      |       |       |
|------------------|-----|------|-------|---------|------|------|------|-------|-------|
|                  | 464 | 4524 | 88,34 | 10917,6 | 0,62 | 12,4 | 218  | 1,16  | 1,031 |
|                  | 480 | 4514 | 88,14 | 11303,7 | 0,56 | 12,5 | 209  | 1,11  | 1,031 |
|                  | 495 | 4573 | 89,3  | 11691,1 | 0,56 | 12,5 | 210  | 1,09  | 1,03  |
|                  | 511 | 4645 | 90,7  | 12086,2 | 0,56 | 12,5 | 207  | 1,04  | 1,027 |
|                  | 525 | 4617 | 90,16 | 12426,5 | 0,56 | 12,5 | 203  | 1,03  | 1,027 |
| Desaceleración 1 | 527 | 4271 | 83,4  | 12477,3 | 0,55 | 12,5 | 201  | 1,43  | 1,049 |
|                  | 529 | 3751 | 73,25 | 12522   | 0,53 | 11,9 | 215  | 6,18  | 1,318 |
|                  | 531 | 3254 | 63,55 | 12560,5 | 0,52 | 11,7 | 217  | 12,9  | 1,7   |
|                  | 534 | 2781 | 54,3  | 12593,4 | 0,07 | 2    | 996  | 17,9  | 1,89  |
|                  | 536 | 2326 | 45,41 | 12618,8 | 0,07 | 1    | 1101 | 19    | 2,01  |
|                  | 538 | 1885 | 36,8  | 12639,6 | 0,06 | 0,7  | 1157 | 19,6  | 2,03  |
|                  | 540 | 1475 | 28,79 | 12656,8 | 0,05 | 0,5  | 1258 | 19,6  | 2,04  |
|                  | 543 | 1221 | 23,84 | 12671,2 | 0,05 | 0,5  | 1496 | 19,6  | 2,02  |
|                  | 545 | 1059 | 20,67 | 12683,7 | 0,2  | 1,5  | 1527 | 14,4  | 1,78  |
|                  | 547 | 914  | 17,84 | 12694,3 | 0,59 | 4    | 1230 | 10    | 1,52  |
|                  | 549 | 772  | 15,07 | 12703,2 | 1,1  | 7,3  | 690  | 7,37  | 1,483 |
|                  | 552 | 637  | 12,43 | 12710,6 | 0,99 | 8,6  | 453  | 6,26  | 1,374 |
|                  | 554 | 510  | 9,96  | 12716,5 | 0,56 | 9,2  | 277  | 5,67  | 1,359 |
|                  | 556 | 386  | 7,54  | 12720,8 | 0,49 | 9,6  | 249  | 5,52  | 1,345 |
| 558              | 268 | 5,23 | 12724 | 0,33    | 10   | 175  | 5,1  | 1,321 |       |

La tabla muestra las emisiones contaminantes como son el CO, CO<sub>2</sub>, HC, gases como O<sub>2</sub> y lambda en el ciclo OBD II de conducción en las diferentes etapas; además, se tomaron datos de revoluciones del motor y distancia recorrida. Se observó una diferencia significativa en las emisiones de CO, CO<sub>2</sub> y HC entre las diferentes etapas del ciclo de conducción, siendo las emisiones en la fase de aceleración y desaceleración significativamente mayores que en la fase de velocidad constante (Lapuerta et al., 2012).

En cuanto a las emisiones de monóxido de carbono (CO), se encontraron valores promedio de 0.6 %; se observa en la figura 2 que al iniciar la aceleración, este valor es más alto de lo permitido (menos del 1%) y se empieza a estabilizar hasta llegar a la primera fase de velocidad constante (82 km/h) y se mantiene en un valor promedio de 0,6%; en la fase de desaceleración los valores bajan hasta 0,05% y en aceleración suben nuevamente hasta estabilizarse para la segunda fase de velocidad constante (92km/h) a un valor de 0,56 %, para finalmente, en la última fase de desaceleración, bajan hasta un valor 0,05% y sube ligeramente hasta 1,1% y terminar con el ciclo OBD II.

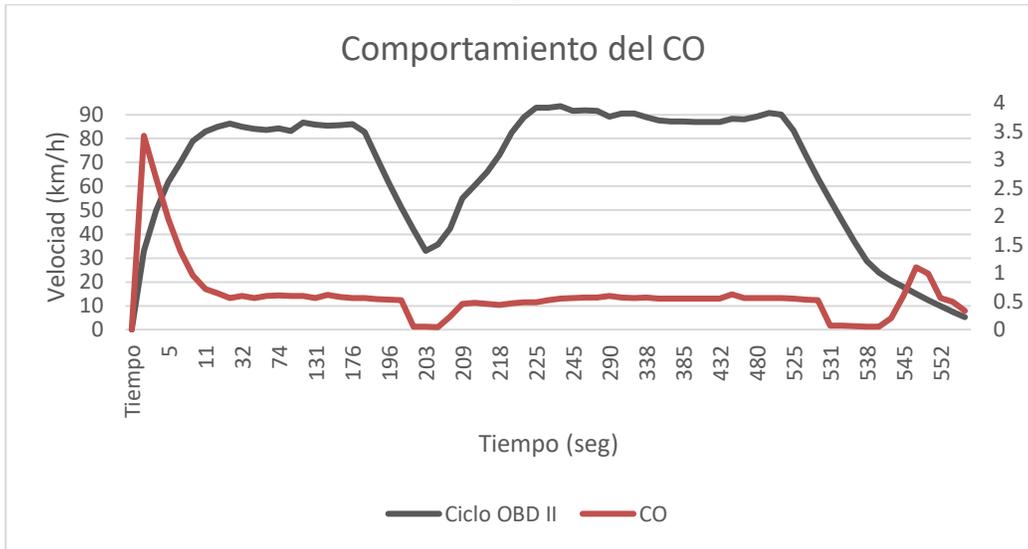


Figura 6. Comportamiento del CO.

En cuanto a las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), se encontraron valores promedio de 12,53% en las fases de velocidad constante, lo que indica que existe una buena combustión dentro de la cámara; en las fases de desaceleración, baja la concentración y en aceleración aumenta hasta estabilizarse en velocidad constante. Cabe recalcar, que el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es un gas de efecto invernadero que además de afectar al medio ambiente y la salud, influye en daños estructurales de las edificaciones por procesos como la carbonatación y la despasivación (Villamizar & Valencia, 2018).

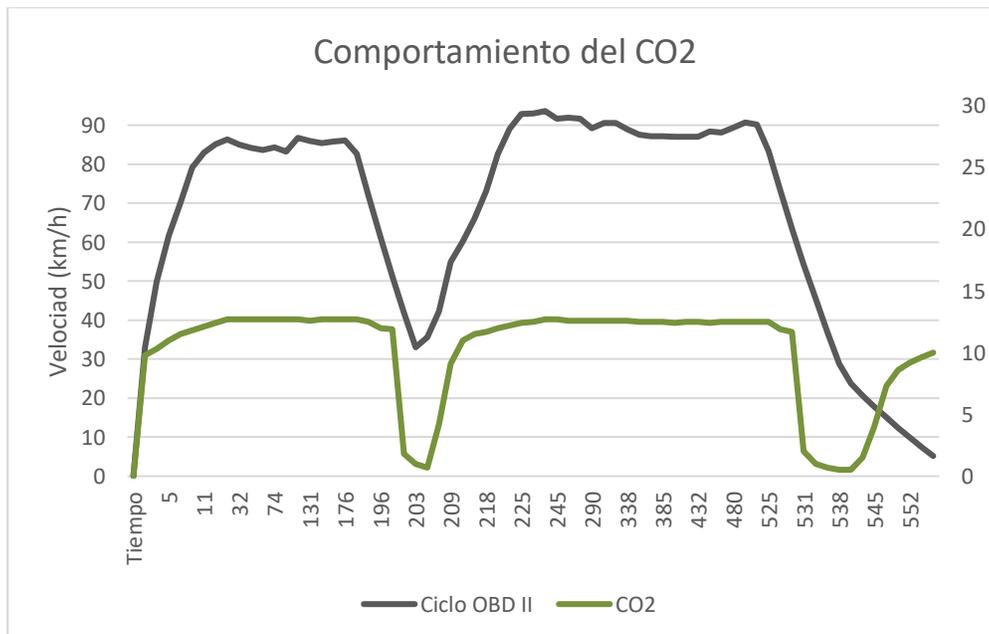


Figura 7. Comportamiento del  $\text{CO}_2$ .

En los resultados para las emisiones de hidrocarburos (HC), se encontraron valores promedio de 200 ppm en fases de velocidad constante; al inicio del ciclo, en aceleración, empieza con un valor máximo de 900 ppm hasta llegar a estabilizarse en 200 ppm; en las fases de desaceleración aumenta su concentración hasta un valor de 1400 ppm, para nuevamente llegar a estabilizarse en las fases de velocidad constante y al final del ciclo.

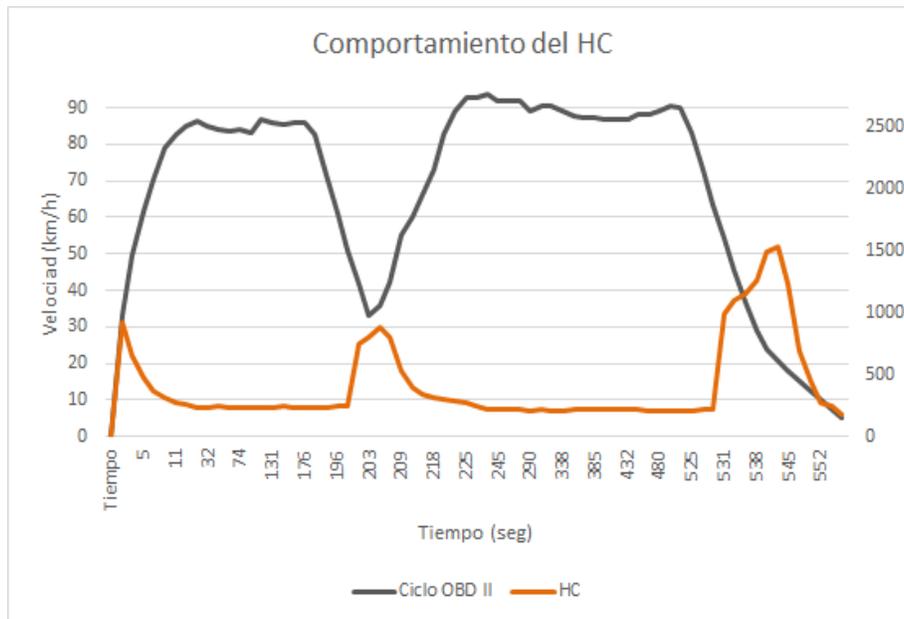


Figura 8. Comportamiento de HC.

Por último, se midió el O<sub>2</sub> que debe tener un valor de menos del 1% y la relación estequiométrica lambda ideal igual a 1; se observa en la figura que en la fase de desaceleración sube la concentración de oxígeno hasta un valor máximo del 19,5% y en aceleración baja hasta estabilizarse en 1,04% en las zonas de velocidad constante, al final del ciclo en la desaceleración la concentración de oxígeno sube hasta 19,65 y en la mitad de la desaceleración empieza a bajar.

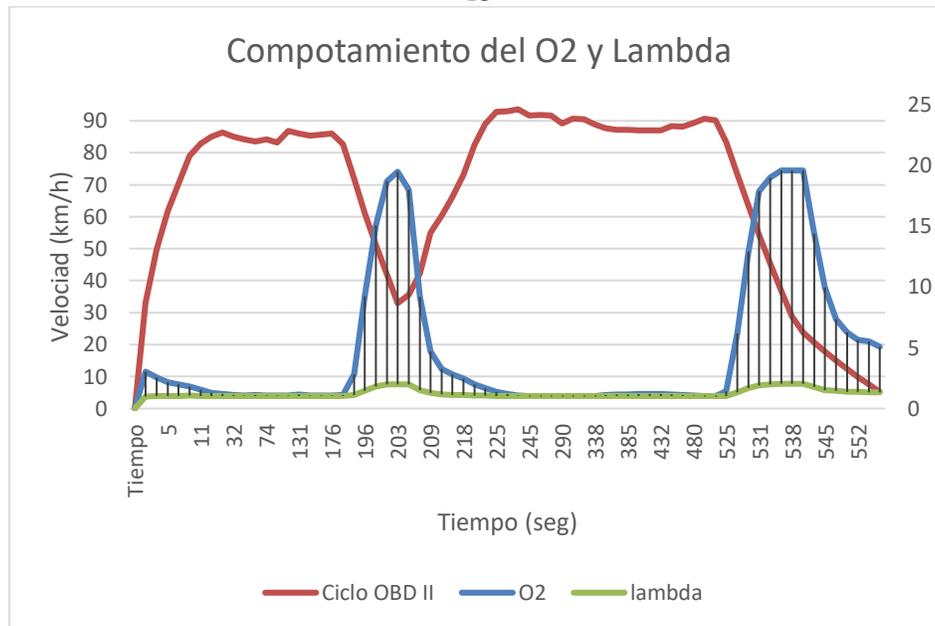


Figura 9. Comportamiento del O2 y lambda.

En la Tabla 4 con respecto al ciclo de conducción y gases, se observa las emisiones máximas, mínimas y promedio de CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> y lambda en cada una de las fases del ciclo de conducción.

Tabla 4. Ciclo de conducción y valores promedios.

| GAS               | Aceleración 1 |      |        | V. constante 1 |      |        | Desaceleración 1 |      |        |
|-------------------|---------------|------|--------|----------------|------|--------|------------------|------|--------|
|                   | Max           | Min  | Pmd    | Max            | Min  | Pmd    | Max              | Min  | Pmd    |
| CO %              | 3,42          | 0,72 | 1,9    | 0,64           | 0,56 | 0,58   | 0,54             | 0,05 | 0,34   |
| CO <sub>2</sub> % | 12,1          | 9,8  | 11,1   | 12,7           | 12,4 | 12,67  | 12,5             | 1    | 7,84   |
| HC ppm            | 929           | 278  | 499,8  | 258            | 231  | 237,92 | 800              | 228  | 453,00 |
| O <sub>2</sub> %  | 3,05          | 1,54 | 2,2    | 1,29           | 1,06 | 1,12   | 19,5             | 2,8  | 13,06  |
| Lambda            | 1,05          | 0,99 | 1,0    | 1,04           | 1,03 | 1,03   | 2,01             | 1,12 | 1,68   |
| GAS               | Aceleración 2 |      |        | V. constante 2 |      |        | Desaceleración 2 |      |        |
|                   | Max           | Min  | Pmd    | Max            | Min  | Pmd    | Max              | Min  | Pmd    |
| CO %              | 0,48          | 0,04 | 0,38   | 0,62           | 0,48 | 0,56   | 1,1              | 0,05 | 0,41   |
| CO <sub>2</sub> % | 12,2          | 0,7  | 9,05   | 12,7           | 12,4 | 12,53  | 12,5             | 0,5  | 6,07   |
| HC ppm            | 884           | 286  | 482,50 | 271            | 203  | 217,05 | 1527             | 175  | 749,47 |
| O <sub>2</sub> %  | 18            | 1,67 | 5,52   | 1,38           | 1,02 | 1,11   | 19,6             | 1,43 | 11,37  |
| Lambda            | 1,97          | 1,06 | 1,29   | 1,05           | 1,03 | 1,03   | 2,04             | 1,05 | 1,62   |

## Discusión.

En esta metodología experimental, se realizó una evaluación de las emisiones de gases de escape en un motor de combustión interna durante diferentes condiciones de operación. Los resultados obtenidos muestran que la concentración de CO, CO<sub>2</sub>, HC y O<sub>2</sub> (Molina et al., 2016; Rocha-Hoyos et al., 2018),

así como el valor de lambda, varían significativamente en función del tipo de aceleración y desaceleración; estos hallazgos son consistentes con estudios previos que han encontrado emisiones de gases contaminantes en ciclos de conducción en ciudad, debido a las condiciones de tráfico y a la necesidad de frenar y acelerar con mayor frecuencia.

Se utilizó un ciclo de conducción OBD II para realizar la medición de gases. Este ciclo consta de una serie de pruebas que incluyen aceleraciones, deceleraciones y cruces de velocidad constante, simulando un uso real del vehículo en la ciudad; este ciclo se puede reproducir en el tiempo y ser aplicados a diferentes tipos de tecnologías de propulsión como híbridos, semihíbridos y realizar comparaciones entre tecnologías.

En primer lugar, se observó que durante la aceleración, se registraron los valores más altos de emisiones de CO, HC y O<sub>2</sub>; esto puede atribuirse al aumento de la carga en el motor y a la mayor demanda de combustible durante la aceleración, lo que provoca una combustión incompleta, y por lo tanto, una mayor emisión de gases, lo que concuerda con los hallazgos de otros estudios previos en los que se ha demostrado que el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos no quemados (HC) son los principales contaminantes emitidos por los vehículos a motor en las fases de aceleración.

En la desaceleración se observó una disminución general de las emisiones de CO<sub>2</sub>, CO, mientras que los valores de HC aumentaron significativamente; además, los resultados mostraron que el valor de lambda fue más alto durante la desaceleración, lo que indica una mezcla de aire-combustible más pobre. Este resultado puede ser atribuido al corte de combustible en el motor durante la desaceleración, lo que reduce la cantidad de combustible suministrado al motor y provoca una combustión incompleta aumentando la emisión de hidrocarburos.

En cuanto a los resultados durante las fases de velocidad constante del ciclo OBD II, se observó que los valores de CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y HC se mantuvieron relativamente estables y cercanos a los valores máximos permitidos por la normativa, lo que sugiere que en esta fase existe una mayor eficiencia del

sistema de inyección de combustible y menos emisiones contaminantes.

En cuanto al CO<sub>2</sub>, se registró un aumento en velocidad constante; este comportamiento indica que existe una combustión más completa reflejado en el valor de lambda que se mantiene cercano al uno; es decir, una mezcla de aire-combustible estequiométrica; por lo tanto, una mayor emisión de CO<sub>2</sub>.

## **CONCLUSIONES.**

En conclusión, la metodología utilizada en este estudio, que incluyó la medición de los gases emitidos por un vehículo durante diferentes etapas de conducción, resultó ser efectiva para analizar el comportamiento de un vehículo en términos de emisiones contaminantes; además, los resultados obtenidos permiten identificar patrones y tendencias en las emisiones de CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> y Lambda en cada etapa de conducción; estos resultados pueden ser de gran utilidad para el diseño y desarrollo de políticas y medidas para reducir la contaminación del aire en zonas urbanas.

Se logró identificar, que las emisiones de gases varían considerablemente según la etapa de conducción, siendo la etapa de aceleración la que presentó mayores emisiones de CO, CO<sub>2</sub> y HC, mientras que la etapa de velocidad constante presentó menores emisiones de estos gases.

En cuanto a los resultados obtenidos, se encontró que la emisión de gases contaminantes fue mayor en las situaciones de aceleración y desaceleración del vehículo; además, se pudo observar, que la relación estequiométrica de los gases también varió según la etapa de conducción, siendo la relación de lambda más cercana a la unidad durante la etapa de velocidad constante y más alejada durante la etapa de aceleración.

Es importante destacar, que si bien este estudio se centró en vehículos livianos a gasolina, la metodología utilizada podría adaptarse para medir las emisiones de otros tipos de vehículos, como los eléctricos o híbridos, lo que permitiría comparar y evaluar la eficacia de diferentes tecnologías y combustibles en la reducción de emisiones contaminantes.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

1. Abdel-Rahman, A. A. (1998). On the emissions from internal-combustion engines: a review. *International Journal of Energy Research*, 22(6), 483-513.
2. Errigo, I. M., Abbott, B. W., Mendoza, D. L., Mitchell, L., Sayedi, S. S., Glenn, J., ... & Wilson, D. (2020). Human health and economic costs of air pollution in Utah: an expert assessment. *Atmosphere*, 11(11), 1238.
3. European Commission. (2017). Real Driving Emissions. Recuperado de [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/labelling\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/labelling_en)
4. Garg, A., Magee, M., Ding, C., Roberts, L., Shaver, G., Koeberlein, E., ... & Nielsen, D. (2016). Fuel-efficient exhaust thermal management using cylinder throttling via intake valve closing timing modulation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 230(4), 470-478.
5. Joumard, R., André, M., Vidon, R., Tassel, P., & Pruvost, C. (2000). Influence of driving cycles on unit emissions from passenger cars. *Atmospheric environment*, 34(27), 4621-4628.
6. Lapuerta, M., Rodríguez-Fernández, J., & Oliva, F. (2012). Effect of soot accumulation in a diesel particle filter on the combustion process and gaseous emissions. *Energy*, 47(1), 543-552.
7. Lyu, P., Wang, P. S., Liu, Y., & Wang, Y. (2021). Review of the studies on emission evaluation approaches for operating vehicles. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 8(4), 493-509.
8. Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador. (2012). Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador. Ecuador: MAE. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/ESTRATEGIA-NACIONAL-DE-CAMBIO-CLIMATICO-DEL-ECUADOR.pdf>
9. Molina, J. J., Gutiérrez, A., & Muñoz, P. (2016). Diseño e implementación de un analizador

básico de gases para emisiones vehiculares (HC, CO y CO<sub>2</sub>), desarrollado bajo la plataforma android. *Ingeniería y Región*, (15), 57-64.

10. Paz, P. M., Ocaña, B. M., Yaulema, J. S., & Cifuentes, A. R. (2022). Estudio y optimización del efecto del mapeado de una ECU sobre el desempeño y emisiones generadas por un vehículo liviano evaluado en el Ciclo de Conducción de Riobamba. *Polo del Conocimiento*, 7(7), 1698-1712.
11. Rocha-Hoyos, J. C., Zambrano, D., Portilla, Á., Erazo, G., Torres, G., & Llanes-Cedeño, E. (2018). Análisis de Gases del Motor de un Vehículo a través de Pruebas Estáticas y Dinámicas. *Analysis of Gases of the Engine of a Vehicle through Static and Dynamic Tests. Ciencia Unemi*, 11(28), 97-108.
12. Sabas, O. A. S., & Quezada, E. B. (2023). Determinación de ciclos de conducción de camiones y emisiones contaminantes. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 39, 105-115.
13. Villamizar, E. E. L. R., & Valencia, J. D. R. (2018). Análisis de daños estructurales en edificaciones por contaminación del Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) asociado al flujo vehicular en la vía nacional en el casco urbano del municipio de Pamplona, Norte de Santander. *BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 16(2), 145-152.
14. World Health Organization. (2018). Ambient (outdoor) air pollution. World Health Organization. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health?gclid=Cj0KCQjwjryjBhD0ARIsAMLvnF-ROetAXbH76wOtc4jTOubUuFnueSdu5fMC5\\_ROQfBxPY2an3iBZ4aAphNEALw\\_wcB](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health?gclid=Cj0KCQjwjryjBhD0ARIsAMLvnF-ROetAXbH76wOtc4jTOubUuFnueSdu5fMC5_ROQfBxPY2an3iBZ4aAphNEALw_wcB)

## **DATOS DE LOS AUTORES.**

1. **Antonio Gabriel Castillo Medina.** Magister en Ingeniería de Vehículos. Docente de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Sede Ambato, Ecuador. E-mail: [ua.antonio83@uniandes.edu.ec](mailto:ua.antonio83@uniandes.edu.ec)

**2. Esteban Fernando López Espinel.** Magíster en Automatización y Sistemas de Control. Docente de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Sede Ambato, Ecuador. E-mail: [ua.estebanle84@uniandes.edu.ec](mailto:ua.estebanle84@uniandes.edu.ec)

**3. Giovanni Vinicio Pineda Silva.** Magister en Mecánica Mención en Diseño. Docente de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Sede Ambato, Ecuador. E-mail: [ua.giovannypineda@uniandes.edu.ec](mailto:ua.giovannypineda@uniandes.edu.ec)

**RECIBIDO:** 9 de mayo del 2023.

**APROBADO:** 11 de julio del 2023.