



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS EMISIONES DE CO₂, CO Y DEL FACTOR LAMBDA DE UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN CONVENCIONAL CON CATALIZADOR Y SIN CATALIZADOR

ANALYSIS OF BEHAVIOR OF CO₂ EMISSIONS, CO AND THE LAMBDA FACTOR OF A VEHICLE WITH A CONVENTIONAL INJECTION SYSTEM WITH CATALYST AND WITHOUT CATALYST

Edgar Vicente Rojas Reinoso^{1,*}, Vicente Javier Romero Hidalgo²,
Johnny Marcelo Pancha Ramos²

Resumen

El análisis del comportamiento de emisiones de CO, CO₂ sirve para determinar el comportamiento del ciclo de trabajo del motor, además de la verificación de la gráfica del factor lambda, para lo cual se realiza el estudio de la importancia de un catalizador porque en algunas ocasiones los propietarios de los vehículos deciden eliminar el convertidor catalítico de la línea de salida de los gases combustionados del motor y así circulan por las vías del Ecuador desconociendo la afectación hacia la salud de los ciudadanos y la contaminación directa hacia el medioambiente. Con el análisis del funcionamiento y características de las emisiones contaminantes de un motor de combustión interna ciclo Otto se generan modelos de control para la proyección de la cantidad de gases contaminantes que se emiten al eliminar el convertidor catalítico y de tal forma establecer los niveles de emisiones que un vehículo sin catalizador genera, a pesar de que el motor se encuentre en óptimas condiciones de funcionamiento en diferentes regímenes de giro.

Palabras clave: catalizador, ciclo Otto, gases de combustión, mitigación ambiental.

Abstract

The analysis of the behavior of emissions of CO, CO₂ are clear to determine the behavior of the engine work cycle in addition to the verification of the graph of the lambda factor, for which the study of the importance of a catalyst is performed because sometimes the owners of the vehicles decide to eliminate the catalytic converter from the output line of the combustion gases of the engine and circulate along the roads of Ecuador ignoring the impact on the health of citizens and direct pollution towards the environment. With the analysis of the operation and characteristics of the pollutant emissions of an internal combustion engine Otto cycle, control models are generated for the projection of the amount of pollutant gases that are emitted when eliminating the catalytic converter and thereby establishing the emission levels that a vehicle without a catalyst is generated despite the fact that the engine is in optimal operating conditions at different speeds.

Keywords: catalyst, environmental mitigation, Otto cycle, Pollution.

^{1,*}Docente Investigador, Ingeniería Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Autor para correspondencia ✉: erojas@ups.edu.ec. <http://orcid.org/0000-0001-5658-3055>

²Docente Investigador, Ingeniería Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

<http://orcid.org/0000-0003-2317-7071>, <http://orcid.org/0000-0001-7320-2154>

Recibido: 30-05-2019, aprobado tras revisión: 31-10-2019

Forma sugerida de citación: Rojas Reinoso, E. V.; Romero Hidalgo, V. J. y Pancha Ramos, J. M. (2020). «Análisis del comportamiento de las emisiones de CO₂, CO y del factor lambda de un vehículo con sistema de inyección convencional con catalizador y sin catalizador». INGENIUS. N.º 23, (enero-junio). pp. 23-29. DOI: <https://doi.org/10.17163/ings.n23.2020.02>.

1. Introducción

En la actualidad las emisiones contaminantes de un vehículo son factores en constante análisis y estudio para lograr motores más eficientes y con niveles bajos de emisiones contaminantes. Durante varios años los vehículos han sido considerados como una fuente importante de emisiones contaminantes hacia el ambiente debido al uso de motores de combustión interna. Durante el desarrollo del ciclo de funcionamiento del motor y logrando una combustión ideal se obtendría nitrógeno molecular (N_2), agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2). Pero como resultado de los ciclos de funcionamiento de un motor térmico la combustión no llega a ser perfecta, dando lugar a que se generen elementos adicionales como son compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre, humos negros, compuesto de plomo y óxidos de nitrógeno (NO y NO_2) [1]. Entre algunas de las estrategias para reducir los niveles de gases contaminantes se encuentra el uso de convertidores catalíticos a la salida de los gases combustionados del motor mediante reacciones químicas e influenciadas por condiciones como la temperatura, presión y la aplicación de materiales que interactúan con los gases de escape [2]. El uso y aplicación de estos convertidores catalíticos se han desarrollado mediante estudios realizados por cada uno de los fabricantes para que sus vehículos sean más amigables con el medioambiente; de ahí la necesidad de mantenerlos instalados.

La importancia del estudio se ha definido mediante el análisis de los gases contaminantes cuando se elimina el convertidor catalítico; en el cual se considera los valores iniciales de los gases de escape con el convertidor instalado y los valores obtenidos cuando se deja de usarlo para definir un modelo matemático que prediga la importancia de no suspender o desinstalar un convertidor catalítico en la línea de escape.

1.1. Emisiones contaminantes

Los gases contaminantes que se originan en los vehículos actúan como irritantes en las vías respiratorias, perjudican los tejidos alterando su permeabilidad, haciendo que estos sean más vulnerables a desarrollar enfermedades respiratorias y puedan aparecer infecciones virales o bacterianas.

El monóxido de nitrógeno (NO) se forma por la reacción de nitrógeno y oxígeno, a altas temperaturas en la cámara de combustión. El dióxido de nitrógeno (NO_2) es un gas rojizo e irritante que al ser inhalado se adhiere en la mucosa nasal formando ácido nítrico. La generación de este ácido provoca una reacción inmediata: la irritación de las vías respiratorias juntamente con un malestar en los ojos; los pulmones son afectados provocando problemas respiratorios y reacciones broncopulmonares.

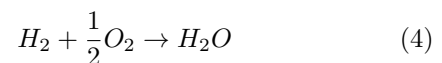
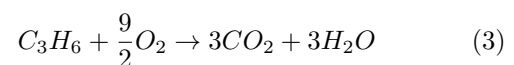
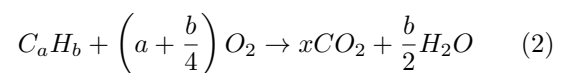
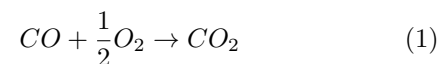
El monóxido de carbono (CO) se genera por la combustión incompleta del combustible por la presencia de bajos niveles de oxígeno; se debe considerar que el monóxido de carbono aumenta con la variación de la relación aire-combustible durante la mezcla. Los hidrocarburos no quemados (HC) producen irritación en los ojos y afectan directamente a las mucosas de las vías respiratorias, además, puede causar un efecto narcótico y son compuestos cancerígenos. Los hidrocarburos son los causantes de la presencia de lluvias ácidas y juntamente con los rayos ultravioletas producen el humo fotoquímico [3].

1.1.1. Convertidor catalítico

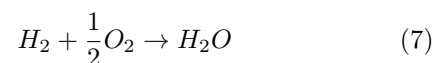
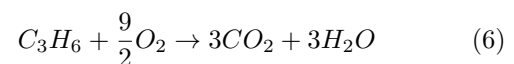
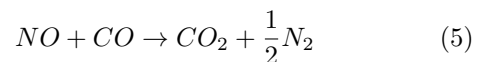
Una solución de metales preciosos, usada con diferentes aleaciones (Al_2O_3) se integra al convertidor catalítico y se instala a la salida de los gases de escape [4].

Otros elementos que complementan la estructura de un convertidor catalítico son el platino (Pt), rodio (Rh) y el paladio (Pd); estos materiales catalíticos integran varios tipos de catalizadores; así, por ejemplo, el uso del platino y paladio forman el convertidor catalítico de dos vías o conocido como catalizador de oxidación, mientras que estos elementos juntamente con el rodio son usados para los catalizadores de tres vías o de reducción y oxidación [4].

A continuación, se muestran los procesos químicos de reducción en un convertidor catalítico.



Las reacciones generadas en un convertidor catalítico en oxidación son:



Para un mejor desempeño de los catalizadores es necesario que la mezcla aire-gasolina sea dosificada al motor; es decir, posea una composición proporcionada de un kilogramo de gasolina por 14,7 kilogramos de aire. El elemento que registra la composición de la mezcla es un dispositivo de monitoreo llamado sonda lambda [5]. Este dispositivo verifica y permite que una unidad de control realice ajustes constantes sobre la

mezcla aire y combustible, tomando como referencia el porcentaje de oxígeno que existe en los gases combustiónados que salen por el tubo de escape para informar a la unidad de gestión de inyección del motor sobre la cantidad de combustible; esta característica es denominada como factor lambda, y de esto dependerá del funcionamiento del catalizador [5]. Es por ello por lo que algunos convertidores catalíticos en su diseño usan algún tipo de material para disminuir los niveles de oxígeno [6]. Los elementos usualmente aplicados como el cerio (Ce) y el circonio (Zr) almacenan el oxígeno y luego según las condiciones de funcionamiento liberan el oxígeno cuando disminuye la presencia de este en los gases de combustión [6].

2. Materiales y métodos

Para la investigación presentada se ha optado por una estrategia de experimentación basada en un ciclo de Deming, que se amplía hacia la planificación, realización, verificación y actuación fundamentado en una espiral hacia la mejora continua [7].

Se contrastan los parámetros establecidos del funcionamiento de un motor de combustión provocado ciclo Otto (en su línea de escape usa un catalizador de dos vías) con los valores de emisión del mismo motor bajo las mismas características, pero eliminando el convertidor catalítico de la línea de salida de gases de escape.

2.1. Unidad experimental

Para la realización de este estudio se usa como unidad de estudios un vehículo Sedan con un motor FS-ZM con un catalizador de dos vías en su línea de escape. En la Tabla 1 se muestran las características de este motor.

Tabla 1. Características del motor FS-ZM con catalizador de dos vías

Motor	FS-ZM
Cilindraje	1600 cm ³
Potencia máxima	97 kW
Torque	120 Nm
Número de cilindros	4
Relación de compresión	9:01
Sistema de combustible	Inyección multipunto
Tipo de catalizador	Oxidación – 2 vías

Para la obtención de valores de emisión de gases contaminantes se ha usado un analizador de gases combinado marca MAHA modelo Met 6.3. En la Tabla 2 se muestran las características del equipo medición.

Tabla 2. Características del analizador de gases MAHA Met 6.3

Gases mesurables	HC, CO, CO ₂ , O ₂
Principio de medición espectrometría de infrarrojo	HC, CO, CO ₂
Principio de medición detección electroquímica	O ₂
Índice de flujo	3,5 l/min
Clase de precisión	O (OIML)
CO - Rango de medición/Exactitud de medición (máx.)	-15 % Vol. / 0,01
CO ₂ - Rango de medición/Exactitud de medición (máx.)	-20 % Vol. / 0,01
HC - Rango de medición/Exactitud de medición (máx.)	-9999 ppm / 0,1
O ₂ - Rango de medición/Exactitud de medición (máx.)	-25 % Vol. / 0,01
Lambda (calculada)	0,5 - 9,99 / 0,01
Principio de medición	Extinktionsmessung
Rango de medición concentración de partículas	-1100 mg/m ³
Resolución concentración de partículas	1 mg/m ³
Intervalo de medición opacidad	-100%
Área de medición coeficiente de absorción	-9,99 m ⁻¹
Resolución coeficiente de absorción	0,01 m ⁻¹

2.2. Diseño experimental

Para el desarrollo de este trabajo se ha aplicado un diseño experimental basado en la obtención de un modelo matemático que prediga la diferencia que existe al momento de eliminar el convertidor catalítico de la línea de salida de gases de escape, considerando como variables de estudio de salida los valores de emisiones de gases de escape en un motor de cuatro cilindros que usa en su diseño un catalizador de oxidación [8,9].

2.3. Variables de respuestas

Las variables de respuestas se han seleccionado con la atención a otras investigaciones realizadas; tomando en cuenta la determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o Ralentí Prueba Estática, 2000 [7,10,11]. En la Tabla 3 se muestran las variables de respuesta.

Tabla 3. Variables de respuestas

Variable	Símbolo	Unidad
Monóxido de carbono	CO	%
Hidrocarburos	HC	ppm
Dióxido de carbono	CO ₂	%
Lambda	λ	-
Oxígeno	O ₂	%

2.4. Régimen de giro

Para el presente estudio se ha considerado como régimen de giro lo establecido en la norma INEN, Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación de la Concentración de Emisiones de Escape en Condiciones de Marcha Mínima o Ralentí Prueba Estática, 2000 y la INEN, Revisión Técnica Vehicular. Procedimientos, 2003; procedimientos usados en otros estudios similares de emisiones. [7]. Considerando para ralentí 700 rpm como primera consideración régimen de giro y la segunda a 2500 rpm [7].

3. Resultados y discusión

Las ecuaciones de control de emisiones controlan el modelo de predicción de los datos de emisiones, pero el dato más relevante para estabilizar dicho modelo es la comparación con el factor lambda, para así conseguir la menor cantidad de emisiones contaminantes de CO₂, CO y HC.

El elemento de control para la disminución de contaminantes es el catalizador; para el análisis son de dos vías, para el mismo modelo de vehículo en este caso que nos permitirá obtener los datos de control para vehículos que poseen el mismo estilo o tipo de catalizador. Las pruebas fueron realizadas a condiciones ambientales normales a una altura de 2850 msnm, e instantáneamente para asegurar la veracidad e inherencia de los datos.

El modelo de predicción de control se representa en la Ecuación 1 que se adapta al comportamiento del manto de control. La Figura 1 indica el comportamiento de la dispersión de datos, la cual demuestra que en condiciones bajas de funcionamiento (ralentí) el vehículo genera picos de alteración no estables (sin catalizador), que provocan que el lambda se dispare, con lo que el CO₂ y CO se incrementan progresivamente y se desestabilizan las emisiones como se puede comprobar en la Ecuación 2 de la Figura 2.

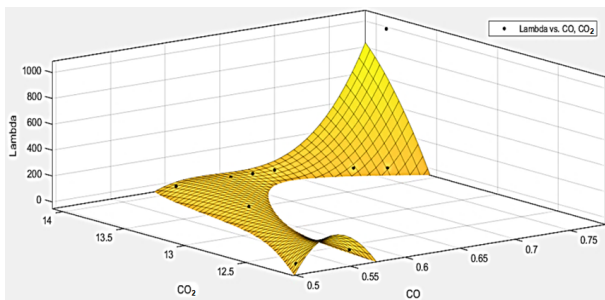


Figura 1. Manto de comportamiento del lambda vs. CO₂ vs. CO en ralentí sin catalizador.

$$f(x, y) = p00 + p10x + p01y + p20x^2 + p11xy + p02y^2 + p30x^3 + p21x^2y + p12xy^2$$

Coeficientes:

$$\begin{aligned} p00 &= -127.4(-891.9, 637) \\ p10 &= -164.1(-671.2, 343) \\ p01 &= 321.7(-343.1, 986.4) \\ p20 &= 114.3(-497.1, 725.7) \\ p11 &= 386.1(-731.3, 1504) \\ p02 &= -185.9(-2177, 1805) \\ p30 &= 130.4(-213.5, 474.2) \\ p21 &= 84.29(-912.1, 1081) \\ p12 &= -108.7(-1627, 1409) \end{aligned}$$

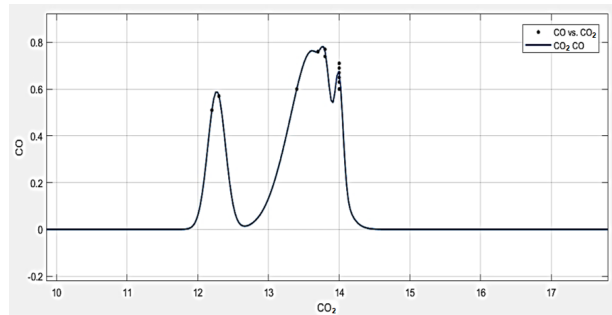


Figura 2. Comportamiento del CO y CO₂

$$\begin{aligned} f(x) &= a1 \cdot \exp\left(-\left(\frac{x-b1}{c1}\right)^2\right) + \\ & a2 \cdot \exp\left(-\left(\frac{x-b2}{c2}\right)^2\right) + \\ & a3 \cdot \exp\left(-\left(\frac{x-b3}{c3}\right)^2\right) + \\ & a4 \cdot \exp\left(-\left(\frac{x-b4}{c4}\right)^2\right) + \\ & a5 \cdot \exp\left(-\left(\frac{x-b5}{c5}\right)^2\right) \end{aligned}$$

Coeficientes:

$$\begin{aligned} a1 &= 0.1629(-1.753e^{+42}, 1.753e^{+42}) \\ b1 &= 13.8(-4.279e^{+41}, 4.279e^{+41}) \\ c1 &= 0.08264(-6.414e^{+41}, 6.414e^{+41}) \\ a2 &= 0.4192(-1.066e^{+41}, 1.066e^{+41}) \\ b2 &= 14(-8.979e^{+43}, 8.979e^{+43}) \\ c2 &= 0.07769(-1.604e^{+43}, 1.604e^{+43}) \\ a3 &= 0.3826(-1.532e^{+35}, 1.532e^{+35}) \\ b3 &= 13.41(-6.356e^{+34}, 6.356e^{+34}) \\ c3 &= 0.3917(-3.071e^{+34}, 3.071e^{+34}) \\ a4 &= 0.5899(-9.371e^{+28}, 9.371e^{+28}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b4 &= 12.27(-4.638e^{+30}, 4.638e^{+30}) \\
 c4 &= 0.1762(-9.03e^{+30}, 9.03e^{+30}) \\
 a5 &= 0.5032(-1.75e^{+34}, 1.75e^{+34}) \\
 b5 &= 13.7(-1.107e^{+35}, 1.107e^{+35}) \\
 c5 &= 0.3243(-9.532e^{+33}, 9.532e^{+33})
 \end{aligned}$$

El modelo de predicción de control es una Ecuación 3 que se adapta al comportamiento del manto de control; y la Figura 3 indica el comportamiento de la dispersión de datos, la cual demuestra que en condiciones bajas de funcionamiento (ralentí) el vehículo genera una condición estable (con catalizador), que ocasiona que el lambda genere su curva senoidal invariable, provocando que el CO₂, CO y las emisiones se estabilicen como se puede comprobar en la ecuación 4 de la Figura 4; cada valor de CO₂ se estabiliza con respecto a un valor de CO.

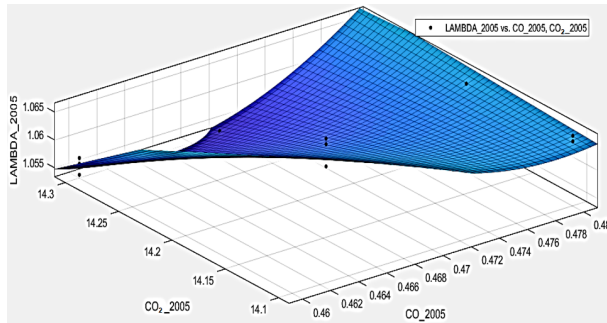


Figura 3. Manto de comportamiento del lambda vs. CO₂ vs. CO en ralentí con catalizador

$$f(x, y) = p00 + p10x + p01y + p20x^2 + p11xy$$

Coefficientes:

$$\begin{aligned}
 p00 &= 63.85(34.8, 92.9) \\
 p10 &= -161.1(-235.9, -86.2) \\
 p01 &= -3.437(-5.027, -1.846) \\
 p20 &= 62.83(32.05, 93.61) \\
 p11 &= 7.167(3.839, 10.49)
 \end{aligned}$$

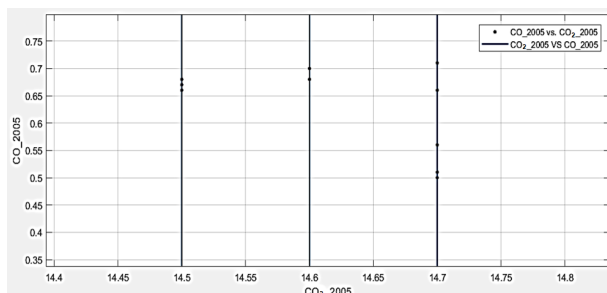


Figura 4. Comportamiento del CO y CO₂

$$f(x) = p1x^3 + p2x^2 + p3x + p4$$

Coefficientes:

$$\begin{aligned}
 p1 &= 1.257e^{+10}(-1.901e^{+09}, 2.705e^{+10}) \\
 p2 &= -5.508e^{+11}(-1.185e^{+12}, 8.326e^{+10}) \\
 p3 &= 8.041e^{+12}(-1.216e^{+12}, 1.73e^{+13}) \\
 p4 &= -3.913e^{+13}(-8.418e^{+13}, 5.916e^{+12})
 \end{aligned}$$

La estabilidad de las emisiones con base al uso del catalizador en condiciones bajas es inherente en el comportamiento de la inyección, más aún en lo que es consumo de combustible, generando una cantidad mayor de emisiones. Motivo por el cual se genera el mismo análisis en las condiciones de régimen alto de 4000 rpm que es el rango óptimo de funcionamiento con respecto al fabricante para el modelo de estudio (Mazda Allegro).

En régimen alto, el motor sin catalizador genera la onda de estabilidad, pero los valores de CO y CO₂ siguen siendo muy oscilantes, lo que genera un lambda de control demasiado rico como se puede observar en la Figura 5 de la Ecuación 5.

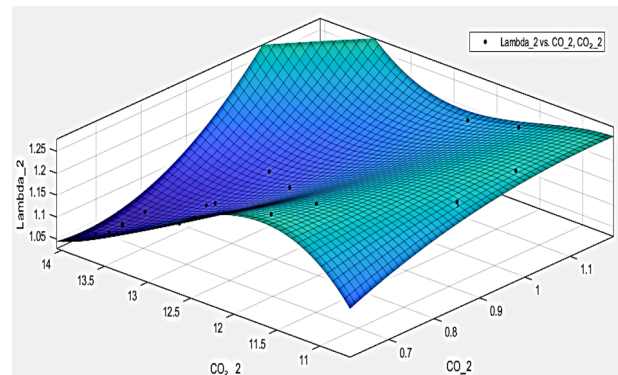


Figura 5. Manto de comportamiento del lambda vs. CO₂ vs. CO en régimen alto (4500 rpm) sin catalizador

$$\begin{aligned}
 f(x, y) &= p00 + p10x + p01y + p20x^2 + p11xy + \\
 & p02y^2 + p30x^3 + p21x^2y + p12xy^2 + p03y^3
 \end{aligned}$$

Coefficientes:

$$\begin{aligned}
 p00 &= -66.85(-111.5, -22.22) \\
 p10 &= 37.06(2.801, 71.32) \\
 p01 &= 14.25(5.461, 23.03) \\
 p20 &= -6.703(-17.69, 4.28) \\
 p11 &= -5.262(-9.398, -1.126) \\
 p02 &= -0.9794(-1.572, -0.3871) \\
 p30 &= 0.1117(-1.636, 1.86)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_{21} &= 0.5634(-0.04962, 1.177) \\
 p_{12} &= 0.1778(0.05104, 0.3045) \\
 p_{03} &= 0.02223(0.008537, 0.03593)
 \end{aligned}$$

En el motor con catalizador, se nota que la onda senoidal es de un período mayor, generando una linealidad en las emisiones de CO y CO₂, debido a que el lambda de control es más estable como se puede observar en la Figura 6 de la Ecuación 6, indicando que el sistema de inyección genera una estequiometría constante en las fases de trabajo.

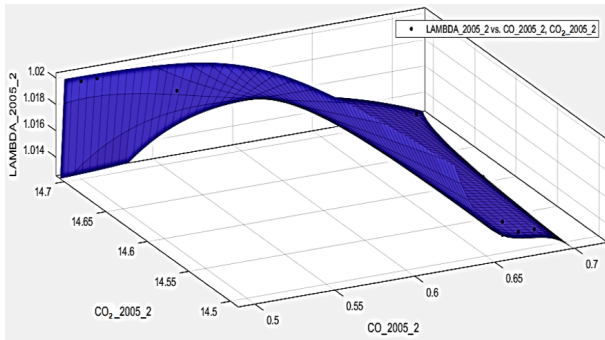


Figura 6. Manto de comportamiento del lambda vs. CO₂ vs. CO en régimen alto (4500 rpm) con catalizador

$$\begin{aligned}
 f(x, y) &= p_{00} + p_{10}x + p_{01}y + p_{20}x^2 + p_{11}xy + \\
 &\quad p_{02}y^2 + p_{30}x^3 + p_{21}x^2y + p_{12}xy^2
 \end{aligned}$$

Coefficientes:

$$\begin{aligned}
 p_{00} &= -653.5(-2064, 756.7) \\
 p_{10} &= 899.3(-979.2, 2778) \\
 p_{01} &= 92.64(-109.8, 295.1) \\
 p_{20} &= 99.1(-229.7, 427.9) \\
 p_{11} &= -132.2(-416.8, 152.4) \\
 p_{02} &= -3.273(-10.52, 3.974) \\
 p_{30} &= -0.3921(-1.442, 0.6578) \\
 p_{21} &= -6.694(-29.06, 15.67) \\
 p_{12} &= 4.832(-5.854, 15.52)
 \end{aligned}$$

La diferencia fundamental en el manto de control del lambda es la senoidal estable y la linealidad, enfocando nuevamente que en un rango de 4000 rpm la velocidad de trabajo por ciclos es mayor por ende las emisiones son mucho más altas como se indica en la Figura 5, mientras que en la Figura 6 el manto es estable y por ende las emisiones son de menor grado de variación.

4. Conclusiones

La estabilidad de las emisiones con base al uso del catalizador en condiciones bajas es inherente con el comportamiento del sistema de inyección, más aún en lo que es consumo de combustible, generando una cantidad mayor de emisiones.

En régimen alto, el motor sin catalizador genera la onda de estabilidad, pero los valores de CO y CO₂ siguen siendo muy oscilantes, lo que genera un lambda de control demasiado rico.

En el motor con catalizador, se nota que la onda senoidal es de un período mayor, generando una linealidad en las emisiones de CO y CO₂, debido a que el lambda de control es más estable.

En el análisis del manto de control del lambda la senoidal y la linealidad son estables, enfocando nuevamente que en un rango de 4000 rpm la velocidad de trabajo por ciclos es mayor por lo que las emisiones son mucho más altas.

Referencias

- [1] I. Asensio, J. Rincón, R. Camarillo, and A. Martín, "Reciclado de catalizadores de automóviles. Análisis de las técnicas actuales y propuestas de futuro," in *I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*, 2008. [Online]. Available: <https://bit.ly/33NJadl>
- [2] S. Bhattacharyya and R. K. Das, "Catalytic control of automotive nox: a review," *International Journal of Energy Research*, vol. 23, no. 4, pp. 351–369, 1999. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-114X\(19990325\)23:4%3C351::AID-ER497%3E3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-114X(19990325)23:4%3C351::AID-ER497%3E3.0.CO;2-T)
- [3] G. D'Amato, G. Liccardi, and M. Cazzola, "Environment and development of respiratory allergy: I. Outdoors," *Monaldi archives for chest disease = Archivio Monaldi per le malattie del torace*, vol. 49, no. 5, pp. 406–411, December 1994. [Online]. Available: <https://bit.ly/353T8aR>
- [4] K. C. R. Martins, F. Soto Pau, J. A. Silva, A. M. Santos, and R. F. dosSantos, "Estudio del empleo de un convertidor catalítico para las emisiones gaseosas en un motor de ignición por chispa usando etanol como combustible," *Ingeniería Mecánica*, vol. 8, no. 1, pp. 39–46, 2005. [Online]. Available: <https://bit.ly/2NKOOHJ>
- [5] L. Martín, J. L. Arranz, O. Prieto, R. Trujillano, M. J. Holgado, M. A. Galán, and V. Rives, "Simulation three-way catalyst ageing: Analysis of two conventional catalyst," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 44, no. 1, pp. 41–52, 2003. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(03\)00008-0](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(03)00008-0)

- [6] R. A. Daley, S. Y. Christou, A. M. Efstathiou, and J. A. Anderson, "Influence of oxychlorination treatments on the redox and oxygen storage and release properties of thermally aged Pd-Rh/CexZr_{1-x}O₂/Al₂O₃ model three-way catalysts," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 60, no. 1, pp. 117–127, 2005. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2005.03.002>
- [7] N. Rivera, J. Chica, I. Zambrano, and 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, pp. 59–67, 10 2017. [Online]. Available: <https://bit.ly/376fV7F>
- [8] INEN, "Inen 2 203:2000. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o ralentí prueba estática," in *Servicio Ecuatoriano de Normalización*, 2000. [Online]. Available: <https://bit.ly/2CLVbnG>
- [9] D. D. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons, 2017. [Online]. Available: <https://bit.ly/2qSdxkj>
- [10] INEN, "INEN 2 204:2002. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina," in *Servicio Ecuatoriano de Normalización*, 2002. [Online]. Available: <https://bit.ly/375VPua>
- [11] —, "INEN 2 349:2003. Revisión técnica vehicular. Procedimientos," in *Servicio Ecuatoriano de Normalización*, 2003. [Online]. Available: <https://bit.ly/33LUptC>