



Ingeniería y Desarrollo

ISSN: 0122-3461

ISSN: 2145-9371

Fundación Universidad del Norte

ARROYO TERÁN, EDWIN SALOMÓN; CEVALLOS GONZÁLEZ, ANDRÉS FELIPE;
IMBAQUINGONAVARRETE, ROMMEL PAÚL; MELO OBANDO, JORGE LUIS

Estudio del efecto de la altitud sobre las emisiones de gases de
escape de motores de combustión interna con encendido provocado

Ingeniería y Desarrollo, vol. 38, núm. 1, 2020, Enero-Junio, pp. 148-162

Fundación Universidad del Norte

DOI: <https://doi.org/10.14482/inde.38.1.629.25>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85270674009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UNEN
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH ARTICLE

<http://dx.doi.org/10.14482/inde.38.1.629.25>

Estudio del efecto de la altitud sobre las emisiones de gases de escape de motores de combustión interna con encendido provocado

Study of the effect of altitude on the emissions of exhaust gases in spark-ignition engines

EDWIN SALOMÓN ARROYO TERÁN*

ANDRÉS FELIPE CEVALLOS GONZÁLEZ**

ROMMEL PAÚL IMBAQUINGO NAVARRETE***

JORGE LUIS MELO OBANDO****

*Magíster en Diseño Mecánico mención en Fabricación de Autopartes. Docente investigador en la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra (Ecuador). Grupo de Investigación de Motores de Combustión Interna con Biocombustibles (Bicer). esarroyo@utn.edu.ec

**Magíster en Ingeniería Automotriz. Docente investigador en la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra (Ecuador). Grupo de Investigación de Motores de Combustión Interna con Biocombustibles (Bicer). afcevallos@utn.edu.ec

*** Magíster en Diseño Mecánico mención en Fabricación de Autopartes. Docente investigador en la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra (Ecuador). Grupo de Investigación de Motores de Combustión Interna con Biocombustibles (Bicer). rpimbaquingo@utn.edu.ec

****Ingeniero en Construcción de Automóviles y Tractores. Docente investigador en la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra (Ecuador). Grupo de Investigación de Motores de Combustión Interna con Biocombustibles (Bicer). jlmeo@utn.edu.ec

Correspondencia: Edwin Salomón Arroyo Terán. Dirección: Av. 17 de julio y Gral. José María Córdova. Teléfono: +593996596737.



Resumen

El presente proyecto de investigación muestra el efecto de la altitud en las emisiones de gases contaminantes de un motor de encendido provocado (MEP), en consideración a que en Ecuador y en América Latina existen variaciones topográficas que afectan las condiciones de trabajo de los vehículos. Se analizaron las emisiones de gases contaminantes generadas por un MEP funcionando a diferentes altitudes. Se realizaron mediciones en tres ciudades con diferente altura sobre el nivel mar (0, 2200 y 3000 msnm), a cuatro regímenes de giro del motor (ralentí, 2000, 3500 y 4500 rpm), en la misma hora del día. Se evaluaron las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarburos no combustionados (HC). Los resultados mostraron que las revoluciones por minuto son el factor más influyente en la emanación de CO y HC; conforme se incrementan las revoluciones, el porcentaje de CO es mayor y la cantidad de HC se reduce. Sin embargo, en las emisiones de CO₂, la altitud tiene un efecto más significativo, por cuanto disminuyen a medida que la presión atmosférica decrece. En consecuencia, se espera que los resultados alcanzados permitan promover trabajos futuros orientados a reducir las emisiones dañinas para la salud humana.

Palabras clave: efecto de altitud, emisiones, gases de escape, motor de encendido provocado.

Abstract

This research project shows the effect of altitude on the emissions of polluting gases from a spark ignition engine (SI engine), considering that in Ecuador and in Latin America, there are topographic variations that affect the conditions of vehicle operation. This work analyzes the emissions of polluting gases generated by a SI engine operating at different heights above sea level. Altitude is a very important factor in the performance of SI engine and in the emissions that it produces. Measurements were developed in three cities with different height above sea level (0, 2.200 and 3.000 masl), at four engine revolutions (idle, 2.000, 3.500 and 4.500 rpm) and at the same hour of the day. The emissions of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂) and unburned hydrocarbons (UHC) were measured. The results showed that the engine revolutions are the most important factor in the emission of CO and UHC; as the rpm increase, the percentage of CO is higher and the amount of UHC is reduced; however, in CO₂ emissions, altitude has a more significant effect, decreasing as atmospheric pressure drops. Consequently, it is expected that the results achieved will promote future works to reduce harmful emissions to human health.

Keywords: altitude effect, emissions, exhaust gases, spark-ignition engine.

1. INTRODUCCIÓN

Las emisiones de gases contaminantes en vehículos modernos ha sido un tema de interés mundial en los últimos años. Cada día existen nuevos estudios que permiten entender la generación de gases contaminantes en motores de combustión interna y los métodos para disminuir dicho efecto; incluso, los fabricantes de vehículos han dedicado divisiones enteras de sus plantas de producción a la búsqueda de la optimización de los procesos de combustión y, en consecuencia, la disminución de generación de contaminantes [1]-[3].

Los principales gases emanados por motores de ciclo Otto son los hidrocarburos no combustionados (HC), los monóxidos de carbono (CO) y los dióxidos de carbono (CO₂), todos formados a partir de la combustión de la gasolina en el motor. Estos gases son los principales partícipes de efectos dañinos en la salud de las personas, así como de los efectos negativos en el medio ambiente [3], [4].

Las emisiones vehiculares dependen de muchos factores, tales como el tipo de combustible, los ciclos de conducción, la tecnología del motor, la topografía y las condiciones climáticas de operación del motor de combustión interna [3], [5].

La altitud afecta de forma directa los niveles de emisiones de gases contaminantes, debido a que el motor es obligado a trabajar a diferentes parámetros de presión atmosférica, temperatura de aire entrante y humedad [5], [6]. El incremento de altitud sobre el nivel del mar disminuye la densidad del aire atmosférico y su composición a causa de la reducción de presión barométrica, lo cual afecta la relación estequiométrica aire-combustible (mezcla más rica), modifica el ciclo termodinámico del motor de combustión interna (MCI) y, en consecuencia, la emisión de gases contaminantes [7]-[9].

En un estudio realizado a dos cotas de altitud, se encontró que el octanaje del combustible y la altura tienen mayor efecto significativo en las emisiones de CO y HC, mientras que las revoluciones del motor y la altura lo hacen sobre el CO₂ [10]. Otros estudios indican que mientras más rica es la mezcla, la emisión de CO es más alta y las emisiones de HC disminuyen de forma considerable con el uso de combustible de mayor octanaje [11]. Por tanto, desde la perspectiva de la salud humana, las emisiones de vehículos impulsados por motores de encendido provocado requieren mayor atención para las personas que residen en ciudades de gran altura, debido a los menores niveles de oxígeno y las concentraciones de CO más elevadas [5]. En los vehículos diésel, las emisiones de HC y CO son menos perceptibles, pero a mayor altitud las emisiones de NO_x son relevantes [12]. Por su parte, los motores que funcionan con gasolina evidencian emisiones de CO₂ de 13 a 66 % más altas respecto a los motores diésel, mientras que las emisiones de NO_x se reducen entre un 86 y un 96 % [13]. La puesta a punto de los motores en los vehículos nuevos, por lo general, se realiza a nivel del mar, donde presentan las mejores prestaciones, menores consumos y emisiones de escape dentro de las normativas vigentes [14]. En un país con ecosistemas

diversos como es el Ecuador, donde es posible contar con ciudades a diferentes alturas, se pueden extender las investigaciones sobre emisiones a estudios con diversas condiciones de altitud bajo la tesis según la cual los gases contaminantes en un motor de gasolina pueden verse influenciados por la altitud a la que el motor trabaja. En la actualidad se cuenta con varios estudios sobre emisiones a diferentes alturas en ambientes simulados y los resultados han presentado variaciones en cada condición de trabajo del motor; sin embargo, existen muy pocas referencias de mediciones con variaciones en la altitud de operación en condiciones reales [5], [6]. Por este motivo, el proyecto plantea una investigación en tres ciudades del país en las que se tienen 0 msnm, 2200 msnm y 3000 msnm. Además, se propone realizar pruebas a diferentes rangos de operación del motor, a fin de obtener los niveles de emisiones contaminantes en la mayor cantidad de condiciones de trabajo posibles.

2. METODOLOGÍA

A fin de llevar a cabo la investigación se emplea el método experimental, el cual permite recoger datos reales de las pruebas realizadas al vehículo en diferentes condiciones de trabajo. Se realiza la medición de emisiones de gases en un vehículo con motor ciclo Otto, trabajando con gasolina de 87 octanos, a cuatro regímenes de giro del motor (ralentí, 2000, 3500 y 4500 rpm). Además, se plantea la realización de pruebas en tres condiciones topográficas distintas (0, 2200 y 3000 msnm), en el mismo horario del día. Para cada localidad, y revoluciones de giro del motor, se efectúan tres mediciones de gases y toma de datos.

Equipos utilizados

Se utilizó un vehículo marca Kia modelo Rio, fabricado en el 2017, con un motor de cuatro cilindros en línea ciclo Otto. Las características del motor se describen en la tabla 1.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR

Parámetro	Valor/referencia
Modelo:	Kia Rio
Tipo:	16 válvulas, DOHC, CVVT
Cilindrada:	1400 cc
Diámetro x Carrera:	75,5mm x 78,1 mm
Potencia:	98 hp a 6000 rpm
Torque:	13,5 kgm a 4000 rpm
Relación de compresión:	10:1

Fuente: elaboración propia.

El deterioro de los sistemas de control de emisiones debido al uso normal en el vehículo, por lo general, se hace perceptible a partir de los 50 000 km, lo que influye en un aumento de las emisiones [15]. Por tal motivo, se utilizó un vehículo con 26 100 km de recorrido, lo cual asegura que los gases medidos son producto del efecto de la altitud en el motor y no por desgaste del sistema de control de emisiones. Con el fin de evitar errores de medición ocasionados por un motor en mal estado, se realizó un mantenimiento completo al vehículo, para lo cual se realizó cambio de bujías, limpieza de inyectores, cambio de filtros de aire y combustible antes de cada ensayo.

En la medición de emisiones se utilizó un analizador de gases marca Brain Bee serie AGS-688, el cual realiza una compensación automática de presión entre 850-1060 mBar. El equipo se autocalibra mediante el uso de una bombona de gas modelo. La sonda de medición se coloca directamente en el ducto de escape del vehículo a fin de realizar la medición de los porcentajes en volumen de dióxido de carbono CO_2 , y monóxido de carbono CO, además de las partes por millón de hidrocarburos no combustionados HC y el factor lambda λ en el motor.

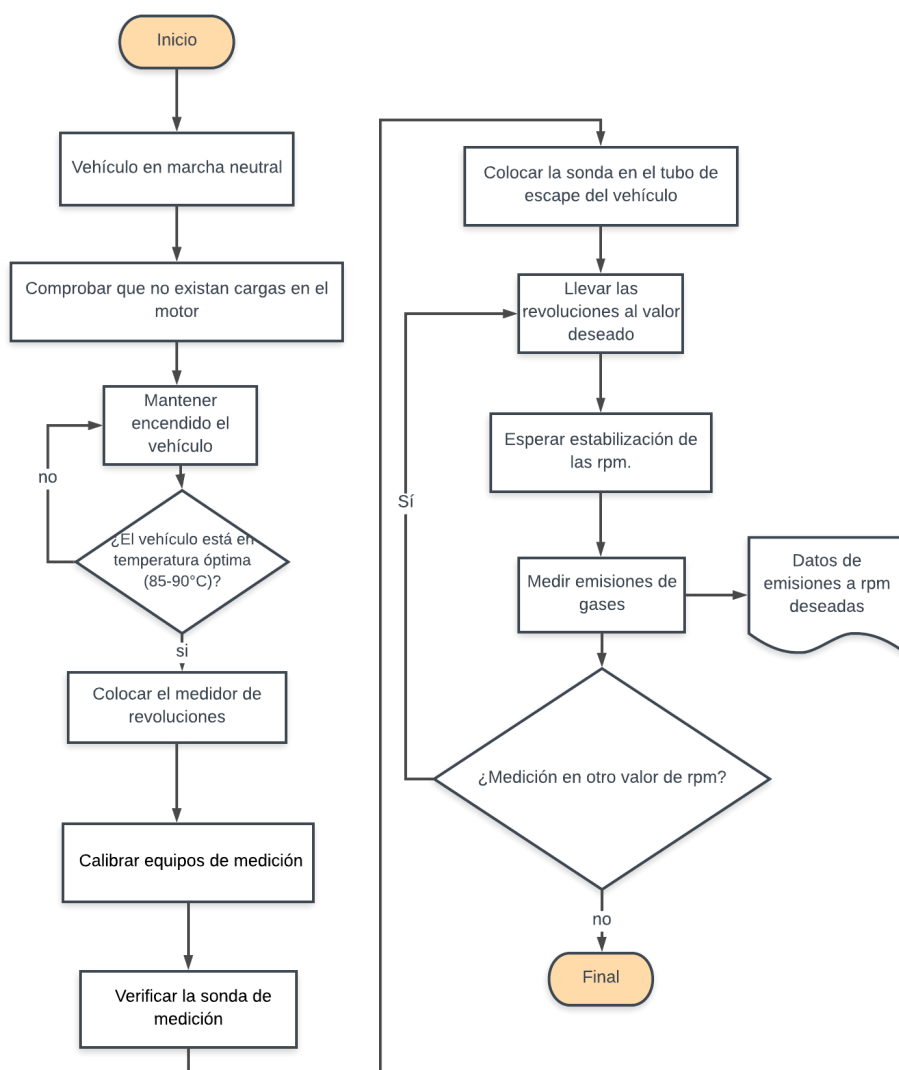
La adquisición de datos de revoluciones se realizó con el equipo RPM Counter Brain Bee MGT-300, el cual admite conexión con el analizador de gases.

Protocolo de pruebas

Antes de cada prueba se verifica que el motor se encuentre a temperatura normal de funcionamiento (80 °C) y la transmisión en posición neutral. Se realizaron cinco mediciones para cada cota de altura sobre el nivel del mar y revoluciones del motor, lo que dio lugar a un total de sesenta mediciones de gases de escape que muestran resultados de monóxido de carbono CO (% vol.), dióxido de carbono CO_2 (% vol.), hidrocarburos no combustionados HC (ppm) y factor lambda. Se consideró realizar cinco mediciones para disminuir el margen de error o discrepancia de datos que pudiera existir debido a factores ajenos a la metodología aplicada. El protocolo de pruebas (figura 1) utilizado para todos los ensayos fue el siguiente:

- Verificar el buen estado del sistema de escape del vehículo, libre de golpe, fugas o modificaciones al sistema original.
- Colocar la transmisión del vehículo en posición neutral.
- Esperar que el motor del vehículo se encuentre a temperatura óptima de funcionamiento.
- Verificar que no existan cargas adicionales en el funcionamiento del motor, como, por ejemplo, luces, radio, aire acondicionado.
- Colocar el medidor de revoluciones de motor.

- Esperar que los equipos de medición realicen el proceso de calentamiento y estabilización.
- Verificar el correcto estado y limpieza de la sonda e introducirla en el tubo de escape de forma que se encuentre fija en este.
- Llevar las revoluciones del motor según se requiere (ralentí, 2000, 3500 y 4500 rpm); se espera 30 s para la estabilización de este y se procede a tomar los datos.



Fuente: elaboración propia.

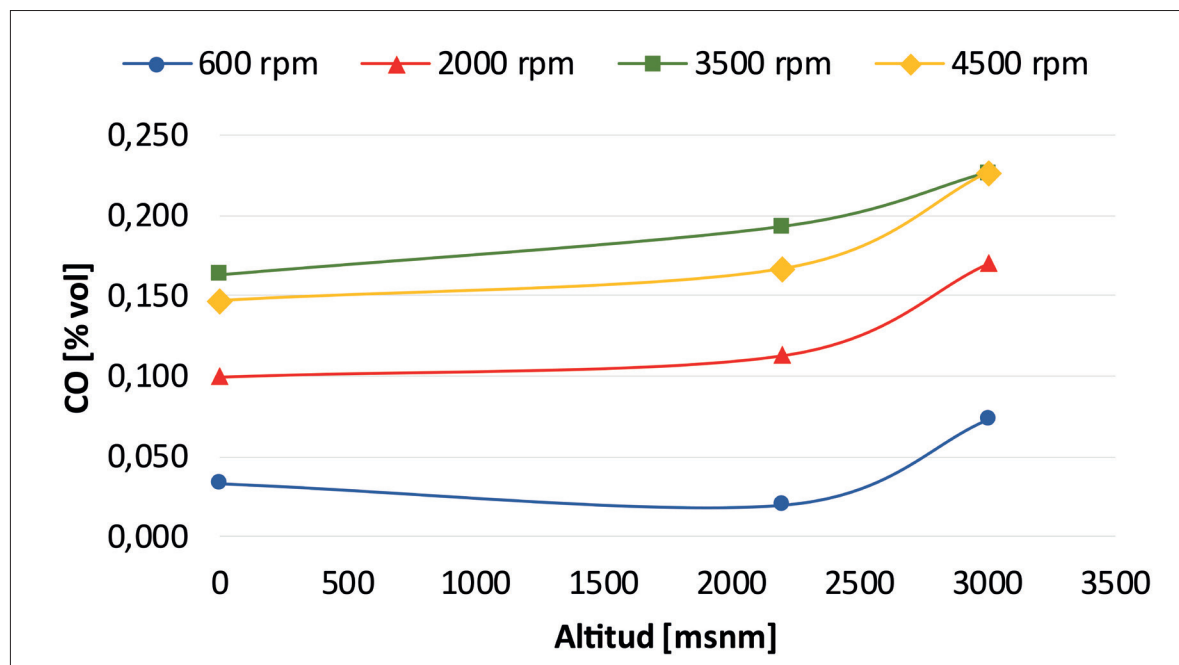
FIGURA 1. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE GASES

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el estudio de la variable respuesta se realizó un análisis de la varianza (Anova) a fin de determinar cuál de los factores (altura o régimen de giro del motor) genera una diferencia significativa en el nivel de emisiones de cada gas analizado.

Emisiones de CO

La figura 2 muestra el efecto de la altitud sobre las emisiones de CO. A medida que se incrementa la altitud, las emisiones de monóxido de carbono aumentan ligeramente, debido a la incidencia que produce el oxígeno en la mezcla estequiométrica de la combustión. La disminución de oxígeno, provocado por la reducción de presión atmosférica, conlleva a que el motor trabaje con mezcla rica, se produzcan combustiones incompletas y, por tanto, la emisión de CO sea más elevada. Esto concuerda con los resultados obtenidos en estudios similares [5], [11].



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 2. EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE LAS EMISIONES DE CO

La tabla 2 muestra los resultados del análisis estadístico de las emisiones de CO con respecto a la altura sobre el nivel del mar. En este estudio se analiza la significancia de la altitud en el nivel de emisiones de CO para cada régimen de giro del motor.

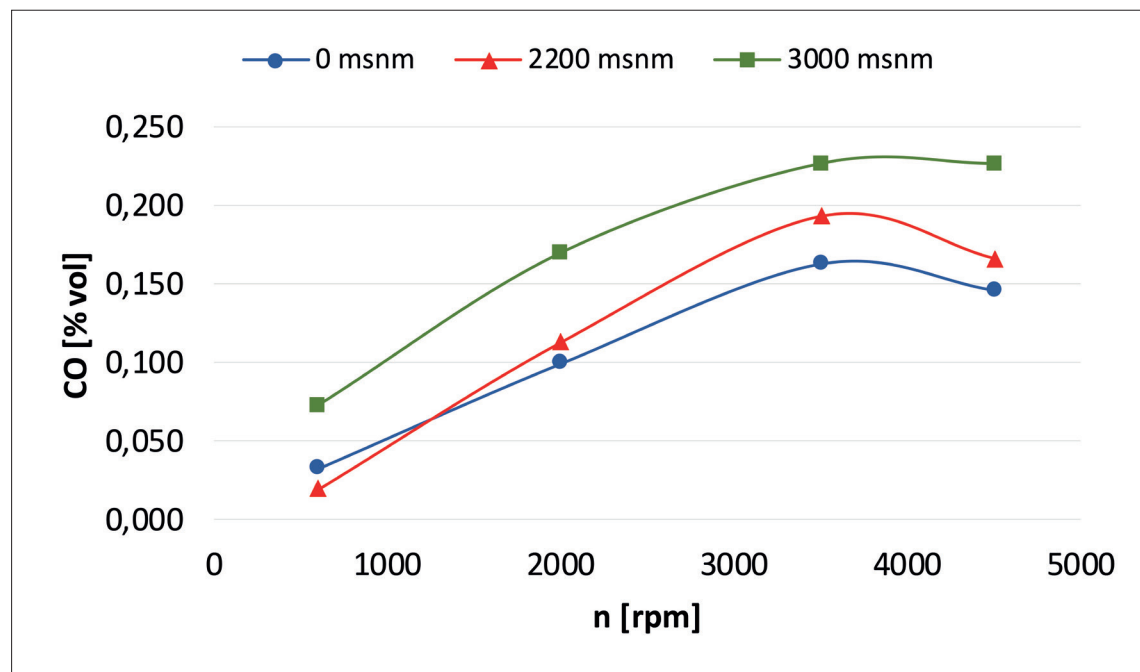
TABLA 2. ANOVA PARA CO A DIFERENTES ALTURAS

Régimen [rpm]	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F-ratio	Valor P	Valor crítico para F
600	Entre grupos	0,00763	2	0,00382	1,541	0,254	3,885
	Dentro de los grupos	0,02971	12	0,00248			
	Total	0,03734	14				
2000	Entre grupos	0,01372	2	0,00686	1,954	0,184	3,885
	Dentro de los grupos	0,04212	12	0,00351			
	Total	0,05584	14				
3500	Entre grupos	0,00993	2	0,00497	2,028	0,174	3,885
	Dentro de los grupos	0,02938	12	0,00245			
	Total	0,03931	14				
4500	Entre grupos	0,01668	2	0,00834	3,509	0,063	3,885
	Dentro de los grupos	0,02852	12	0,00238			
	Total	0,04520	14				

Fuente: elaboración propia.

El análisis Anova muestra que el valor P es mayor que 0,05. Esto determina que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las emisiones de CO en las tres altitudes analizadas con un nivel del 95 % de confianza.

En la figura 3 se observa el aumento de las emisiones de CO a medida que se incrementan las revoluciones del motor. Es importante destacar que, sobre las 3500 rpm, se aprecia el descenso de emisiones de CO debido al funcionamiento del sistema de control de emisiones del vehículo (sistema EGR, EVAP, PCV) y el efecto del funcionamiento del sistema CVVT.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 3. EFECTO DE LAS REVOLUCIONES DEL MOTOR SOBRE LAS EMISIONES DE CO

TABLA 3. ANOVA PARA CO A DIFERENTES RPM

Altitud [msnm]	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F-ratio	Valor P	Valor crítico para F
0	Entre grupos	0,05067	3	0,01689	26,807	0,000	3,239
	Dentro de los grupos	0,01008	16	0,00063			
	Total	0,06075	19				
2.200	Entre grupos	0,08772	3	0,02924	23,944	0,00	3,239
	Dentro de los grupos	0,01954	16	0,00122			
	Total	0,10726	19				
3.000	Entre grupos	0,07917	3	0,02639	5,703	0,007	3,239
	Dentro de los grupos	0,07404	16	0,00463			
	Total	0,15321	19				

Fuente: elaboración propia.

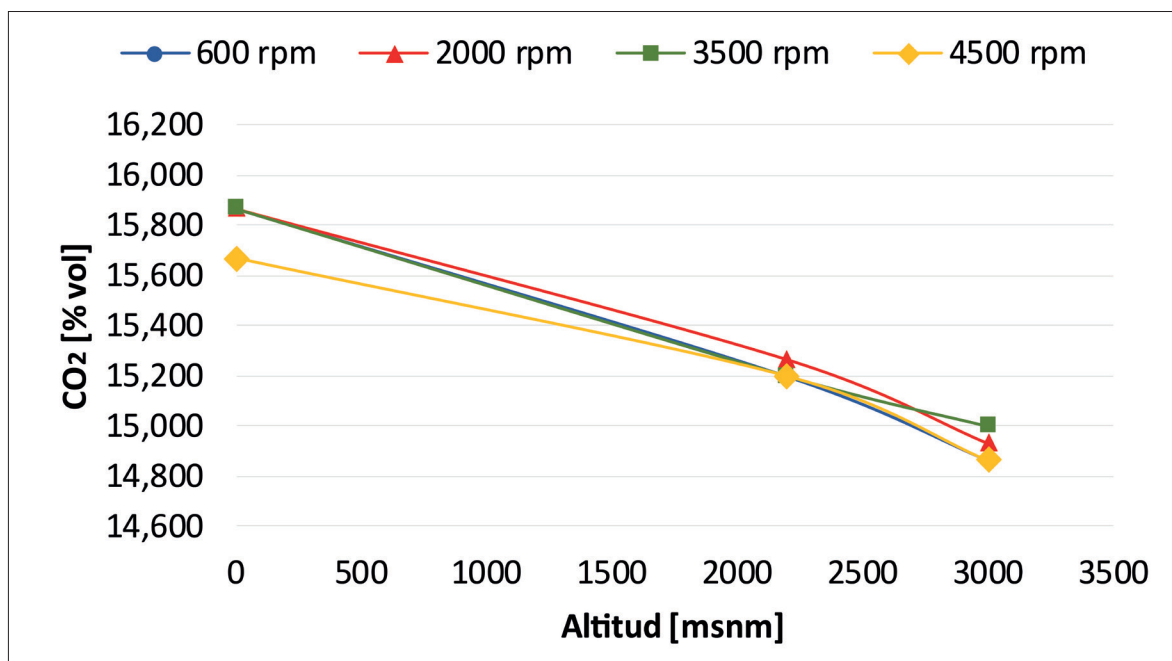
En la tabla 3 se observan los resultados estadísticos con respecto al régimen de giro del motor. Se analiza la importancia de las revoluciones por minuto en la generación de monóxido de carbono.

El análisis muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las emisiones de CO a diferentes regímenes de giro con un nivel del 95 % de confianza, debido a que el valor P es menor al 5 % de error.

Si se considera el rango de variación de emisiones de CO, se observa que hay un mayor cambio en los resultados bajo efecto de las revoluciones del motor con relación a los datos obtenidos por incidencia de las alturas.

Emisiones de CO₂

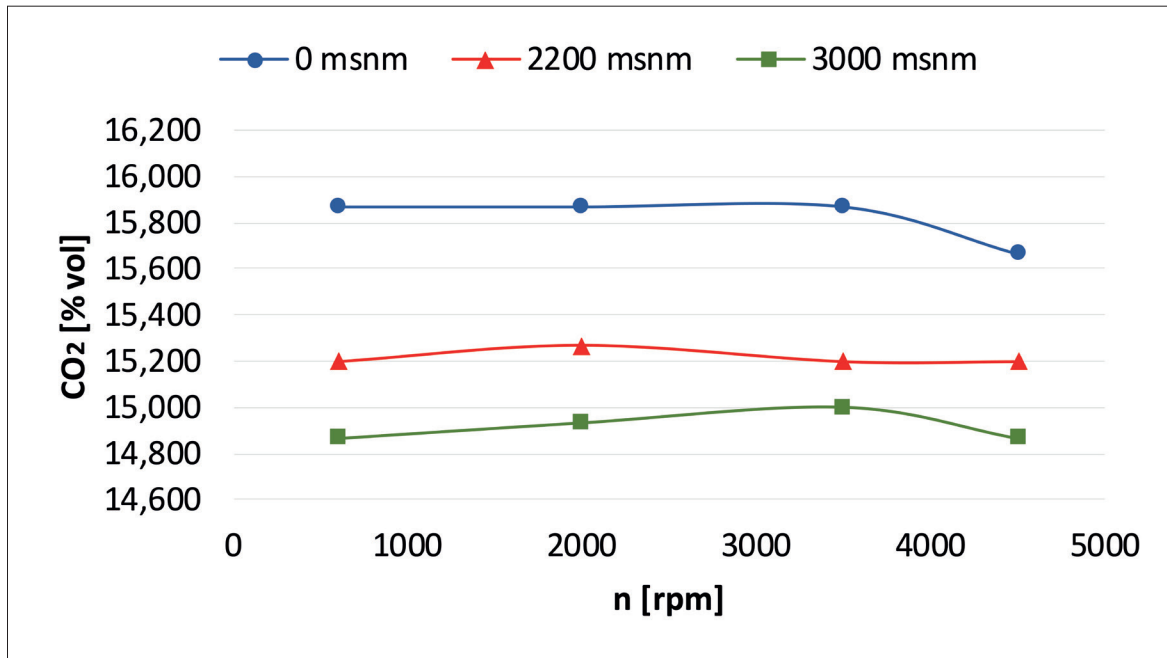
En la figura 4 se aprecia que el factor más influyente en la emisión de CO₂ es la presión atmosférica a diferentes alturas. A medida que la altitud incrementa, las emisiones de CO₂ disminuyen. Se puede apreciar que, a 0 msnm, las emisiones de CO₂ son mayores debido a la alta concentración de oxígeno en el ambiente, lo cual conlleva a una mayor eficiencia volumétrica [7] y, en consecuencia, a un mejor proceso de combustión en el interior del motor.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 4. EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE LAS EMISIONES DE CO₂

El análisis del efecto de las revoluciones del motor sobre las emisiones de CO_2 , representado en la figura 5, demuestra que el cambio de régimen de funcionamiento del MCI no es un factor crítico en la generación de dióxido de carbono.



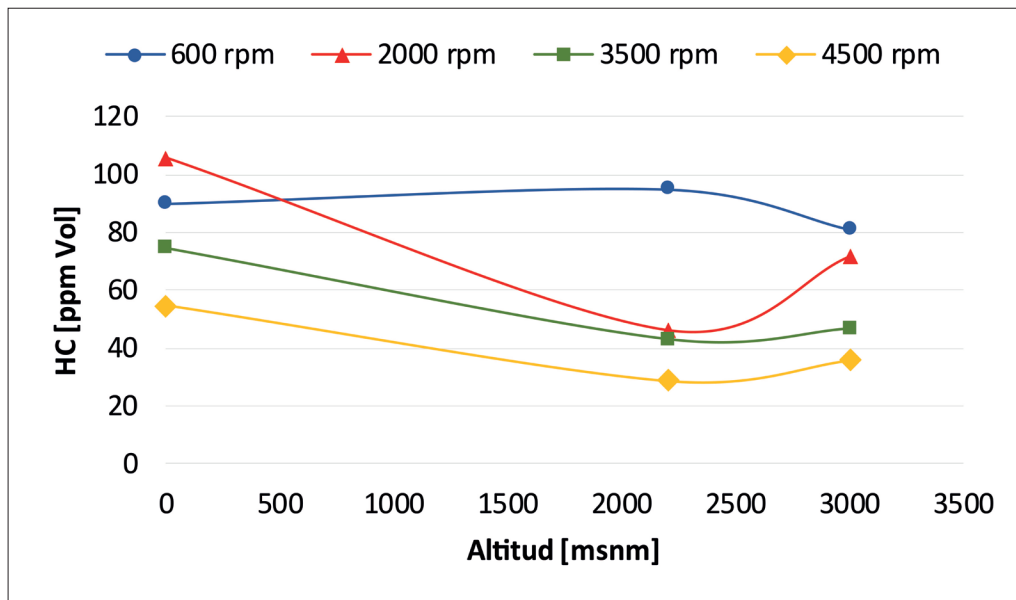
Fuente: elaboración propia.

FIGURA 5. EFECTO DE LAS REVOLUCIONES DEL MOTOR SOBRE LAS EMISIONES DE CO_2

En el análisis estadístico de la varianza realizado para las variables de altura sobre el nivel del mar y régimen de giro se determinó que la altitud tiene una incidencia más significativa en el nivel de emisiones de CO_2 , con el 95 % de confianza, mientras que las revoluciones por minuto no son relevantes en la generación de este gas.

Emisiones de HC

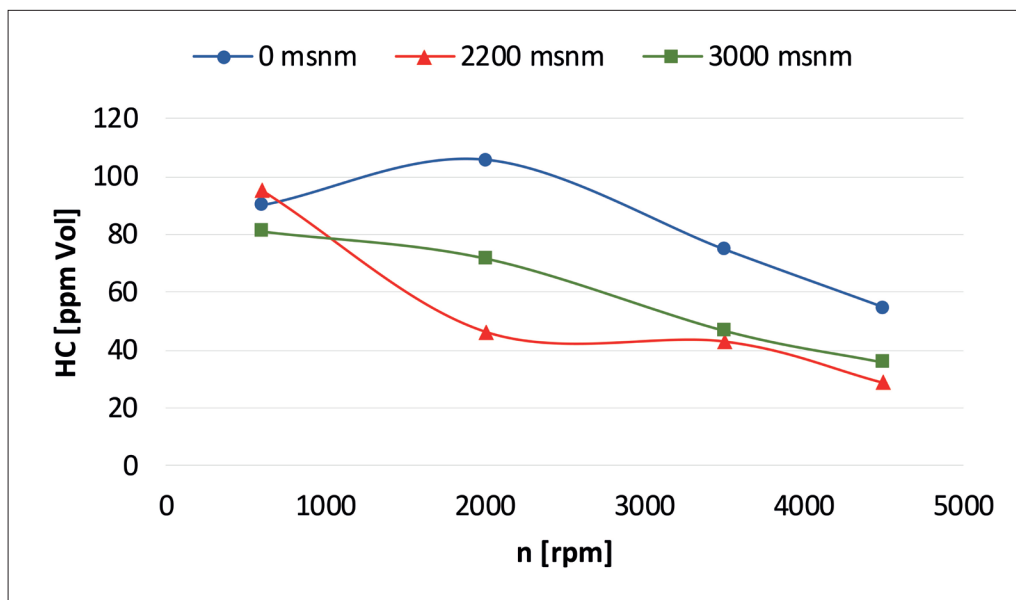
La figura 6 muestra las emisiones de hidrocarburos no combustionados con respecto a la altura sobre el nivel del mar. Se puede observar que los resultados muestran un valor elevado de HC a 0 msnm y una tendencia a disminuir conforme se incrementa la altitud. Es importante señalar que a 2200 msnm se tiene el punto más bajo. La cantidad de oxígeno y pulso de inyección son factores que inciden en la generación de HC.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 6. EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE LAS EMISIONES DE HC

Como se observa en la figura 7, las emisiones de HC disminuyen cuantiosamente al incrementar la velocidad de giro del motor, lo cual corrobora los resultados de estudios previos [11].



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 7. EFECTO DE LAS REVOLUCIONES DEL MOTOR SOBRE LAS EMISIONES DE HC

A partir del estudio estadístico Anova se establece que, para la emisión de hidrocarburos no combustionados, las revoluciones de giro del MCI son más significativas que la altitud a la que opera. Este análisis presenta los resultados con base en la varianza de los datos de estas variables con un 95 % de confianza.

Análisis de factor lambda

El factor lambda no presenta una variación significativa debido a que el sistema de gestión electrónica del vehículo regula la cantidad de combustible inyectado en relación con la cantidad de aire admitido para mantener el valor estequiométrico programado, por tanto, no se realizó un análisis de este factor puesto que no es incidente en las emisiones de gases. Es importante considerar que el sistema de inyección electrónica mide la presión atmosférica a la que se encuentra operando mediante el sensor de presión absoluta del múltiple de admisión (MAP).

4. CONCLUSIONES

Un factor significativo en la generación de emisiones contaminantes en un motor de combustión interna con encendido provocado es la cantidad de oxígeno que ingresa a la cámara de combustión, la cual disminuye conforme se incrementa la altura y se reduce la presión atmosférica. Al analizar las emisiones de monóxido de carbono respecto a la altura y la variación del régimen de motor, se determina que las revoluciones por minuto son el factor más influyente en la formación de este gas. Los resultados demuestran que a medida que se incrementan las rpm del motor, aumentan las emisiones de CO. Por otra parte, para la generación de dióxido de carbono, el factor de mayor importancia es la altitud y, por ende, la presión atmosférica a la que opera el motor. La reducción de presión atmosférica disminuye el porcentaje de volumen de CO₂ en la composición de los gases de escape.

En cuanto a los hidrocarburos no combustionados, el régimen de giro del motor influye de manera directa al disminuir el nivel de emisiones a medida que se incrementan las revoluciones del motor. Sin embargo, el efecto de la presión atmosférica sobre la emanación de HC no muestra una tendencia definida; para esto se requieren estudios adicionales que consideren otros factores, como, por ejemplo, las condiciones meteorológicas y el sistema electrónico de control de emisiones (OBD II) que intervienen en el proceso de combustión del MCI.

REFERENCIAS

- [1] J. Chenxu, L. Zilong, Q. Yong, Xiaole Wang, Z. Yahui, & L. Xingcai, «Experimental studies on the co-effects of engine operating parameters and fuel functional groups on the performance and emissions of a GDI engine», *Applied Thermal Engineering*, vol. 140, pp. 707-715, 2018. Doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.05.095
- [2] Y. Chen, M. Jinqiu, H. Bin, Z. Peng, H. Haining, C. Hao, & S. Xin, «Emissions of automobiles fueled with alternative fuels based on engine technology: a review», *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 5, n.o 4, pp. 318-334, 2018. Doi: 10.1016/j.jtte.2018.05.001
- [3] M. Baratta, A. Ferrari, & Q. Zhang, «Multi-zone thermodynamic modeling of combustion and emission formation in CNG engines using detailed chemical kinetics», *Fuel*, vol. 231, pp. 396-403, 2018. Doi: 10.1016/j.fuel.2018.05.088
- [4] L. Diaz, «Estimación de factores de emisión para vehículos automotores de gasolina», tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Ciudad de México, 2002. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/48390687.pdf>
- [5] A. Nagpure, B. Gurjar, & P. Kumar, «Impact of altitude on emission rates of ozone precursors from gasoline-driven light-duty commercial vehicles», *Atmospheric Environment*, vol. 45, n.o 7, pp. 1413-1417, 2011. doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.12.026
- [6] S. Soares, & J. Sodré, «Effects of atmospheric temperature and pressure on the performance of a vehicle», *Journal of Automobile Engineering*, vol. 216, n.o 6, pp. 473-477, 2002. Doi: 10.1243/09544070260137499
- [7] M. Lapuerta, O. Armas, J. Agudelo, & C. Sánchez, «Study of the altitude effect on internal combustion engine operation. Part 1: Performance», *Información Tecnológica*, vol. 17, n.o 5, pp. 21-30, 2006. Doi: 10.4067/S0718-07642006000500005
- [8] M. Lapuerta, O. Armas, J. Agudelo, & A. Agudelo, «Study of altitude effect on internal combustion engines operation. Part 2: Diesel Engines», *Información Tecnológica*, vol. 17, n.o 5, pp. 31-41, 2006. Doi: 10.4067/S0718-07642006000500006
- [9] J. Agudelo, A. Agudelo, & J. Pérez, «Energy and exergy analysis of a light duty diesel engine operating at different altitudes», *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, n.o 48, pp. 45-54, 2009. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302009000200005&lng=en&nrm=iso
- [10] L. Tipanluisa, A. Remache, C. Ayabaca, & S. Reina, «Emisiones contaminantes de un motor de gasolina funcionando a dos cotas con combustibles de dos calidades», *Información Tecnológica*, vol. 28, n.o 1, pp. 3-12, 2017. Doi: 10.4067/S0718-0764201700010000

- [11] N. Rivera, J. Chica, I. Zambrano, & C. García, «Estudio del comportamiento de un motor ciclo Otto de inyección electrónica respecto de la estequiometría de la mezcla y del adelanto al encendido para la ciudad de Cuenca», *Revista Politécnica*, vol. 40, n.o 1, pp. 59-67, 2017. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292017000300059&lng=es&tlng=es
- [12] Á. Ramos, R. García-Contreras, & O. Armas, «Performance, combustion timing and emissions from a light duty vehicle at different altitudes fueled with animal fat biodiesel, GTL and diesel fuels», *Applied Energy*, vol. 182, pp. 507-517, 2016. Doi: 10.1016/j.apenergy.2016.08.159
- [13] R. O'Driscoll, M. Stettler, N. Molden, T. Oxley, & H. ApSimon, «Real world CO₂ and NO_x emissions from 149 Euro 5 and 6 diesel, gasoline and hybrid passenger cars», *Science of the Total Environment*, vol. 621, pp. 282-290, 2017. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.271
- [14] Z. Efthimios, «Impact of altitude on fuel consumption of a gasoline passenger car», *Fuel*, vol. 90, n.o 6, p. 2340-2342, 2011. Doi: 10.1016/j.fuel.2011.02.004
- [15] J. Borken-Kleefeld, & Y. Chen, «New emission deterioration rates for gasoline cars. Results from long-term measurements», *Atmospheric Environment*, vol. 101, pp. 58-64, 2015. Doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.11.013