

Identificación del modo de trabajo de un motor GDI al variar la altura mediante una prueba estática a ralentí y 2500 RPM

Identification of the work mode of a GDI engine when vary the height by a static test at idle and 2500 RPM

Marco Vinicio Noroña Merchán

Edwin Giovanni Puente Moromenacho

Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador

Julio César Leguísamo Milla

Phd. Edilberto Antonio Llanes Cedeño

Universidad Internacional SEK Ecuador, Ecuador

Autor para correspondencia: julio.leguisamo@uisek.edu.ec, manoroname@uide.edu.ec

Fecha de recepción: 23 de abril de 2018 - Fecha de aceptación: 30 de julio de 2018

Resumen: En este estudio se analiza de manera experimental como identificar el modo de trabajo que se produce en un motor de encendido provocado a inyección directa a gasolina y se determina si la variación de la altura con respecto al nivel del mar influye en la selección del modo de trabajo que puede variar entre homogénea, homogénea pobre y estratificada. Mediante una prueba estática desarrollada en base a los protocolos de pruebas establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana “NTN INEN 2213” denominada TIS (Two Iddle Speed) cada 500 metros de altura desde una altura de 0 metros a 4500 metros. Las pruebas se realizan en un vehículo Mazda CX-5 de 1998 cm³ con sistema GDI de operación multimodo de tres tipos de mezcla, además de un escaner automotriz Maxidas y un GPs Garmin. Los resultados obtenidos revelan cómo varía el modo de trabajo en un sistema de inyección directa a gasolina y se determinó que el modo de trabajo no varía al incrementar la altura con respecto al nivel del mar, pero varia dentro de los rangos de funcionamiento de cada modo, además se estableció que en esta prueba que solo se ejecutan el modo estratificado y homogéneo pobre.

Palabras Claves: modo estratificado; modo homogéneo; modo homogéneo pobre; inyección directa; prueba estática

Abstract: In this study, it is analyzed experimentally how to identify the working mode that occurs in an ignition engine caused by direct fuel injection and determine if the variation of the height with respect to sea level influences the selection of the mode of operation. work that can vary between homogenous, homogeneous, poor and stratified. Through a static test developed based on the test protocols established in the Ecuadorian Technical Standard "NTN INEN 2213" called TIS (Two Iddle Speed) every 500 meters from a height of 0 meters to 4500 meters. The tests are carried out on a Mazda CX-5 1998 cm³ vehicle with a GDI system with multimode operation of three types of mix, plus a Maxidas automotive scanner and a Garmin GPs. The results obtained reveal how the work mode in a direct fuel injection system varies and it was determined that the working mode does not vary when increasing the height with respect to sea level, but it varies within the operating ranges of each mode, in addition, it was established that in this test only the stratified and homogeneous poor mode is executed.

Key Words: stratified mode; homogeneous mode; homogeneous mode; direct injection; static test

Introducción

La inyección directa a gasolina en motores de encendido por chispa es muy atractiva para la economía de combustible y rendimiento en los motores de encendido por chispa. Este sistema ofrece la posibilidad de operación multimodo, es decir puede variar el tipo de mezcla a combustionarse en el motor y puede ser de carga homogénea, homogénea pobre y estratificado. Con beneficios respecto a los motores convencionales como relación de compresión más alta, las pérdidas de bombeo cero, el control del proceso de encendido en mezcla de aire-combustible muy magra y buena el arranque en frío (López,2012). Por lo que es importante determinar, si al variar la altura en países con topografía muy irregular como el Ecuador de 0 a 4500 metros sobre el nivel del mar, que modos de trabajo se producen para determinar si los beneficios de ahorro de combustible y reducción de emisiones se mantienen.

En (Lapuerta, 2006) se estudia el efecto de la altitud sobre la potencia en motores de aspiración natural y turboalimentados sin sistemas correctores, en función de la presión ambiental, pero con un solo tipo de mezcla homogénea. Y se obtiene como resultado que la altitud sobre el nivel del mar tiene un notable efecto sobre la densidad del aire y su composición. Debido a que los motores de combustión interna tienen sistemas de admisión y de inyección de combustible volumétricos, la altitud modifica el ciclo termodinámico de operación, y en consecuencia las prestaciones, así como las condiciones locales de combustión, y por tanto la formación de contaminantes.

En comparación con los motores de inyección indirecta los motores de GDI son más susceptibles a que los inyectores formen coque en sus puntas ya que están directamente expuestos a duras condiciones en los cilindros. En los motores GDI las características de pulverización son más críticas para mantener un rendimiento estable del motor. Especialmente cuando se están ejecutando los diferentes modos de combustión, donde la formación de la mezcla de aire / combustible deseada se basa en gran medida en el modelo de pulverización cuidadosamente diseñado y su interacción con la carga de admisión flujo de aire. Y se determinó que la limpieza del inyector influye en cada modo de trabajo directamente en consumo de combustible, emisiones de HC y emisiones de CO. (Wang, 2017).

En el artículo (Jiao, 2015) se hace una investigación para predecir las emisiones de hollín tanto en masa y el número de partículas sólidas de un motor a inyección directa de gasolina (GDI) mediante CFD. En este trabajo, la influencia de los parámetros de funcionamiento del motor se examinó para una configuración de inyector de combustible de montaje lateral en un motor de inyección directa de encendido por chispa (DISI). Los modelos actuales son capaces de predecir razonablemente las influencias de las variables de interés en comparación con los datos experimentales disponibles o la literatura. Para que una estrategia de inyección tarde, los efectos de la composición del combustible, y el ángulo del cono de pulverización se investigaron con un inyector de un solo orificio. Para una estrategia de inyección temprano, los efectos de los sustitutos de varios componentes de combustible para la gasolina, tiempos y temperaturas de las paredes SOI se estudiaron con un inyector de seis hoyos. Las investigaciones confirmaron la necesidad de considerar la composición de combustible de múltiples componentes y también demuestran cómo y por qué las películas de pared contribuyen significativamente a las emisiones

de los motores de hollín DISI y la importancia de conocer los datos y valores de cada modo de trabajo.

En la actualidad se han realizado estudios (Piazzullo, 2017) durante la inyección directa de gasolina (GDI) en los motores de encendido por chispa, en los cuales se ha determinado que las gotitas de combustible pueden golpear las superficies del pistón. Esto puede determinar una atomización secundaria y un enriquecimiento de la mezcla y de ahí la razón para el aumento de hidrocarburos no quemados y las emisiones de partículas en el escape que depende mucho del modo de trabajo en el cual está operando el vehículo. En este trabajo se desarrolla un modelo de pulverización previamente validado para cada modo de trabajo con el objetivo de resolver el problema de transferencia de calor y masa fuertemente acoplado a las características de operación de cada modo de trabajo, pero se debe considerar que se lo realiza a una sola altura y no se toma en cuenta la variación de la presión atmosférica.

Se debe considerar que los modos de trabajo de un vehículo equipado con inyección directa a gasolina no solo se refieren a la relación aire combustible sino también hay otros parámetros que influyen con respecto al torque, potencia, consumo de combustible y emisión de gases contaminantes. La sincronización de la chispa es otro parámetro importante para el control de la combustión y reducir las emisiones de escape. Lo que indica que para cada tipo de modo de trabajo el tiempo de encendido tendrá un valor diferente, si avanzamos la sincronización de la chispa aumenta la eficiencia del motor y de potencia, sin embargo, aumentan las emisiones de NOx y partículas de HC. El retraso de sincronización de la chispa reduce la fracción de masa quemada en la final de la combustión. Por lo tanto, las emisiones de Nox pueden reducirse (Gu, X, 2012). Por eso es importante identificar el modo de trabajo seleccionado por la Ecu para verificar el correcto funcionamiento del salto de la chispa a los grados adecuados

En este estudio (Polat, S., 2014) se determinó la influencia del modo del tipo de mezcla en la sincronización de la chispa y la válvula EGR, además se observó que sus parámetros de funcionamiento varían en base al modo de trabajo debido a que válvula EGR aumenta la fracción de gas residual en el cilindro y reduce la temperatura en el cilindro. En los cilindros la temperatura disminuyó con el aumento de la relación de EGR y la sincronización de la chispa afectando directamente la tendencia al golpeteo del motor al aumentar el avance de la sincronización de la chispa. Los resultados mostraron que el tiempo de encendido óptimo y la relación de EGR se deben elegir para el rendimiento máximo del motor y de emisiones de gases, en base al modo de trabajo seleccionado, el cual varía a diferentes velocidades del motor y condiciones de carga.

Los motores GDI son eficientes, pero promueven fenómenos de combustión anormales como la pre-ignición y el golpeteo. En este estudio se investigó como varía el frente de llama en diferentes condiciones de combustión las cuales corresponden a los diferentes modos de trabajo. Se determinó que el tipo de modo de trabajo el frente de llama es diferente y que de acuerdo al tipo de mezcla el frente de llama está más cerca o lejos de la pared del cilindro lo cual influye directamente en el golpeteo del cilindro. (Merola, S, 2016).

El presente estudio tiene como objetivo identificar el modo de trabajo seleccionado por un motor gdi que tiene modos de trabajo estratificado, homogéneo pobre y homogéneo mediante una prueba estática debido a que en cada modo de trabajo los parámetros de funcionamiento de

sensores y actuadores varían y se debe determinar un procedimiento para comprobar y diagnosticar el correcto funcionamiento de estos elementos.

Materiales

El vehículo en el que se realizarán las pruebas es el MAZDA CX-5 debido a que es un vehículo que se dispone y viene equipado con un sistema de inyección directa a gasolina de alta eficiencia en el cual trabaja con un modo de operación estratificado, homogéneo y homogéneo pobre que indica el manual de servicio (Mazda Motor Corporation, 2012).

Tabla 1. Especificaciones Técnicas Mazda CX-5

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MOTOR	
Posición del motor	Delantero Transversal
Número cilindros	4 en línea
Cilindrada	1998 (cc)
Potencia Máxima	165 Cv (121 kW) / 6.000 rpm
Par motor máxima	210 Nm / 4.000 r.p.m.
Diámetro x Carrera (mm)	83,5 mm x 91,2 mm
Relación de compresión	14,0 : 1
Alimentación	Inyección directa.
Normativa de emisión de gases	Euro V
Combustible	Gasolina

Se utiliza un escáner automotriz que cumple la legislación OBDII que prescribe una estandarización de las informaciones de lectura en la línea de datos conforme a las especificaciones (SAE J, 1979). Se usa el scanner MAXIDAS de la marca Autel que es un equipo genérico, con el cual se puede observar en el equipo los valores de trabajo de los sensores, actuadores e interruptores. En la pantalla de datos cada sensor y actuador posee una línea de datos denominada PID.

Para verificar la ubicación del vehículo en las diferentes posiciones de prueba del auto se utiliza un GPS Garmin e-trex 20 con el cual se puede determinar la altura con respecto al nivel y la presión atmosférica del lugar de prueba.

Métodos

Los parámetros para determinar el modo de trabajo indica el manual del fabricante (Mazda, 2013), que se muestra en la figura 1 y se observa los principales parámetros para determinar los modos de trabajo que son la carga absoluta del motor en el eje vertical y las revoluciones del motor en el eje horizontal. El régimen es la velocidad angular con que gira el cigüeñal y se mide en rpm; la carga que representa un valor para un régimen de giro dado, el grado de carga expresa la relación entre el par máximo del motor a ese régimen y el que está suministrando el motor en las condiciones de funcionamiento. Los valores de datos utilizados se

obtienen en los PIDS de la línea de datos que se puede observar en el escáner que de acuerdo a la norma SAE, (Society of Automotive Engineers, 2002).



Figura 1. Modos de trabajo Mazda cx-5 (MAZDA, 2013)

La medición de los parámetros necesarios para obtener el tipo de mezcla se realiza en base a la norma técnica ecuatoriana (Norma Técnica Ecuatoriana, 2000). Se realizaron diez pruebas en cada 500 metros de altura desde los 0 a los 4500 m (Robles, 2010). Para determinar el tipo de modo de trabajo que ejecuta el motor GDI. Para determinar si los datos obtenidos en la experimentación son fiables debido a que pueden presentar desviaciones, con respecto al objetivo específico y se pueden manifestar en forma de datos inexactos y se puede producir una excesiva variabilidad respecto a los valores deseables (Portilla, 2010)., se realizó el control de rangos y se determinó que las mediciones obtenidas son fiables.

Análisis De Resultados

Emisiones del Motor en la Prueba Estática

En las siguientes tablas se puede observar los valores de carga y rpm a ralenti y 2500 rpm obtenidas en la prueba estática a las diferentes alturas para establecer el modo de trabajo que ejecuta el vehículo.

Tabla 2. Valores de carga en la prueba estática a ralenti 750 rpm

PRUEBA	Altura con respecto el nivel del mar										
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	
A											
#	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	
1	16.48	16.39	16.78	17.17	17.94	19.81	20.16	21.02	22.06	23.72	
2	16.30	16.19	16.99	17.42	18.07	19.31	20.41	21.25	22.50	23.51	
3	16.14	16.61	16.45	17.60	19.07	19.41	20.63	21.42	22.24	23.80	
4	16.15	16.84	16.45	17.83	18.10	19.90	20.25	21.10	22.15	23.47	
5	16.34	16.27	16.65	17.63	18.60	19.55	20.35	21.50	22.45	23.00	
6	16.94	16.86	16.07	17.25	18.23	19.55	20.95	21.35	22.35	23.95	

7	16.2 2	16.94	16.52	17.2 7	18.3 5	19.7 0	20.0 8	21.1 0	22.5 5	23.4 0
8	16.4 1	16.14	16.78	17.4 5	18.1 6	19.3 8	20.8 7	21.1 4	22.6 5	23.3 5
9	16.5 4	16.72	16.13	17.1 7	18.2 5	19.8 5	20.6 0	21.2 0	22.2 4	23.1 2
10	16.5 5	16.11	16.87	17.2 2	18.2 0	19.1 4	20.4 5	21.0 5	22.2 4	23.1 9

Tabla 3. Valores de carga en la prueba estática a 2500 rpm

PRUEBA	Altura con respecto al nivel del mar									
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500
A										
#	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)	Carga (%)
1	17.2 5	17.64	19.21	21.5 6	22.3 5	22.9 6	24.9 6	26.9 5	27.0 5	29.01
2	17.5 8	18.15	19.10	21.9 3	21.9 6	23.5 4	24.5 5	26.4 5	27.2 5	29.80
3	17.9 4	17.99	20.05	20.3 3	22.8 5	23.1 2	24.0 5	26.8 0	27.8 9	29.55
4	17.1 9	18.01	19.55	22.0 3	22.9 6	22.9 0	25.0 1	26.7 5	27.2 5	29.25
5	17.5 6	18.52	19.14	21.6 3	22.6 3	23.7 2	24.6 2	26.5 9	27.4 0	29.61
6	17.6 5	17.99	19.81	20 7	21.8 7	23.1 3	24.3 1	26.6 6	27.5 3	29.51
7	17.2 2	17.70	19.82	21.9 5	22.7 0	23.4 5	24.7 8	26.5 4	27.1 3	29.14
8	18.0 1	18.14	19.95	21.1 0	22.4 1	23.8 7	24.9 9	26.5 0	27.1 0	29.13
9	17.9 6	17.75	19.81	21.7 5	22.5 5	23.6 5	24.5 0	26.4 7	27.3 6	29.37
10	17.1 4	17.97	20.47	21.7 5	22.2 1	23.5 5	24.8 3	26.2 0	27.5 8	29.45

En el análisis de los resultados de la prueba estática a ralentí y 2500 rpm, se realizó el respectivo control de rangos (Suarez, 2012), para garantizar la fiabilidad y confiabilidad de los datos obtenidos con respecto a la selección del modo de trabajo del vehículo GDI.

Los valores indicados en la tabla 4, corresponden a la prueba estática efectuada a ralentí y muestra los efectos de la variación de la altura con respecto al nivel del mar, la carga del motor en conjunto con las revoluciones son las principales variables para que la Ecu determine el modo de trabajo de inyección de combustible y mediante estos parámetros se puede obtener el modo de trabajo en todas las condiciones en ralentí es estratificado. Debido a que en cada condición de altura las rpm varían de 515 a 590 en ralentí y la carga oscila de 16.40 al 23.46% respectivamente lo que estable una mezcla estratificada. Esto indica la condición de menor consumo de combustible, pero a la vez emisiones más altas de NOx lo que indica que el acumulador de NOx empieza a almacenar estos gases.

Tabla 4. Identificación modo de trabajo prueba estática en ralentí

ALTURA (m)	RPM	CARGA (%)	MODO DE TRABAJO
0	515	16.40	E
500	515	16.51	E
1000	520	16.58	E
1500	523	17.40	E
2000	538	18.29	E
2500	548	19.57	E
3000	555	20.48	E
3500	562	21.32	E
4000	578	22.35	E
4500	590	23.46	E

La figura 2 muestra el efecto que produce la variación de altura con respecto al nivel del mar donde se puede observar que el incremento de la altura corresponde a una función exponencial, es así que a 0 metros sobre el nivel del mar tenemos una carga de 16.40% y a 4500 metros una carga de 23,46% pero en los valores intermedios de cada rango se pueden identificar este tipo de función lo que no permite establecer una constante entre cada intervalo. En esta condición de bajas rpm y carga la mezcla permite que el motor trabaje con un valor lambda alto, debido a que se necesita un exceso de aire el cual es controlado por al adelanto a la apertura de las válvulas de admisión y se produce el mayor ahorro de combustible debido a que no se somete el vehículo a solicitudes de carga y potencia por parte del conductor.

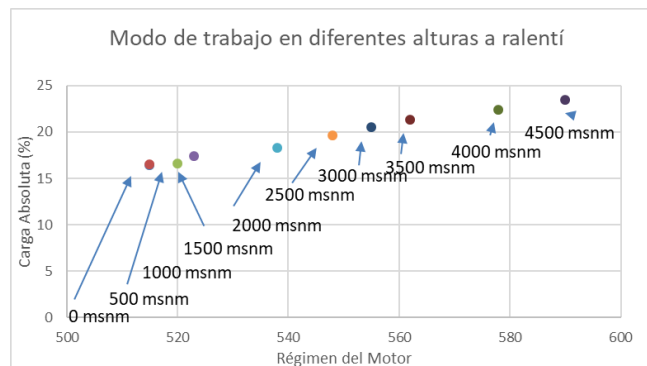


Figura 2. Prueba estática Modos de trabajo Mazda cx-5 a ralentí

Los valores indicados en la tabla 5, corresponden a la prueba estática efectuada a 2500 rpm y muestra los efectos de la variación de la altura con respecto al nivel del mar y se puede observar que a estas revoluciones el modo de funcionamiento del sistema cambia de estratificado a homogéneo pobre en todas las variaciones de altura en base a los valores de rpm y carga registrados, solo con el aumento de la altura la Ecu determina un aumento de carga del motor. En este caso la carga aumenta del 17.55% a la menor altura a 29,38% a la mayor altura hay un aumento de 11,89% de carga en 4500 metros de altura.

En el modo homogéneo pobre la relación aire combustible varía reduciendo el flujo de aire que opone menor resistencia y se mejora el ángulo del cono de pulverización con el cual se obtiene una buena dispersión y penetración obteniéndose rendimiento favorable con respecto a las emisiones y consumo de combustible. En esta condición se determinó el modo homogéneo

pobre y la variación determina el cambio de rangos de trabajo de sensores y actuadores que intervienen directamente con la mezcla.

Tabla 5. Identificación modo de trabajo prueba estática a 2500 rpm.

ALTURA (m)	RPM	CARGA (%)	MODO DE TRABAJO
0	2632	17.55	HP
500	2450	17.97	HP
1000	2356	19.65	HP
1500	2720	21.40	HP
2000	2690	22.45	HP
2500	2555	23.39	HP
3000	2590	24.69	HP
3500	2610	26.59	HP
4000	2520	27.36	HP
4500	2525	29.38	HP

Se identifica en los resultados que a pesar de que el modo de trabajo cambia con respecto al incremento de rpm a modo homogéneo pobre, la tendencia de aumento de carga por la reducción de presión atmosférica se mantiene de manera exponencial. El modo de trabajo homogéneo pobre se desarrolla, dentro de los rangos de trabajo entre el modo estratificado y el homogéneo. En toda la cámara de combustión existe una mezcla homogénea pobre. La relación de combustible y aire es de aproximadamente $\Lambda = 1,55$. En este modo operativo el aumento de la carga se produce por el incremento de la altura y la solicitud de aumento de par por en el pedal del acelerador que se traduce en el cambio de rangos de trabajo de sensores y actuadores través de la masa de aire.

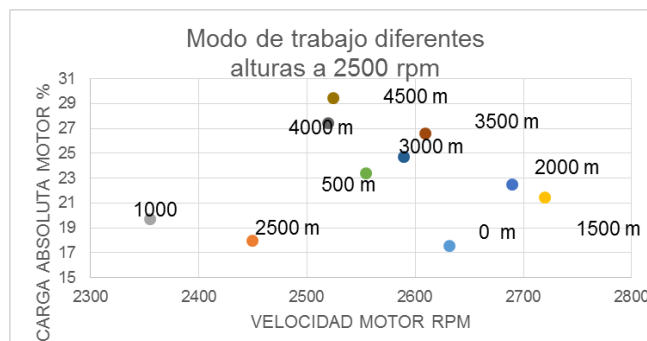


Figura 3. Prueba estática modos de trabajo Mazda cx-5 a 2500 rpm

En la figura se puede observar la ubicación del modo de trabajo en base a las normas del fabricante y se verifica como se producen los modos de trabajo en base a las condiciones de carga y rpm lo que nos obliga a conocer los rangos de trabajo de los diferentes sensores y actuadores para realizar una correcta verificación y diagnóstico.

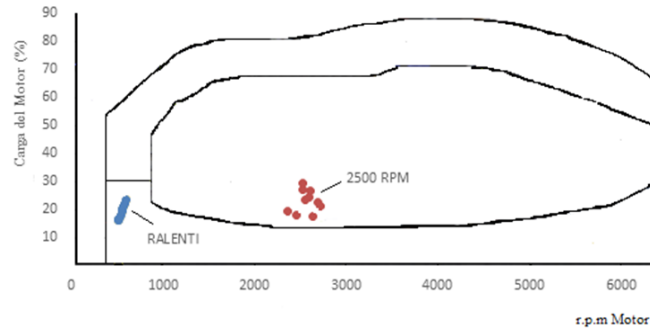


Figura 4. Ubicación de los modos de trabajo Mazda cx-5 a ralenti y 2500 rpm

Conclusiones

En el presente estudio se demuestra la importancia de identificar el modo de trabajo de un motor GDI con un método técnico mediante la utilización de equipos de diagnóstico adecuados debido a que el comportamiento y los rangos de trabajo de los diferentes sensores y actuadores cambian en base a la selección del modo de trabajo.

En las pruebas estáticas a ralenti se determinó que de los 0 a los 4500 metros sobre el nivel del mar cada 500 metros de altura siempre se produce un modo estratificado debido a que la solicitud de carga es mínima y se necesita la menor cantidad de combustible.

Con respecto a la variación de altura se determinó que el incremento de la altura aumenta la carga del motor en 7,06% comparando la menor altura con la mayor y el aumento de la carga es exponencial.

La prueba estática a 2500 rpm indica que se produce un cambio del modo de trabajo de estratificado a homogéneo pobre, debido a que la variación de la altura afecta a la relación estequiometría combustible/aire, y como consecuencia el ecu del motor ejecuta otro modo de trabajo para mantener las prestaciones eficientes de torque, potencia y emisión de gases. La variación de altura en esta condición incrementa la carga 11,83% comparando la menor altura con la mayor y en relación con la prueba estática se produce un incremento del 4,77% de la carga.

Bibliografía

- Lopez, J. (2012). Análisis y Estudio de Sistemas de Aumento de Rendimiento y Reducción de Emisiones en Motores Alternativos de Combustión Interna, Universidad Zaragoza, Zaragoza, España.
- Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J y Sánchez, C. (2006). Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 1: Funcionamiento, Información Tecnológica-Vol. 17 N°5-2006, pág.: 21-30.

- Wang, B., Yizhou, J., Badawy, T. y Xu, H. (2017). Numerical analysis of deposit effect on nozzle flow and spray characteristics of GDI injectors. *Appl Energy*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.094>
- Jiao, Q. and Reitz, R. (2015). The Effect of Operating Parameters on Soot Emissions in GDI Engines. *SAE Int. J. Engines* 8(3), doi:10.4271/2015-01-1071
- Piazzullo, D., Costa, M., Allocca, L., and Montanaro, A. (2017). A 3D CFD Simulation of GDI Sprays Accounting for Heat Transfer Effects on Wallfilm Formation. *SAE Int. J. Engines* 10(4), doi:10.4271/2017-24-0041.
- Gu, X., Huang, Z., Cai, J., Gong, J., Wu, J. & Lee, F. (2012). Emission Characteristics of A Spark-Ignition Engine Fuelled With Gasoline-n-Butanol Blends in Combination With EGR, *Fuel*, 93, 611–617.
- Polat, S., Uyumaz, A., Solmaz, H., Yilmaz, E., Topgül, T & Yücesu, S. (2014). Numerical Study on the Effects of EGR and Spark timing to Combustion Characteristics and NO_x Emission of a GDI Engine. *International Journal of Green Energy*, DOI: 10.1080/15435075.2014.909361
- Merola, S., Tornatore, C. & Irimescu, A. (2016). Cycle-resolved visualization of pre-ignition and abnormal combustion phenomena in a GDI engine. Istituto Motori - CNR, Via Marconi 4, 80125 Napoli, Italy
- Society of Automotive Engineers. (2002). *SAE J 1979: /E Diagnostics Test Modes*. U.S.A
- Mazda Motor Corporation. (2012). *MAZDA CX-5 Manual Service*. USA
- MAZDA. (2013). *Workshop Manual Engine CX-5*, U.S.A.
- Norma Técnica Ecuatoriana. (2000). NTE INEN 2203:99 Gestión Ambiental. Aire Vehículos Automotores. Determinación de emisiones de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o ralentí. Prueba estática. Ecuador.
- Suarez, M. (2012). *Interaprendizaje de Probabilidades y Estadística Inferencial con Excel Winstat y Graph*. Ibarra, Imbabura, Ecuador: M & V.
- Robles, L. y Martínez, J. (2010). *Estudio del comportamiento de las variables de un motor de inyección electrónica respecto a la altura sobre el nivel del mar*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador; 2010.
- Portilla, A. Caiza, P. (2010). *Determinación de la influencia de la altura en emisiones contaminantes de un vehículo con motor ciclo Otto de inyección electrónica de gasolina*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador; 2010.