



Caracterización de los óxidos de nitrógeno emitido por motores de combustión interna en condiciones reales de trabajo

Characterization of nitrogen oxide emitted by internal combustion engines under real working conditions

Caracterização de óxidos de nitrogênio emitidos por motores de combustão interna em condições reais de trabalho

Paúl Alejandro Montúfar-Paz ^I
paul.montufar@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9062-8704>

Paul Gustavo Palmay-Paredes ^{II}
paul.palmay@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9172-4113>

Rosario del Pilar Freire-Rosero ^{III}
rfreire@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-00034421-1902>

Correspondencia: paul.montufar@epoch.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 21 de enero de 2020 ***Aceptado:** 30 de marzo de 2020 * **Publicado:** 26 de abril de 2020

- I. Maestro en Ingeniería Automotriz, Ingeniero Automotriz, Docente de la Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Gestión Ambiental, Riobamba. Ecuador.
- II. Máster en Ingeniería Termodinámica de Fluidos, Ingeniero Químico, Docente de la Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Magíster en Protección Ambiental, Ingeniero Químico, Tecnóloga Química Industrial, Docente de la Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

La investigación realiza un análisis sobre el impacto que tienen ciertos parámetros endógenos y exógenos de operación del motor S.I¹ sobre la generación de óxidos de nitrógeno. Los parámetros endógenos de operación estudiados fueron: la temperatura de operación del motor, la carga de trabajo, y el vacío generado en el múltiple de admisión. De igual manera se estudia el impacto de la altitud a la que opera el motor, considerando como determinante en la eficiencia del mismo. Las mediciones para realizar el presente estudio se las realizaron en condiciones normales de ruta donde los conductores fueron asignados aleatoriamente recorrieron las principales vías de conexión entre centros laborales e industriales con centros domiciliarios ubicados en la ciudad de Riobamba, con una altitud fluctuante entre los 2700 y 3100 msnm, en vista de la necesidad de estudios científicos inherentes al trabajo del motor S.I en altura pues la gran cantidad de estudios realizados fueron a nivel del mar en las principales urbes, dejando de lado consideraciones geográficas de América Latina, donde la gran cantidad de ciudades se encuentran sobre los 2000 msnm. Las pruebas se las realizaron durante 8 meses en 20 vehículos livianos de las marcas de mayor presencia en la localidad, propulsados por gasolina extra de 87° de octanaje, a lo largo de las principales vías de la localidad, buscando de esta manera replicar la modalidad de conducción normal en la localidad RDE². A partir del análisis de 90 000 clústers de datos se encontró una fuerte dependencia entre la altitud y la temperatura de operación del motor.

Palabras claves: Caracterización; óxidos de nitrógeno; combustión interna.

Abstract

The research analyzes the impact that certain endogenous and exogenous operating parameters of the S.I engine have on the generation of nitrogen oxides. The endogenous operating parameters studied were the engine operating temperature, the workload, and the vacuum generated in the intake manifold. In the same way, the impact of the altitude at which the engine operates is studied, considering it as a determining factor in its efficiency. The measurements to carry out the present study were made under normal road conditions where drivers were randomly assigned to walk the main connection routes between labor and industrial centers with home centers located in the city of Riobamba, with a fluctuating altitude between 2700 and 3,100 meters above sea

¹ Spark Ignición, motor de encendido provocado

² Real Driving Emission

level, in view of the need for scientific studies inherent in the work of the SI motor at height since the large number of studies carried out were at sea level in the main cities, leaving aside geographical considerations of Latin America, where the large number of cities are over 2000 masl. The tests were carried out for 8 months in 20 light vehicles of the brands with the largest presence in the town, powered by extra 87° octane gasoline, along the main roads of the town, thus seeking to replicate the modality. normal driving in the RDE locality. From the analysis of 90,000 data clusters, a strong dependence was found between altitude and engine operating temperature.

Resumo

A pesquisa analisa o impacto que determinados parâmetros operacionais endógenos e exógenos do motor S.I [Spark Ignition, Ignition Engine Caused] têm na geração de óxidos de nitrogênio. Os parâmetros operacionais endógenos estudados foram: a temperatura operacional do motor, a carga de trabalho e o vácuo gerado no coletor de admissão. Da mesma forma, estuda-se o impacto da altitude em que o motor opera, considerando-o como um fator determinante em sua eficiência. As medições para a realização do presente estudo foram feitas em condições normais de estrada, onde os motoristas foram designados aleatoriamente para percorrer as principais rotas de conexão entre os centros laborais e industriais com os domicílios localizados na cidade de Riobamba, com altitude fluante entre 2700 e 3.100 msnm, tendo em vista a necessidade de estudos científicos inerentes ao trabalho do motor SI em altura, uma vez que o grande número de estudos realizados ocorreu ao nível do mar nas principais cidades, deixando de lado considerações geográficas da América Latina, onde o grande número de cidades são mais de 2000 masl. Os testes foram realizados por 8 meses em 20 veículos leves das marcas com maior presença na cidade, movidos a gasolina extra de octanagem a 87 °, nas principais vias da cidade, buscando replicar a modalidade. condução normal no local RDE [Real Driving Emission]. A partir da análise de 90.000 clusters de dados, foi encontrada uma forte dependência entre altitude e temperatura de operação do motor.

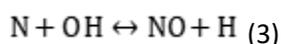
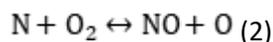
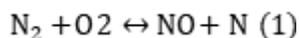
Introducción

Factores como la temperatura del motor y la altitud sobre la cual opera mostraron una relación directa con la generación de óxidos de nitrógeno, abriendo de esta manera una ventana a la

investigación de dispositivos que logren disminuir significativamente la generación de este compuesto químico que envenena diariamente a los habitantes de las principales ciudades del mundo afectando a l sistema respiratorio y particularmente a las células pulmonares y que en mayores concentraciones produce quemaduras a la piel, ojos y garganta llevando de esta manera a acumular líquido en los pulmones e incluso la muerte. Respirarlo durante periodos largos de tiempo en bajas concentraciones puede provocar enfisemas pulmonares semejantes al causado por el consumo permanente de cigarrillo.(Gastón et al., 1994)

El rendimiento de un motor de combustión decae conforme se incrementa la altitud debido a que la densidad del mismo disminuye, modificando la composición del aire es decir la eficiencia volumétrica del mismo disminuye aún más, considerando que los motores sobre los que se realizaron las pruebas son de aspiración natural. Las prestaciones de un motor vienen planteadas o delimitadas principalmente por la cantidad másica de oxígeno que ingresa al motor y una disminución en la presión que empujan los gases al motor disminuye el modo como se apilan unas contra otras las moléculas en la cámara de combustión. (Lapuerta et al., 2006) Si bien existen disminución en la resistencia del cilindro en la fase de bombeo, disminuyendo con esto las pérdidas mecánicas, en varios estudios se han determinado que dicha disminución es menos significativa que la potencia que se pierde producto de la deficiencia en la cantidad de oxígeno que ingresa al motor.

Los NO_x son designados los óxidos de nitrógeno, la presencia el óxido de nitrógeno NO es dominante sobre el NO_2 por sus condiciones de cinética química. El mecanismo térmico de producción del NO es la principal causa de formación la mismo que se lleva a cabo a altas temperatura. El oxígeno por si solo incluso a elevadas temperaturas no logra romper el fuerte enlace del nitrógeno molecular debido a la baja velocidad de reacción, por lo tanto su formación se justifica principalmente bajo el mecanismo de Zeldovich y su enunciado de formación en cadena para mezclas cercanas a la estequiométrica.(Montúfar Paz et al., 2019)



Este mecanismo de formación requiere de una entrega importante de calor al sistema ($>319\text{Kj/Kmol}$) lo que indica su fuerte dependencia a las altas temperaturas, superiores a las 2000K , estas condiciones vienen de la mano de fases de operación de alto torque y mejores condiciones de mezcla, adelantos en el tiempo de inyección también han sido estudiadas como factores que fomentan la formación de los óxidos de nitrógeno.(F. payri, n.d.)

Lo manifestado muestra que las reacciones se dan mucho más a mayores temperaturas de la cámara de combustión, a mayor temperatura más nitrógeno diatómico se disociara en nitrógeno monoatómico formando mayor concentración de NO_x , a condiciones de par máximo, es decir una presión media efectiva (pme) en su punto más alto pueden desencadenar la formación del monóxido de nitrógeno. Aunque conforme al estudio termodinámico la temperatura de la cámara depende de condiciones de mezcla estequiométrica ($\lambda=1$) se ha determinado experimentalmente que valores de $\lambda < 1$, cercanos a 0.95 , desencadenan la mayor formación de óxidos de nitrógeno. En la figura 1 se puede apreciar como el incremento en el tiempo de combustión genera también incremento en la concentración de NO_x respecto a la cantidad de emisiones expulsadas al ambiente,

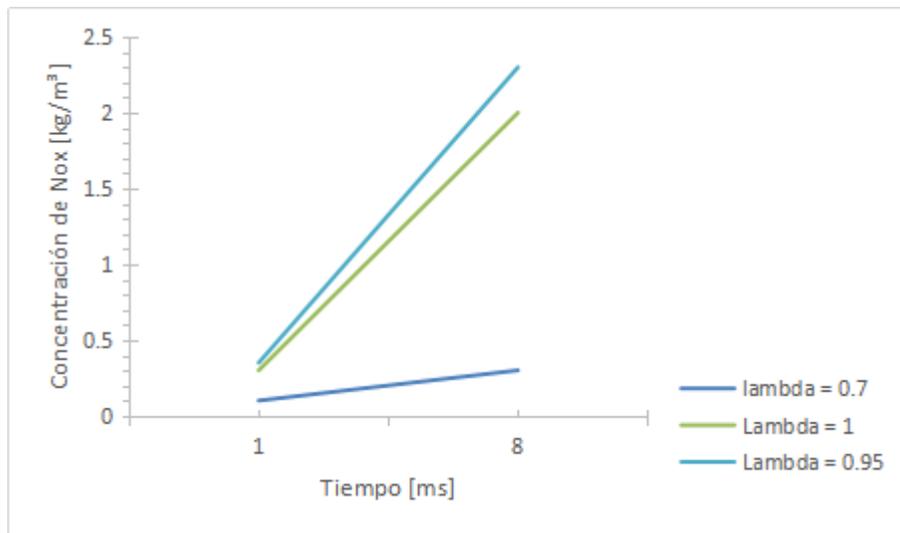


Figura 1. Concentración de los óxidos de nitrógeno en función del tiempo de combustión

Las emisiones de los óxidos de nitrógeno generan mayor complicación de reducir en vista de que mientras otras emisiones como el monóxido de carbono y los hidrocarburos disminuyen a mayor eficiencia termodinámica y volumétrica del proceso de combustión, en una zona cercana a la

relación estequiométrica, incluso la eficiencia de consumo de combustible es menor, por el contrario, cercana a esta zona es que se encuentra la mayor concentración de este toxico contaminante. Por este motivo es que entre las múltiples estrategias que se han utilizado para disminuir la concentración de los óxidos de nitrógeno al escape está disminuir la eficiencia termodinámica del motor diluyendo la concentración de aire que ingresa al cilindro adicionando gases inertes de la combustión por medio de la válvula EGR, principalmente utilizada en motores de encendido por compresión. Para motores de S.I³ el principal causante de esta emisión son las temperaturas altas en la cámara, mientras que para un motor C.I⁴ el principal causante es el exceso de aire en la mezcla.

El presente estudio proporciona de un modo experimental nuevos canales de análisis sobre la formación de este gas, bajo condiciones de trabajo reales en condiciones de altura considerando que una vez que el motor trabaja en close- loop ⁵ la cantidad de combustible también es disminuida a través del control del tiempo de inyección lo cual empobrece la mezcla y con ello la temperatura de la cámara se incrementa.

Metodología

El proceso para la adquisición de datos se lo dividió en tres fases: selección de ruta, instrumentación de los automóviles y procesamiento de la información. La selección de ruta fue aleatoria conforme a un registro anual de las principales rutas de conexión entre polos laborales y domiciliuales de la ciudad, buscando de esta manera recoger el pulso vehicular de la localidad.

La instrumentación de los automóviles para encontrar los parámetros de funcionamiento se lo realiza utilizando el protocolo de comunicación OBDII y EOBD con el que cuentan los automóviles desde 1996 y mediante el cual se puede obtener en tiempo real las señales de los sensores y actuadores electrónicos con los que cuenta el automóvil (temperatura del motor, flujo de aire que ingresa al motor, relación aire combustible en la mezcla, flujo instantáneo de combustible, tiempo de inyección de combustible, etc.) datos que como se mencionará posteriormente permiten caracterizar los puntos de operación del motor. De la mano de estas

³ Spark Ignition, motores de encendido provocado

⁴ Compression ignition, motores de encendido por compresión

⁵ Lazo cerrado, momento en que la señal del sensor de oxígeno retroalimenta la computadora del automóvil para determinar la proporción de combustible que es inyectada a la cámara respecto a la cantidad de aire que es monitoreada ingresando al motor.

lecturas se realizó el monitoreo y registro de emisiones volumétricas de: CO_2 , CO , THC , NO_x , O_2 mediante el analizador Maha Met 6.3 con registro de datos en tiempo real, a una frecuencia de 1 Hz.

Finalmente se realizó el filtrado y sincronizado de las dos bases de datos obtenidas durante 90 000 mediciones con el propósito de eliminar lecturas atípicas que no responden a la naturaleza de las particularidades de cada dato. Las lecturas de emisiones debido al tiempo de respuesta y registro mantienen un retraso de entre 2 y 7 segundos respecto a las lecturas del dispositivo OBD2 por lo cual fue necesario calibrar independientemente este desfase para lograr sincronizar las bases de datos hasta encontrar el más alto coeficiente de correlación de Pearson. La figura 2 muestra el diagrama de flujo de instrumentación, adquisición y procesamiento de análisis realizado en el presente trabajo.

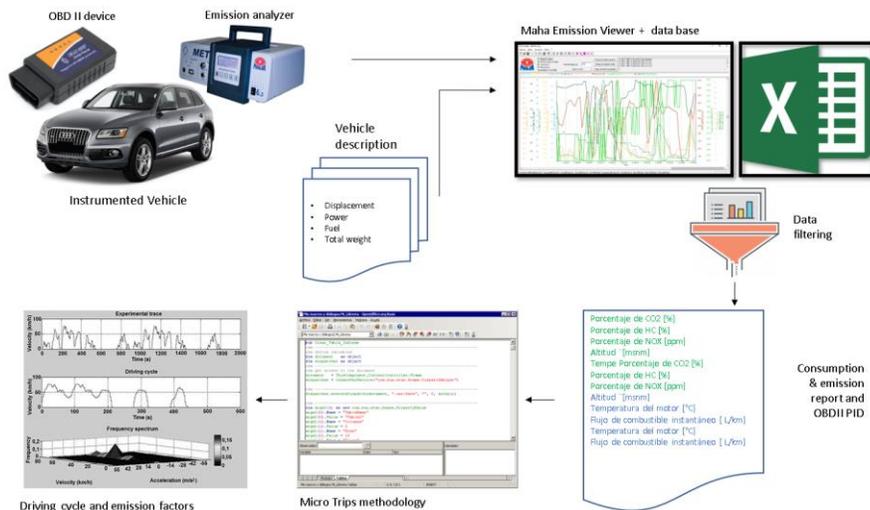


Figura 2. Diagrama simplificado del proceso de análisis dinámico para la caracterización de las emisiones de los óxidos de nitrógeno

Una vez que se adquirieron cerca de 90 000 clústers de mediciones en un ciclo real de trabajo se procedió a ordenar la información de tal manera que se obtuvo un ciclo de conducción representativo para la localidad bajo el método de micro viajes, el ciclo esta mostrado en la figura 3 y sus parámetros característicos en la tabla 1. Si bien bajo la normativa utilizada para la evaluación de consumo y emisiones es la NTE INEN 2204, donde se aplica el ciclo ECE 15 + EUDC, ciclo legislativo de Estados Unidos que tiene como características: distancia de 11 017

metros, 1220 segundos y una velocidad promedio de 32.5 km/h, se buscó un ciclo RDE que sea lo más ajustado al pulso vial de la localidad, para obtener datos representativos de una ciudad típica de América Latina en su tamaño y altitud.(Tong & Hung, 2010)

La técnica de micro viajes consiste en clusterizar el total de mediciones conforme a como se asocian en sus parámetros de velocidad y aceleración, buscando agruparlos entre los grupos que muestren menor distancia con sus polos de aglomeración tal como lo muestra la figura 3. Para de esta manera hacer una selección ponderada por el tamaño de los mismos y de este modo seleccionar un micro viaje aleatoriamente y agruparlos manteniendo parámetros característicos promedio del ciclo completo, figura 4.(Jiménez-Alonso et al., 2013)(Giraldo & Huertas, 2019)

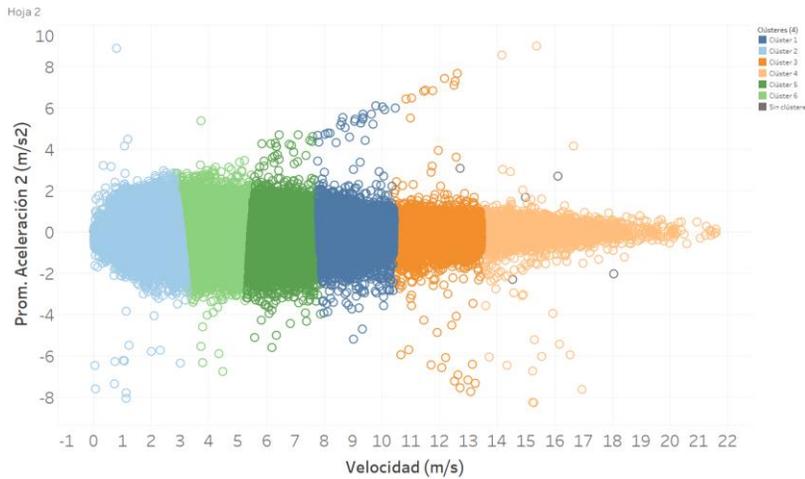


Figura 3. Diagrama grafico del proceso de clusterización para ponderar la recurrencia de eventos en la construcción de ciclos de conducción por micro viajes

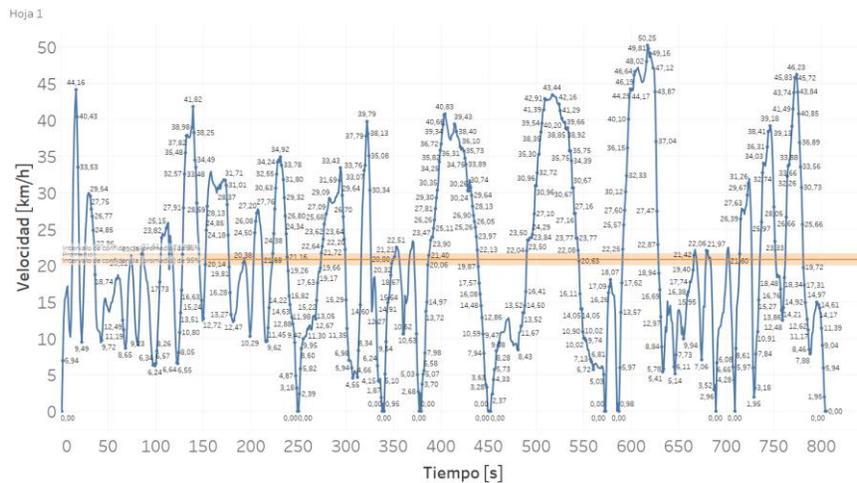


Figura 4. Ciclo de conducción para la ciudad de Riobamba

A partir del ciclo de conducción mostrado en la figura 4 se realiza las mediciones volumétricas de las emisiones generadas por los diferentes vehículos sobre los que se realizaron las pruebas.

Tabla 1. Parámetros característicos del ciclo de conducción obtenido para la ciudad de Riobamba

Definición de parámetros característicos del ciclo de conducción			
Relación	Tipo de relación	Valor	Unidad m,s
Distancia	Distancia total	4791,238	m
Tiempo	Tiempo Total	772,000	s
	Tiempo en conducción	738,000	s
	Tiempo en ralentí	34,000	s
Velocidad	Velocidad media de ruta	6,206	m/s
	Velocidad media de conducción	6,492	m/s
	Velocidad máxima	16,627	m/s
Aceleración	Aceleración media	0,000	m/s ²
	Aceleración media positiva	0,520	m/s ²
	Aceleración máxima	3,750	m/s ²
Paradas	Número de paradas	21,000	
	Paradas por Km	4,383	
Dinámica	Aceleración positiva relativa	0,055	m/s ²
	Energía cinética positiva	0,364	m/s
Motor	Consumo de combustible		
	Media de consumo de viaje	10,661	kpl
	Litros por cada 100 km instantáneos	16,546	l/100km
	Promedio de temperatura de motor	86,576	°C

Las marcas seleccionadas para realizar las pruebas de conducción fueron seleccionadas por ser las de mayor venta en el mercado automotriz actual y se muestran en la tabla 2.

Tabla 2 Marcas de vehículos que fueron ocupados para realizar las pruebas de ciclos de conducción

Vehículo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tipo	Furgoneta	Sedan	Hatchback	Sedan	Sedan	Sedan	Sedan	Sedan	Suv	Camioneta
Combustible	G2	G	G	G	G	G	G	G	G	G
Estándar de emisiones	EURO III	EURO IV	EURO V	EURO V	EURO IV	EURO IV	EURO IV	EURO IV	EURO V	EURO IV
Cilindrada CC.	1173	1399	1397	1397	1498	1498	1598	1799	1984	2237
Relación de compresión	10:1	10:1	10.5:1	10.5:1	9.5:1	9.5:1	10.5:1	9.8:1	9.6:1	10:1
Tipo de admisión	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Turbo cargado	NA
Tipo de inyección	MPFI	MPI CVT	MPI CVT	MPI CVT	MPFI	MPFI	MPI	MPI	TFSI	MPFI
Torque máximo Nm-RPM	106 @ 3500 - 4500	136 @ 5000	137 @ 5000	138 @ 5000	128 @ 3000	128 @ 3000	153 @ 3800	165 @ 4000	350 @ 1500 - 4500	190 @ 2.800
Potencia máxima KW-PRM	59 @ 6000	79 @ 6300	67 @ 6200	68 @ 6200	62 @ 5600	62 @ 5600	77 @ 5800	89,55 @ 5800	171.5 @ 4700 - 6200	79 @ 4600
Peso en vacío Kg.	1230	1133	1263	1074	1040	1040	5	1211	1830	1740

El mecanismo de balance de carbonos fue el utilizado para determinar los factores de emisión en el escape, no fue otra cosa que realizar el balance de la ecuación 4, para determinar la relación estequiométrica presente instantáneamente en la mezcla.



Los coeficientes (B,D,E,F,G,I,J,L) presentes en la ecuación se los obtiene del analizador de emisiones Maha Met6.3 con su opción de datos en tiempo real, Maha Emission Viewer. A partir de estos datos se realiza el balance químico de la ecuación para determinar la relación aire combustible de la mezcla. Utilizando el valor de la señal del MAF⁶ y la relación aire combustible se determina el consumo instantáneo de combustible y con esta información es posible determinar los factores de emisión de cada uno de los gases monitoreados.

Resultados y Discusión

El ciclo presente en la localidad demuestra que la conducción es lenta por su velocidad promedio de 23 km/h pero agresiva por el número e intensidad de las aceleraciones presentes en el desarrollo del ciclo, este efecto de la aceleración y el ritmo vial de la ciudad tiene también efecto directo sobre el consumo y por ende en sobre la generación de emisiones contaminantes. Como se puede ver en la figura 5 consumo de combustible se incrementa considerablemente en tramos del ciclo

⁶ Measure air Flow, Sensor de volumen de aire que a partir del voltaje requerido para mantener la temperatura de un hilo caliente instrumentado determina la masa de aire que ingresa al motor por unidad de tiempo.

con aceleraciones bruscas y con velocidades superiores a los 40 km/h para vehículos con motores grandes (superiores a 2000 cc).

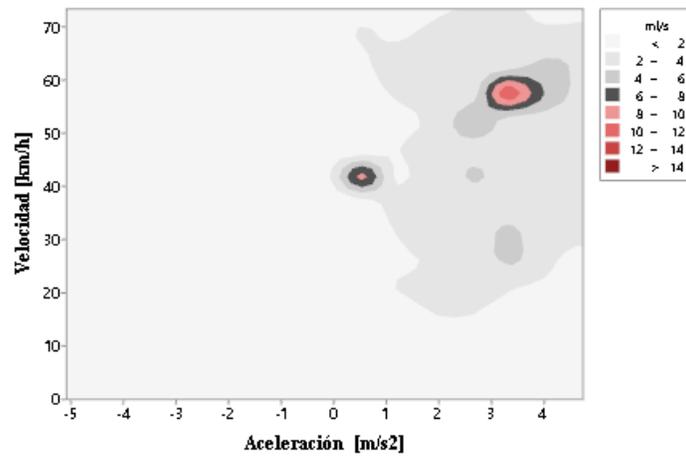


Figura 5. Consumo instantáneo de combustible en función de la velocidad y aceleración

Para el caso de motores con cilindradas más pequeñas, inferiores a 1600 cc, se evidencia en la figura 6 y 7 un consumo instantáneo menor, pero la tendencia de incrementarse con valores de aceleraciones mayores y a mayor velocidad se mantiene.

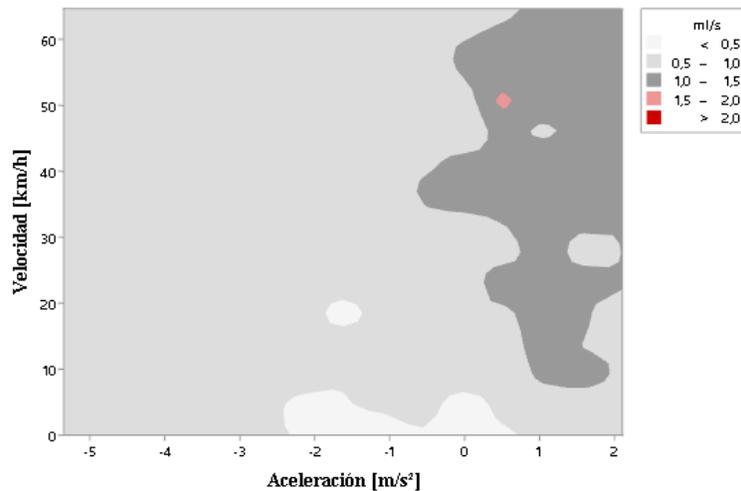


Figura 6 Perfil de consumo de un motor 1000 cc de combustión interna respecto a parámetros característicos de operación como velocidad y aceleración

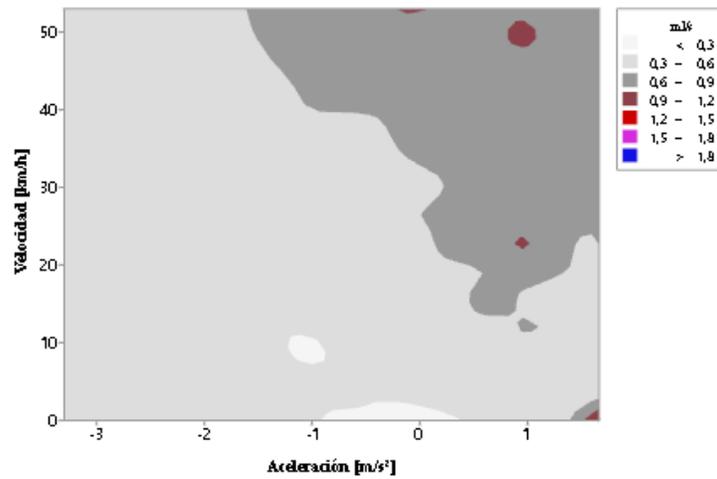


Figura 7. Perfil de consumo de un motor 1600 cc de combustión interna respecto a parámetros característicos de operación como velocidad y aceleración

Un primer antecedente en el análisis del comportamiento de las emisiones claramente es la evaluación de las zonas de conducción donde el consumo se incrementa pues esto se relaciona directamente con la cantidad de emisiones generadas. Una vez realizado el levantamiento de la información se determinó un factor determinante que puede ser el punto de partida en el desarrollo de futuras investigaciones, las emisiones del monóxido de nitrógeno muestran una fuerte dependencia con la temperatura del motor como se lo puede verificar en la imagen siguiente.

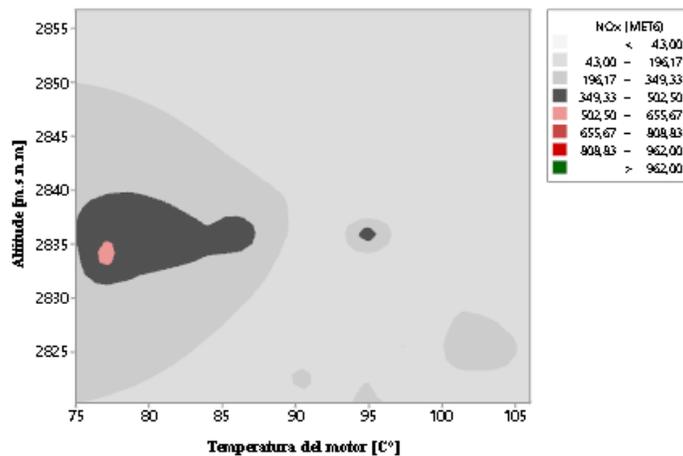


Figura 8. Contorno de respuesta de las emisiones de óxido de nitrógeno en función de la altitud y temperatura de funcionamiento del motor

Un aspecto concluyente en el presente estudio es que aceleraciones positivas altas acompañadas de velocidades altas son precursoras de mayor consumo del automóvil y esto de la mano con un motor frío puede desencadenar la mayor concentración de óxidos de nitrógeno con valores superiores a las 500 ppm. En el histograma 3d mostrado en la figura 9 es posible verificar las zonas de trabajo referente a velocidad y aceleración donde bajo el ciclo de conducción normal de una ciudad de 60 000 autos circulando diariamente con un nivel de tráfico promedio con más de 2700 msnm se desarrolla un vehículo liviano.

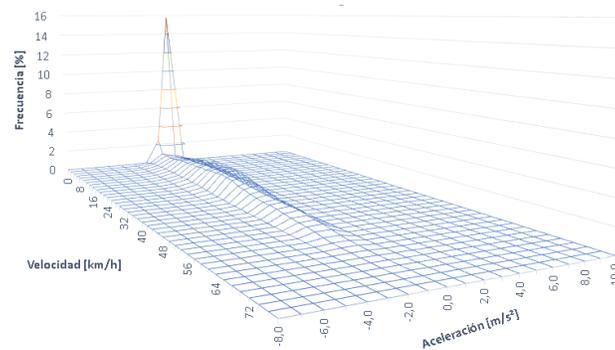


Figura 9. Histograma de frecuencia 3d que describe el patrón de conducción de Riobamba

En la figura 10 se puede verificar los diferentes programas legislativos e investigativos que rigen la construcción de los ciclos de conducción y el rango sobre el cuál se distribuyen sus aceleraciones y de la mano de la tabla 3 permiten verificar que las aceleraciones pronunciadas son el factor común en cada uno de los ciclos de conducción lo cual da la importancia del análisis del modo de conducción y su análisis sobre la generación de emisiones contaminantes, una de ellas los óxidos de nitrógeno, sin embargo también está presente: el monóxido de carbono, el dióxido de carbono, los hidrocarburos, etc.

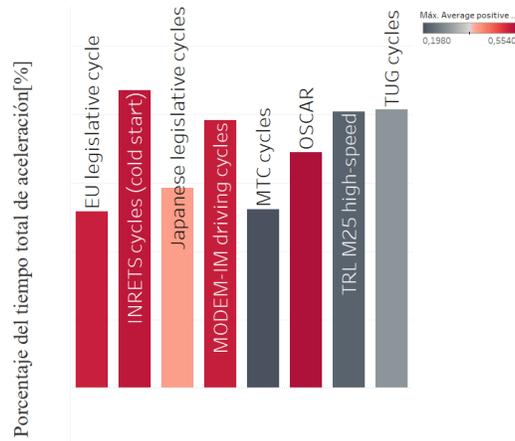


Figura 10. Diferentes programas de ciclos de conducción con sus aceleraciones promedio

Tabla 3. Aceleraciones en valor y porcentaje de ocurrencia para los diferentes programas que rigen la construcción del ciclo de conducción

<i>Programa</i>	<i>Aceleración Max[m/s²]</i>	<i>Porcentaje de aceleración [%]</i>
<i>TUG cycles</i>	0,292	40,78
<i>TRL M25 high-speed</i>	0,221	40,43
<i>OSCAR</i>	0,554	34,452
<i>MTC cycles</i>	0,198	26,09
<i>MODEM-IM driving cycles</i>	0,531	39,23
<i>Japanese legislative cycles</i>	0,407	29,22
<i>INRETS cycles (cold start)</i>	0,539	43,5275
<i>EU legislative cycle</i>	0,528	25,774

La figura 11 muestra los diferentes ciclos de conducción alrededor del mundo junto con sus programas de regulación y sus velocidades máximas y promedio sobre las que operan, filtrado por el tiempo promedio del ciclo de 25 minutos y con un recorrido inferior a 10 km, debido a las características viales de la localidad.

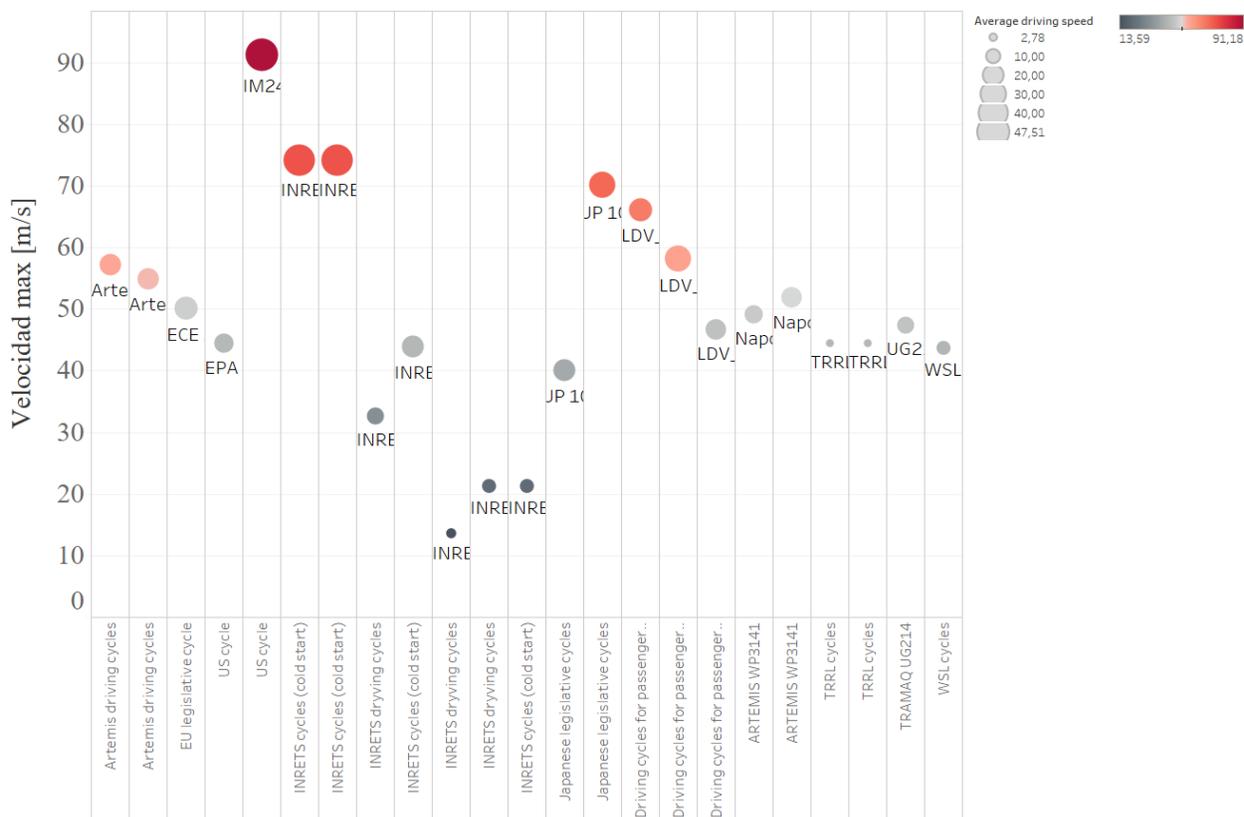


Figura 11. Velocidades máximas y promedio para los ciclos de conducción

Referencias

1. F. payri. (n.d.). MCIA F. Payri.pdf.
2. Gaston, B., Drazen, J. M., Loscalzo, J., & Stamler, J. S. (1994). The biology of nitrogen oxides in the airways. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 149(2 I), 538–551. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.149.2.7508323>
3. Giraldo, M., & Huertas, J. I. (2019). Real emissions, driving patterns and fuel consumption of in-use diesel buses operating at high altitude. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 77, 21–36. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.10.004>
4. Jiménez-Alonso, F., Román-De Andrés, A., & López-Martínez, J. M. (2013). Determinación de ciclos de conducción en rutas urbanas fijas. In Dyna (Spain) (Vol. 88, Issue 6, pp. 685–692). <https://doi.org/10.6036/5751>
5. Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J. R., & Agudelo, A. F. (2006). Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 2: Motores

Diesel. *Información Tecnológica*, 17(5), 31–41. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000500006>

6. Montúfar Paz, P., Abad Padilla, C., Quinga, M. I., & Razo Cifuentes, A. V. (2019). Análisis de los factores de emisión dinámicos para el vehículo Toyota Hi Lux con motor de Ciclo Otto S.I para altitudes superiores a los 2500 metros. *Ciencia Digital*, 3(2), 602–619. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.469>
7. Tong, H. Y., & Hung, W. T. (2010). A framework for developing driving cycles with on-road driving data. *Transport Reviews*, 30(5), 589–615. <https://doi.org/10.1080/01441640903286134>

References

1. F. payri. (n.d.). MCIA F. Payri.pdf.
2. Gaston, B., Drazen, J. M., Loscalzo, J., & Stamler, J. S. (1994). The biology of nitrogen oxides in the airways. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 149 (2 D), 538–551. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.149.2.7508323>
3. Giraldo, M., & Huertas, J. I. (2019). Real emissions, driving patterns and fuel consumption of in-use diesel buses operating at high altitude. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 77, 21–36. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.10.004>
4. Jiménez-Alonso, F., Román-De Andrés, A., & López-Martínez, J. M. (2013). Determination of driving cycles on fixed urban routes. In *Dyna (Spain)* (Vol. 88, Issue 6, pp. 685–692). <https://doi.org/10.6036/5751>
5. Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J. R., & Agudelo, A. F. (2006). Study of the Effect of Altitude on the Behavior of Internal Combustion Engines. Part 2: Diesel Engines. *Information Technology*, 17 (5), 31–41. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000500006>
6. Montúfar Paz, P., Abad Padilla, C., Quinga, M. I., & Razo Cifuentes, A. V. (2019). Analysis of dynamic emission factors for Toyota Hi Lux vehicle with Otto S.I Cycle engine for altitudes above 2500 meters. *Digital Science*, 3 (2), 602–619. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.469>
7. Tong, H. Y., & Hung, W. T. (2010). A framework for developing driving cycles with on-road driving data. *Transport Reviews*, 30 (5), 589–615. <https://doi.org/10.1080/01441640903286134>

Referências

1. F. payri. (n.d.). MCIA F. Payri.pdf.
2. Gaston, B., Drazen, J.M., Loscalzo, J., & Stamler, J.S. (1994). A biologia dos óxidos de nitrogênio nas vias aéreas. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 149 (2 I), 538–551. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.149.2.7508323>
3. Giraldo, M., & Huertas, J. I. (2019). Emissões reais, padrões de direção e consumo de combustível de ônibus a diesel em operação, operando em grandes altitudes. *Pesquisa de transporte Parte D: Transporte e meio ambiente*, 77, 21–36. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.10.004>
4. Jiménez-Alonso, F., Román-De Andrés, A., & López-Martínez, J.M. (2013). Determinação de ciclos de condução em rotas urbanas fixas. In *Dyna (Espanha)* (Vol. 88, Edição 6, pp. 685–692). <https://doi.org/10.6036/5751>
5. Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J.R. & Agudelo, A.F. (2006). Estudo do efeito da altitude no comportamento de motores de combustão interna. Parte 2: Motores Diesel. *Tecnologia da Informação*, 17 (5), 31–41. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000500006>
6. Montúfar Paz, P., Abad Padilla, C., Quinga, M. I., & Razo Cifuentes, A. V. (2019). Análise de fatores de emissão dinâmicos para veículo Toyota Hi Lux com motor Otto S.I Cycle para altitudes acima de 2500 metros. *Ciência Digital*, 3 (2), 602–619. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.469>
7. Tong, H.Y. & Hung, W.T. (2010). Uma estrutura para o desenvolvimento de ciclos de condução com dados de condução na estrada. *Transport Reviews*, 30 (5), 589-615. <https://doi.org/10.1080/01441640903286134>

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).