

Análisis de Gases del Motor de un Vehículo a través de Pruebas Estáticas y Dinámicas

Juan, Rocha-Hoyos^{1*}; Danilo, Zambrano²; Ángel, Portilla³; German, Erazo⁴; Guido Torres⁵; Edilberto, Llanes-Cedeño⁶

Resumen

El presente artículo tuvo como objetivo analizar las emisiones del motor de encendido provocado por medio de protocolos internacionales para la evaluación de la variabilidad entre las pruebas estáticas y dinámicas. Las respectivas pruebas de laboratorio se realizaron a una altura sobre los 2810 msnm., en la ciudad de Quito-Ecuador. El vehículo experimentado fue un Nissan Sentra 1.6 L., sometido a pruebas estática (ralentí; 2500 rpm), y dinámica (ASM50/15, ASM25/25, IM 240). Se concluye que el sistema de inyección del vehículo trabaja de forma incorrecta en la prueba estática, debido a que el factor lambda fluctúa entre 1.18 y 1.79 lo que afecta la operación normal del motor por empobrecimiento de la mezcla; mientras que en el sistema de prueba dinámico se acerca a la condición del factor lambda 1 parámetro ideal para la formación de la mezcla estequiométrica. La estimación de los factores de emisión fue: CO de 0.58 gr/km, HC de 0.01006 gr/km y el NOx en 0.09 gr/km.

Palabras Clave: emisiones, motor de encendido provocado, FTP-75, EURO 2, altura

Analysis of Gases of the Engine of a Vehicle through Static and Dynamic Tests

Abstract

The objective of this article was to analyze the ignition engine emissions caused by international protocols for the evaluation of the variability between static and dynamic tests. The respective laboratory tests were performed at an altitude of 2810 m above sea level in the city of Quito-Ecuador. The vehicle experienced was a Nissan Sentra 1.6 L., subjected to tests static (idle; 2500 rpm), and dynamic (ASM 50/15, ASM 25/25, IM 240). It is concluded that the injection system of the vehicle works incorrectly in the static test, because the lambda factor fluctuates between 1.18 and 1.79 which affects the normal operation of the engine due to impoverishment of the mixture; while in the dynamic test system the lambda factor 1 condition is approached ideally for the formation of the stoichiometric mixture. The estimation of the emission factors was: CO of 0.58 g/km, HC of 0.01006 g/km and NOx in 0.09 g/km.

Keywords: emissions, EURO 2, FTP-75, height, ignition engine induced.

Recibido: 05 de julio de 2018

Aceptado: 30 de octubre de 2018

¹ Docente, Investigador y Jefe de línea de Investigación UISEK; Magister en Sistemas Automotrices, Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador; carlos.rocha@uisek.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0003-0660-7199>.

² Magister en Sistemas Automotrices; Director de Carrera de Ingeniería Automotriz; Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; Latacunga-Ecuador; vdzambrano@espe.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-9560-9075>.

³ Magister en Sistemas Automotrices; Director Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares; Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador; angel.portilla@epn.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-2182-7002>.

⁴ Docente, Investigador de Carrera de Ingeniería Automotriz; Magister en Energías; Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga-Ecuador; wgerazo@espe.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0003-1776-6187>.

⁵ Docente, Investigador de Carrera de Ingeniería Automotriz; Magister en Energías; Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga-Ecuador; gtorres@espe.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-3747-7430>.

⁶ Docente, Investigador y Jefe de Programa de Investigación UISEK; PhD. Ciencias Técnicas; Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador; antonio.llanes@uisek.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0001-6739-7661>.

*Autor para correspondencia: carlos.rocha@uisek.edu.ec

1. Introducción.

Todo motor de combustión interna funciona transformando energía química (combustible) a energía de calor (potencia) a energía mecánica (movimiento) utilizada para proveer potencia a una maquina o equipo. Esta energía provee de un beneficio al poner en movimiento el automóvil, y también genera productos dañinos al medio ambiente (Velasco, 2009). Hay muchos productos creados por el hombre los cuales contribuyen a la contaminación de la atmósfera, el vehículo es uno de los mayores contribuyentes. Debido a los cambios que ocurren durante el proceso de combustión, es difícil lograr obtener una combustión perfecta, por esto se generan otros componentes como monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, los cuales reaccionan de forma dañina con nuestra atmosfera (Özener et al., 2014; Cedeño et al., 2017). Por muchos años, solamente hidrocarburos y monóxidos de carbono eran de gran preocupación en las pruebas de emisiones, en los '70s fue descubierto que óxidos de nitrógeno son los contribuidores de la formación de "smog", los niveles de bióxido de carbón y oxígeno en el escape son excelentes indicadores de como el motor está operando, estos cinco gases son la base para el sistema de prueba y diagnóstico de emisiones. Cada gas tiene una relación con cada uno y responden al cambio de eficiencia del proceso de combustión (Lambert y Tesfa, 2016; WHO, 2016). Una breve revisión de la literatura revela tanto el alcance de la certificación como la divergencia de emisiones de CO₂ en el mundo real. El menor consumo de combustible y las emisiones de CO₂ son informados por varios informes y documentos (ACEA, 2014, Ntziachristos et al., 2014). Como resultado, se comunican valores más bajos y, muy probablemente, no representativos a los consumidores y los mecanismos oficiales de supervisión que evalúan el cumplimiento de cada fabricante de equipo original respecto de los objetivos legislados. Además, la brecha entre la realidad y el laboratorio parece ensancharse con el tiempo, la diferencia entre los dos solía estimarse en el orden del 15-20% (Keller et al., 2011) mientras que los estudios más recientes presentan incluso diferencias más amplias que varían hasta 30% o 40% (Dings, 2013). Se espera que estas divergencias en las emisiones de CO₂ también puedan aparecer en países donde se utiliza el sistema de certificación europeo, como Australia e India, mientras que en el caso de EE. UU., y China se informan tendencias similares (Fontaras et al., 2017). El análisis de los factores de emisión vehicular se estableció

en experimentos dinamométricos siguiendo ciclos de conducción estándar. Los experimentos permiten examinar factores de emisión en varias situaciones experimentales (Cedeño et al., 2018; Wu et al., 2017).

En la ciudad de Quito, se propone disminuir la contaminación del aire, a través de la Revisión Técnica Vehicular y otras alternativas, etc., lo que permite la introducción de mejoras en la tecnología vehicular como EURO III próximamente (DMQ, 2015). El trabajo propone estudiar los gases contaminantes generados por el vehículo nissan sentra en prueba estática, y pruebas dinámicas según el protocolo ASM y el IM 240, y las comparaciones respectivas entre cada una de las pruebas y su factor de emisión.

2. Desarrollo:

Metodología

El estudio se basa en una investigación explicativa a partir de la aplicación del método experimental en el cual se tomó el vehículo Nissan sentra 1.6 L. 4P. GLS., él cual es uno de los más vendidos en la provincia de Pichincha, según la estadística de AEADE Anuario (AEADE, 2016). También, en el mismo se determina los niveles de emisiones con gasolina extra mediante las pruebas estáticas y dinámicas. Las pruebas estáticas se realizaron con el analizador de gases que corresponde a la marca alemana MAHA, modelo MTG 5 bajo la norma NTE INEN 2203 norma técnica vigente en el Ecuador (INEN, 2203). Las pruebas dinámicas se realizaron en un dinamómetro MAHA FPS 2700, según el método ASM (Acceleration Simulation Mode) en ciclos 25/25 y 50/15; y el protocolo IM 240 (Sagebiel et al., 1996). Se aplicó tres repeticiones para garantizar la repetitividad del experimento. El convertidor catalítico utilizado en el vehículo fue de medio uso, garantizando los resultados obtenidos a ser comparados en todos los ensayos.

Vehículo de prueba

El vehículo de prueba se considera el más representativo del parque automotor del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), En la Tabla 1 se detallan las características del vehículo seleccionado, el mismo posee sistemas de inyección electrónica multipunto, además del mantenimiento adecuado permanente, esto consistió en cambio de aceite, cambio filtros de combustible, limpieza de inyectores y cambio de bujías del sistema de encendido.

Tabla 1. Características del vehículo

Modelo del vehículo	Transmisión	Kilometraje	Cilindrada [L]	Potencia kW@rpm	Torque Nm@rpm
2003 Nissan Sentra 1.6L 4P GLS	Manual	364730	1.6	82.03@ 6000	140@4000

Pruebas Estáticas

La evaluación se realiza de acuerdo al procedimiento TSI (Two Speed Idle) OM 136, basado en la norma INEN 2203: “Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación de la Concentración de Emisiones de Escape de Condiciones de Marcha mínima o ‘Ralenti’”. Prueba Estática” (INEN, 2203, 1999; Rocha et al., 2018). De forma esquemática se presenta en la figura 1.

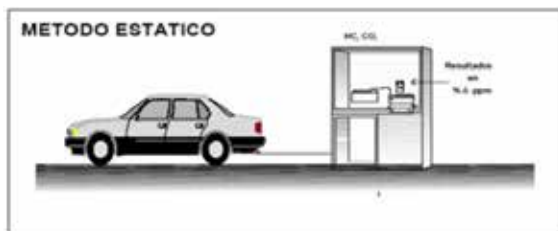


Figura 1. Esquema de prueba estática
Fuente:(Sagebiel et al., 1996).

Protocolo de Pruebas Estáticas

Primero se ubica el vehículo en el dinamómetro, como el vehículo no posee tacómetro con la ayuda de una pistola estroboscópica se instala al vehículo para que el operador pueda identificar las revoluciones del motor para las dos condiciones de prueba, que es en ralenti y a 2500 rpm. Enchufar el tacómetro al sistema de encendido del motor e identificar la realidad de la marcha mínima o “ralenti”. Como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Conexión de la lámpara estroboscópica
Elaboración propia

Con el motor a temperatura normal de operación y una temperatura del aceite del motor constante de 94 °C, además en estado de marcha mínima o “ralenti” enclavar la sonda de ensayo en el sitio de salida del sistema de escape del automóvil. Se visualiza en la figura 3 este paso. Asegurase de que la sonda permanezca fija

adentro del sistema de escape mientras dure el ensayo (Miranda, 2016). El analizador de gases utilizado para las pruebas estáticas, corresponde a la marca alemana MAHA, modelo MTG 5, es un analizador de gases de corriente parcial para analizar monóxido de carbón (CO), Dióxido de carbono (CO₂), Oxígeno (O₂), hidrocarburos (HC), calculador del valor lambda, con certificado de calibración vigente a la fecha de los ensayos (Antamba et al., 2016).



Figura 3. Colocación de la sonda en el escape del vehículo

Elaboración propia

Permanecer la duración de respuesta del equipo de medición dado por cada fabricante; Se toman muestras en ralenti, y en aceleraciones de 2500 rpm, se repite el proceso durante tres veces para tomar el valor promedio de los datos obtenidos. Se registra el valor de los datos por el equipo de medición para su posterior análisis, como se visualiza en la figura 4.



Figura 4. Valores que se registran en el software.
Elaboración propia

Pruebas Dinámicas ciclo ASM

La prueba ASM (Modo de Aceleración Simulada) fue desarrollada por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), consiste en probar un vehículo en dinamómetro con la colocación externa de carga al motor a diferentes regímenes en las etapas ASM50/15 y ASM25/25 (Park, Heung-Sung, 2016). ASM50/15 es el ciclo de prueba de un vehículo en dinamómetro al utilizar ASM, en donde a una velocidad constante de 24 km/h se aplica una carga externa al motor

equivalente al 50% de la potencia requerida. ASM25/25 es el ciclo de prueba de un vehículo en dinamómetro al aplicar ASM, en donde a una velocidad constante de 40 km/h se aplica una carga externa al motor equivalente al 25% de la potencia requerida. En estas condiciones se toma la concentración de contaminantes que genera el motor de combustión interna, el tiempo aproximado de la prueba es de 50 segundos (Castellazzi et al., 2017; Sagebiel et al., 1996). El esquema de trabajo está en la figura 5.

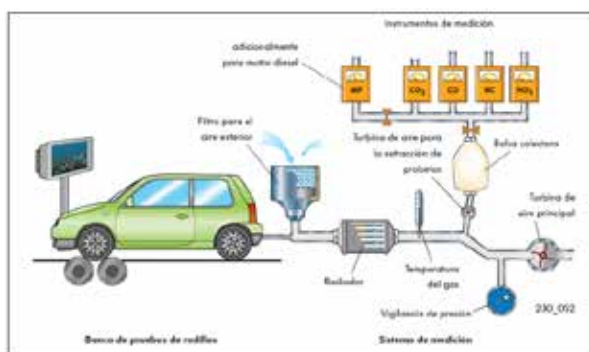


Figura 5. Esquema de pruebas dinámicas
Fuente: (Sagebiel et al., 1996).

Protocolo de Pruebas Dinámicas ciclo ASM

Se instala el vehículo en el dinamómetro, se coloca las seguridades respectivas ya que en esta prueba se va a ejercer carga al motor a determinadas condiciones de régimen. Con el motor a temperatura normal de trabajo y en condición de marcha mínima o “ralenti” enclavar

la sonda de ensayo en el punto de salida del sistema de escape. Se aplica el analizador de gases, marca MAHA modelo MTG -5 y el dinamómetro de rodillos marca MAHA FPS 2700 de 8.5” (21,6 cm), ambos con certificados de calibración vigentes (Miranda, 2016). Se presenta en la figura 6 el arranque del sistema.



Figura 6. Software para ciclo ASM
Elaboración propia

Una vez hecho esto, la prueba ASM consiste en acelerar de manera uniforme el vehículo hasta llegar a los 24 km/h permanece 15 segundos para estabilizar la velocidad, en esta condición se aplica el 50% de carga al motor

mediante el dinamómetro durante 10 segundos más, aquí se obtiene el promedio de estos 10 segundos que es la prueba ASM50/15, luego aceleramos el vehículo hasta alcanzar los 40 km/h donde se estabiliza la velocidad

en 15 segundos, y se aplica la carga al motor mediante el dinamómetro al 25% durante 10 segundos más y los valores se registran en el software del analizador (Miranda, 2016; Antamba et al., 2016). El software

guarda los datos obtenidos minuto a minuto, como se visualiza en la figura 7, en una planilla de Excel, que permite posteriormente realizar el análisis respectivo.



Figura 7. Prueba dinámica ASM
Elaboración propia

Pruebas Dinámicas ciclo Inspección y mantenimiento (IM) 240

El Protocolo IM 240 es un análisis corto desarrollado para vehículos usados, especialmente por el propósito de tener una prueba rápida cuyos resultados sean correlativos a los del Protocolo FTP 75 (Wi y Park, 2013). En la figura 8 se esquematiza la ruta de trabajo, esto se ha implementado en algunos estados de la Unión Americana. El ciclo dura 240 s, recorre 1.96 millas (3.1

km) y su velocidad media es de 29.4 mph (47.3 km/h) con una velocidad máxima de 56.7 mph (91.2 km/h) (Sagebiel et al., 1996). Este tipo de pruebas se realiza en un dinamómetro y con la ayuda de un software que permite al operador llevar y mantener las condiciones de manejo que se necesitan a lo largo del ciclo, para de esta manera determinar el nivel de contaminación en los diferentes regímenes del motor (Antamba et al., 2016; Sagebiel et al., 1996; Fontaras et al., 2017).

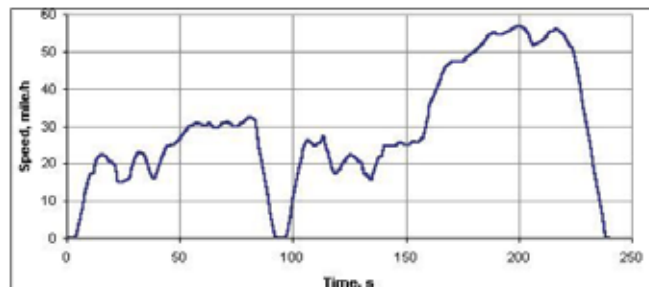


Figura 8. Esquema de velocidad vs tiempo del ciclo IM 240
Fuente:(Sagebiel et al., 1996).

Protocolo de Pruebas Dinámicas ciclo IM 240

Se instala el vehículo en el dinamómetro, se asegura el vehículo mediante anclajes hacia el piso por las altas velocidades que va a tener el mismo en la prueba. Una vez anclado el vehículo en el dinamómetro se empieza a iniciar la prueba, para este ciclo se debe seguir una condición de manejo ya pre establecido que ayuda a dar el software de aplicación del ciclo IM240 (Recalde y Revelo, 2015). Parte de la ruta experimenta se presenta en la figura 9. Donde se utiliza el analizador de gases, marca MAHA modelo MTG -5 y el dinamómetro de rodillos marca MAHA FPS 2700 de 8.5" (21,6 cm),

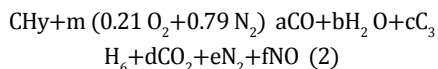
ambos con certificados de calibración vigentes. Se realiza la medición de gases contaminantes en las condiciones de marcha dada por el software, la prueba debe tener un porcentaje mínimo de error sino no es dada como válida, también existe un ventilador que ayuda a enfriar el motor en prueba. El software guarda los datos en la prueba en una planilla de Excel, que permite posteriormente realizar el análisis respectivo. Los resultados se analizaron bajo el NTE INEN 2204 sobre los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres a gasolina, evaluando como gases ponderantes el CO y HC.



Figura 9. Software para ciclo IM240
Elaboración propia

Análisis de factores de emisión de gases contaminantes

El modelo resumido de combustión representa la transformación de la mezcla aire- combustible en sus principales productos según la Ecuación 1, en que las variables a, b, c, d, e, f y m son factores estequiométricos desconocidos y definidos en moles desarrollados por mol de combustible consumido; Como conocimiento que el CO₂, CO y HC son resultados de la combustión que contienen carbono, es posible desarrollar un balance de masa respecto al total de carbono presente en el combustible. Los productos se consideran como fundamento para el análisis de las emisiones y las características medias de los combustibles, por consiguiente, del balance de masa para el carbono se escribe como la ecuación 1 y 2 (Cedeño et al., 2018; Frey, Unal, Roupail, y Colyar, 2003).



$$1 = a + 3c + d \quad (2)$$

Los contaminantes son medidos en el sistema de escape y se analizan según la ecuación 3, en que: RCO es la proporción de CO respecto a CO₂ en porcentaje y RHC es la proporción de HC respecto a CO₂ en porcentaje. El equipo de comprobación de gases compara el volumen de todos los resultados de la combustión, y aplicando las relaciones anteriores se obtiene la porción de CO₂ (Cedeño et al., 2018).

$$d = \frac{1}{RCO + 3RHC + 1} \quad (3)$$

Mediante la ecuación 4 se determinan los factores de emisión [(FE)_i], donde el subíndice i se relaciona con los contaminantes CO, HC y NO_x; [(MW)_{comb}] significa el peso molecular equivalente del combustible, [(MW)_i] al peso molecular equivalente de los contaminantes, [(ρ)_{comb}] es la densidad del combustible en g/m³ y c.c. es el consumo de combustible por distancia recorrida en m³/km (Calero, 2018; Cedeño et al., 2018).

$$FE_i = \frac{R_i}{RCO + 3RHC + 1} \times \frac{MW_i}{MW_{comb}} \times \rho_{comb} \times c.c.; [g/km] \quad (4)$$

Para determinar el nivel de consumo del vehículo en carretera se encero el odómetro se llena el tanque de combustible con la gasolina que utiliza el vehículo en nuestro caso súper. Se toma como referencia para la prueba de carretera la ruta Latacunga - Quito que posee una distancia de 90 Km, y en la zona que se logra mantener una velocidad constante de aproximadamente 100 Km/h. Una vez recorrido esta distancia se vuelve a llenar el tanque de combustible para determinar el consumo de combustible en este ciclo de trabajo. Las pruebas se realizan tres veces cada una para determinar un valor promedio de cada una de las condiciones de ruta, se registra los valores para realizar el cálculo respectivo para determinar el nivel de contaminación del mismo.

**Resultados y Discusión de Resultados:
Prueba Estática**

La concentración másica de oxígeno en el aire admitido disminuye con la altitud (Lapuerta et al., 2006). En la figura 10, se nota claramente las concentraciones de CO, en ralentí se mantiene alto 2.69 % V., pero a 2500 rpm se reduce a 0.7 %; Las emisiones de CO₂ del tubo de escape se considera como la energía de salida del motor, donde

el funcionamiento del motor con combustibles que contienen carbono conducirá a emisiones de CO₂ (Tuner, 2016). En las emisiones de CO₂, donde los valores en ralentí están en 5.33 %. A 2500 rpm se aumenta a 11.83 %V.; Los hidrocarburos (HC) son provocados por la combustión incompleta, el apagado de la llama cerca de las superficies de la cámara de combustión y la formación de depósitos en las paredes interiores (Ramadhas et al., 2016). Las emisiones de HC, donde los valores en ralentí están en 244.3 ppm mientras que a 2500 rpm se reduce a 151 ppm; las emisiones de O₂, donde el valor en

ralentí está en 11.37 % V., a 2500 rpm se reduce a 3.87 % V. El motor del vehículo tiende a mantener un valor de lambda muy cercano a 1, lo que explica que la mezcla estequiométrica de aire – combustible, se encuentra en la proporción correcta de 14.7:1 (Rocha et al., 2018), el sistema de inyección del vehículo está trabajando de forma incorrecta en ralentí porque se mantiene en 1.79, y afecta en la operación normal del motor; Las concentraciones de NO_x, en ralentí se mantiene en 17.3 % V., pero a 2500 rpm aumenta a 83.3 %.

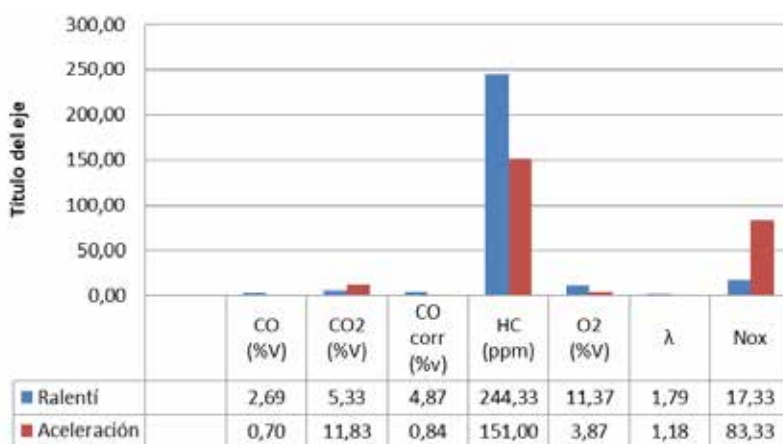


Figura 10. Resultados de los contaminantes de prueba estática
Elaboración propia

Prueba Dinámica ASM

En el ciclo ASM se nota que el vehículo mejora su relación aire/combustible, el cual es cercano a 1. En la figura 11 y tabla 2 se nota claramente las concentraciones de CO, se mantiene semejante en las pruebas ASM_{50/15} Y ASM _{25/25}; las emisiones de CO₂ de igual manera semejante a 13 % V. Los hidrocarburos (HC), donde los valores

1. En la figura 11 y tabla 2 se nota claramente las concentraciones de CO, se mantiene semejante en las pruebas ASM_{50/15} Y ASM _{25/25}; las emisiones de CO₂ de igual manera semejante a 13 % V. Los hidrocarburos (HC), donde los valores están en 246.59 ppm para ASM_{50/15} mientras que para ASM _{25/25} se reduce a 203.08 ppm; las emisiones de O₂, el valor para ASM_{50/15} está en 0.81, para ASM _{25/25} se reduce a 0.68 % V.; Las concentraciones de NO_x, para ASM_{50/15} está en 977.48 ppm, pero para ASM _{25/25} se reduce a 651.48 ppm.

Prueba Dinámica ASM

En el ciclo ASM se nota que el vehículo mejora su relación aire/combustible, el cual es cercano a

Tabla 2. Características de contaminantes ciclo ASM_{50/15} y ASM_{25/25}

CICLO ASM _{50/15}		CICLO ASM _{25/25}	
CO (%V)	0.639	CO (%V)	0.788
HC ppm	246.598	HC ppm	203.087
CO ₂ (%V)	13.812	CO ₂ (%V)	13.838
O ₂ (%V)	0.81	O ₂ (%V)	0.685
λ	1.013	λ	1.004
NO _x	977.487	NO _x	651.481

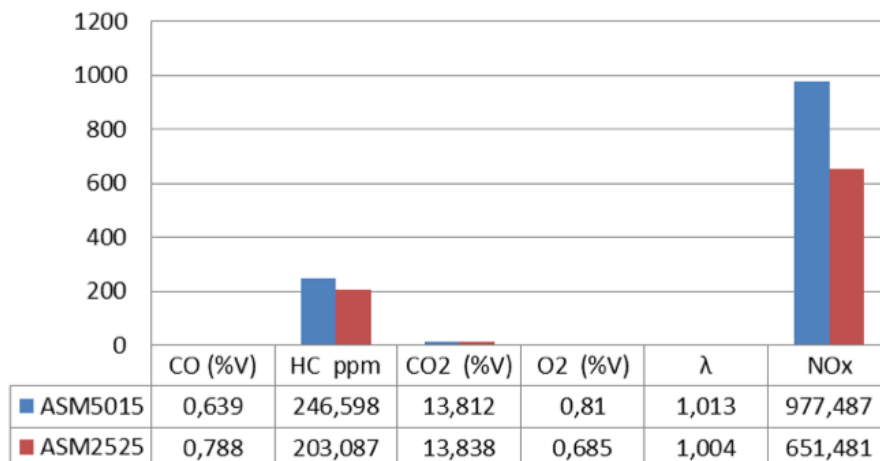


Figura 11. Resultados de contaminantes ciclo ASM50/15 y ASM25/25
Elaboración propia

Prueba Dinámica IM240

Con los valores determinados en la prueba IM 240 que proporciona el software genera los resultados de una manera gráfica en la cual es más fácil identificar en que momento cada uno de los contaminantes presenta la mayor concentración, para esto se presenta la tabla con valores mínimos y máximos lo cual se analiza. El contenido de CO presenta un valor máximo de 8.2 % V. en el tiempo de prueba; Para el CO₂, se muestra el valor de 13.8 % V. como máximo para este contaminante dentro de la prueba de 240 s; el HC llega en este periodo de prueba a un valor máximo de 1628 ppm; el O₂ presenta un valor máximo de 11.98 %V; el NO_x presenta valores máximos de 952.1 ppm en el periodo de prueba; el motor del vehículo tiende a mantener un valor de lambda muy cercano a 1, pero en cierto instante se dispara a un valor de

1.83, como se aprecia en la figura 12 y tabla 3. La calidad de combustible tiene incidencia en las emisiones contaminantes gaseosas vehiculares, otros factores críticos también maximizan esta realidad como la movilidad, el estado de las vías, la edad del parque automotor y la tecnología del vehículo. Otro elemento en relación, es cuando menor es la relación de compresión de un motor, menor es el número de octanos requerido, por ello, la reducción de emisiones gaseosas, se obtiene al combinar el menor contenido de azufre (30 ppm) y un elevado número de octanos (90-100) (Antamba et al., 2016). El HC aumenta con la altitud en mayor medida que los CO y NO_x, por lo tanto, una gasolina de mayor calidad y mejor tecnología de inyección de combustible, reducirían la tendencia de aumento (Antamba et al., 2016; Portilla y Caiza, 2010).

Tabla 3. Características de contaminantes IM 240

GASES	TIEMPO (s)	VALOR MÍNIMO	TIEMPO (s)	VALOR MÁXIMO
CO (%V)	300	0.200	132	8.232
CO ₂ (%V)	262	3.90	48	13.80
HC (ppm vol)	222	124	262	1628
O ₂ (%V)	28	0.32	264	11.98
NO (ppm vol)	28	31.0	176	952.1
Lambda	6	0.809	264	1.831

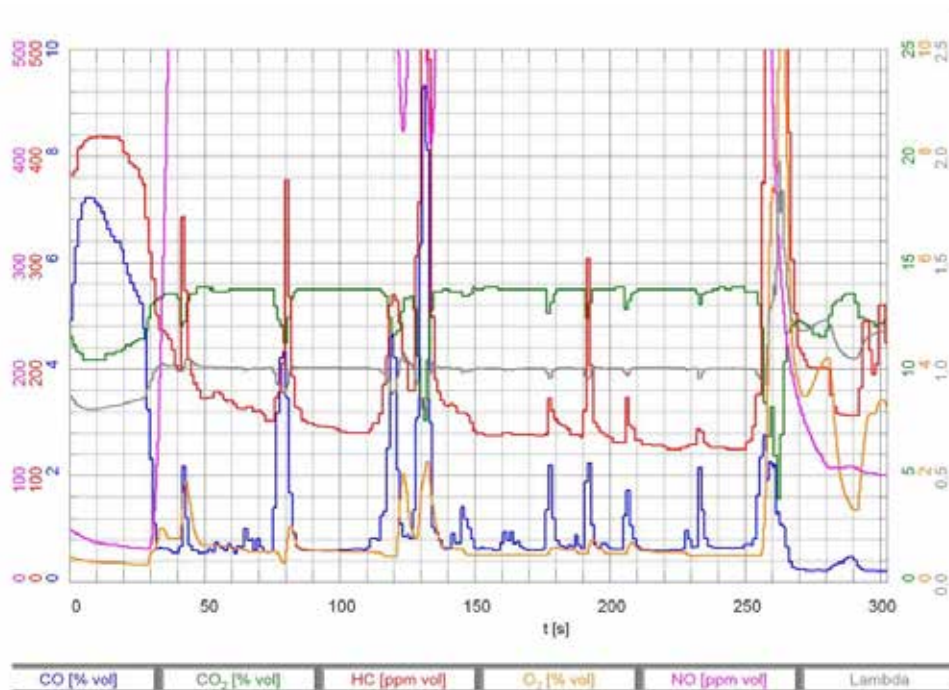


Figura 12. Resultados de contaminantes ciclo IM 240
Elaboración propia

Las emisiones depende completamente de la movilidad de la ciudad, las pruebas dinámicas evidencian una reducción de emisiones de CO respecto a la prueba estática aunque no baja del límite permitido según la norma NTE INEN 2204; los resultados de HC, en el caso de los vehículos a gasolina, en condiciones operativas, es poco probable la condición de mezcla pobre en el motor, por lo que se evidencia en el trabajo una alta cantidad de emisión de HC en la mayoría

de casos, y para la condición estática acelerado en la condición de menor emisión, por tanto todos superan los límites permitidos según la norma NTE INEN 2204. Se identifica que el sistema de inyección del vehículo trabaja de forma incorrecta en la prueba estática porque lambda se mantiene entre 1.18 y 1.79, y se ve afectada la operación normal del motor, mientras que en el sistema de prueba dinámico se acerca a la condición de 1, evidenciando un ciclado del motor ideal.

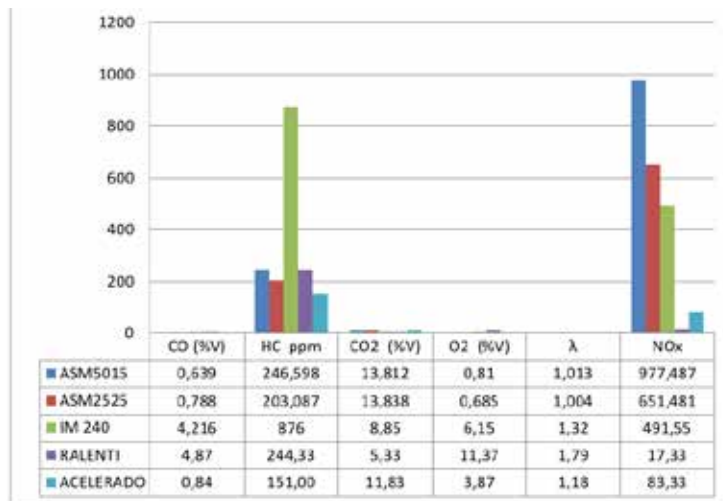


Figura 13. Comparativa de resultados de contaminantes
Elaboración propia

Estimación de Factor Emisión

Con ayuda del odómetro se determina el consumo de combustible del vehículo en diferentes distancias, el promedio determina el consumo de litros por kilómetro recorrido, se presenta en la tabla 4. Las pruebas realizadas con el ciclo ASM50/15, permite obtener las concentraciones de gases, y se utilizan en las ecuaciones

simplificadas de la combustión, conjuntamente con los valores de consumo de combustible de cada ciclo y la densidad de la gasolina, para obtener los factores de emisión de cada contaminante. En la figura 4 se indica la estimación de los factores de emisión para CO 0.58 gr/km, el factor para HC es 0.01006 gr/km y el NOx está en 0.09 gr/km con respecto al vehículo de prueba.

Tabla 4. Consumo de combustible del vehículo de prueba

	km RECORRIDOS	LITROS	CONSUMO L/km
	705	47.3125	0.06711
	547	37.0930	0.06781
	178	13.2475	0.07442
	457	34.4057	0.07529
	464	34.4057	0.07415
PROMEDIO	470.2	33.2929	0.07081

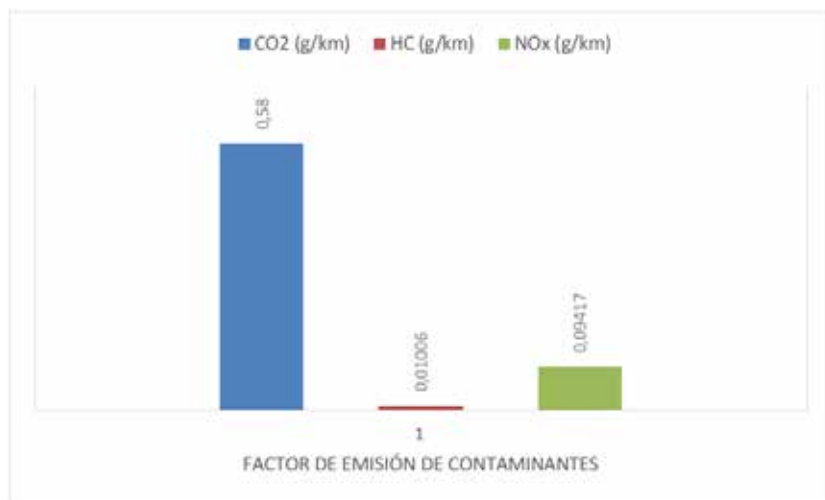


Figura 14. Factores emisión de contaminantes estimados CO, HC, NOx.
Elaboración propia

3. Conclusiones.

- Del análisis de los gases de escape en diferentes condiciones de prueba tanto estática como dinámica se indica que existen variación entre los resultados debido a que el motor no se exige de la misma manera en cada una de las pruebas, además se nota que el motor en la condición de ralentí contamina más que cuando se encuentra acelerado, en razón que su lambda es elevada.
- En la prueba estática existe la disminución de los contaminantes cuando el vehículo acelera a 2500 rpm. El mayor contaminante que se nota es de HC para ralentí que equivale a 244 ppm, no cumple la

norma ambiental locales vigentes.

- En el ciclo ASM, el vehículo mejora su relación aire/combustible el cual es cercano a 1 pero su nivel de contaminantes por hidrocarburos aún se mantiene elevado de 246.598 ppm, el nivel de NOx también se eleva.
- La evaluación ASM50/15 aporta en la estimación de los factores de emisión del vehículo como el CO2, y la relación con los factores de emisión CO, HC, y NOx.

Referencias bibliográficas

European Automobile Manufacturers' Association. (2018) Backgrounder: Reducing CO2 emissions

- from cars and vans (10). Recuperado de <https://www.acea.be/publications/article/backgrounder-reducing-co2-emissions-from-cars-and-vans>
- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (2016). Anuario 2015 (1) Recuperado de <http://www.aeade.net/anuario/>
- Caiza, A., y Portilla, A. (2010). Determinación de la influencia de la altura en emisiones contaminantes en vehículos con motor Otto (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Calero E. (2018). Evaluación de los Sistemas de Catalización de Vehículos a Gasolina en Condiciones de Arranque en Frío (Tesis de maestría) Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.
- Cast Armijo J. (2001). Modelos de estado no estacionario y pseudoestacionario en el cálculo de tiempo de escurrimiento, 4, 38–43.ellazzi, L., Tonoli, A., Amati, N., y Galliera, E. (2017). A study on the role of powertrain system dynamics on vehicle driveability. *Vehicle system dynamics*, 55(7), 1012-1028. doi: 10.1080/00423114.2017.1294699
- Cedeño, E. A. L., Rocha-Hoyos, J. C., Zurita, D. B. P., & Milla, J. C. L. (2018). Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 149-158.
- Transport and Environment. (2018) Mind the Gap! Why official car fuel economy figures don't match up to reality. Recuperado de <https://www.transportenvironment.org/publications/mind-gap-why-official-car-fuel-economy-figures-don%E2%80%99t-match-reality>
- Secretaria de Ambiente (2016) Actualización del Plan de Manejo de la Calidad del Aire 2005 – 2010. Recuperado de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/bibliotecadigital/category/61-politicas-y-planeacion-ambiental?download=529:calidad-del-aire-final>.
- Fontaras, G. and P. Dilara (2012). The evolution of European passenger car characteristics 2000–2010 and its effects on real-world CO2 emissions and CO2 reduction policy. *Energy Policy* 49(0): 719-730.
- Fontaras, G., Ciuffo, B., Zacharof, N., Tsiakmakis, S., Marotta, A., Pavlovic, J., & Anagnostopoulos, K. (2017). The difference between reported and real-world CO2 emissions: How much improvement can be expected by WLTP introduction?. *Transportation Research Procedia*, 25, 3933-3943.
- Guasgua, J. F. A., Campaña, G. G. R., & Paredes, M. E. G. (2016). Estudio comparativo de gases contaminantes en un vehículo M1, utilizando gasolina de la Comunidad Andina. *Enfoque UTE*, 7(3), 110-119.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2002). NTE INEN 2204:2002. Límites permitidos de emisiones producidos por fuentes móviles terrestres a Gasolina. Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (1999). NTE INEN 2203:1999. Gestión Ambiental. Aire. Quito: INEN.
- Keller, M., S. Hausberger, C. Samaras, G. Mellios and L. Ntziachristos (2011). Parametrization of fuel consumption and CO2 emissions of passenger cars and light commercial vehicles for modelling purposes. JRC Report, ISBN: 978-92-79-21051 -8, available at: publications.jrc.ec.europa.eu.
- Lapuerta, M., O. Armas, J. Agudelo y C. Sánchez (2006). Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. *Información Tecnológica*, 17(5), 21-30
- Lambert, M. M., & Tesfa, B. (2016). Robust Application of CBE and OBE for Engine Testing System Diagnosis. SAE Technical Paper. No. 2016-01-0987.
- Llanes Cedeño, E. A., Zambrano León, V. D., Carvajal, C., Santiago, A., Mena Mena, E. R., y Rocha-Hoyos, J. C. (2017). Teoría de Selección y Dimensionamiento del Parque Automotor. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13755>
- Miranda, D. (2016). Metodología de pruebas y su aplicación para el diagnóstico de convertidores catalíticos mediante ciclo ASM en vehículos con motores de encendido provocado (tesis de maestría). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Morales, M. A. C. (2011). Análisis de emisiones de

- vehículos livianos según ciclos de conducción específicos para la Región Metropolitana (Tesis Doctoral). Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile.
- Ntziachristos, L., G. Mellios, D. Tsokolis, M. Keller, S. Hausberger, N. E. Ligterink and P. Dilara (2014). In-use vs. type-approval fuel consumption of current passenger cars in Europe. *Energy Policy* 67: 403-411. Doi: 10.1016/j.enpol.2013.12.013
- Özener, O., Yüsek, L., Ergenç, A. T., y Özkan, M. (2014). Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. *Fuel*, 115, 875-883. Doi: 10.1016/j.fuel.2012.10.081
- Park, Heung - Sung. (2016). A Study on the Tuning Effect of Intake Manifold, Intake Pipe and Air Filter on Performance of Automobile and Exhaust Emissions. *Korea Society of Automotive Engineers*, 24 (5), 538-548.
- Ramadhas, A. S., Singh, P. K., Sakthivel, P., Mathai, R., & Sehgal, A. K. (2016). Effect of ethanol-gasoline blends on combustion and emissions of a passenger car engine at part load operations. *SAE Technical Paper*. 2016-28-0152. doi: 10.4271/2016-28-0152
- Recalde Rojas, M. N., & Revelo Argoti, R. V. (2015). Análisis de emisiones en vehículos a gasolina utilizando pruebas estacionarias y dinámica mediante ciclo IM-240 (Tesis de maestría). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Rocha-Hoyos J.C., Tipanluisa L., Zambrano V., y Portilla A., en prensa (2018). Estudio de un Motor a Gasolina en Condiciones de Altura con Mezclas de Aditivo Orgánico en el Combustible, *Información Tecnológica*, 29(5).
- Sagebiel, J. C., Zielinska, B., Walsh, P. A., Chow, J. C., Cadle, S. H., Mulawa, P. A., ... & Snow, R. (1996). PM-10 exhaust samples collected during IM-240 dynamometer tests of in-service vehicles in Nevada. *Environmental science & technology*, 31(1), 75-83. Doi: 10.1021/es960137i
- Tuner, M., (2016) Review and Benchmarking of Alternative Fuels in Conventional and Advanced Engine Concepts with Emphasis on Efficiency, CO 2, and Regulated Emissions. *SAE Technical Paper*, 2016-01-0882
- Velasco, J. G. (2009). *Energías renovables*. México DF., México: Reverté.
- Organización Mundial de la Salud (2016) Ambient Air Pollution. Recuperado de http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2016/whs2016_AnnexA_AmbientAirPollution.pdf?ua=1&ua=1
- Wi, H., & Park, J. (2013). Analyzing uncertainty in evaluation of vehicle fuel economy using FTP-75. *International Journal of Automotive Technology*, 14(3), 471-477. Doi: 10.1007/s12239-013-0051-x
- Wu, Y., Zhang, S., Hao, J., Liu, H., Wu, X., Hu, J., & Stevanovic, S. (2017). On-road vehicle emissions and their control in China: A review and outlook. *Science of the Total Environment*, 574, 332-349. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.09.040