

Diagnóstico y Mantenimiento de Inyectores de Sistemas de Inyección Directa de Gasolina GDI

Diagnosis and Maintenance Systems Injectors Gasoline Direct Injection GDI

Germán Erazo¹, Félix Mayorga², Martín Núñez³.

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,

Departamento de Energía y Mecánica

^{2,3} Profesionales Independientes

wgerazo@espe.edu.ec¹, fmmayorga@hotmail.com², jmnunezf90@gmail.com³.

Recibido: Octubre 2015, **Publicado:** Diciembre 2015

Resumen — La tecnología en los vehículos en general y en los diferentes sistemas de inyección de combustible en particular han ido evolucionando aceleradamente, tal es el caso de la inyección directa de gasolina GDI, este es un cambio de avanzada en la industria de desarrollo de los motores de combustión gasolina, presenta muchas ventajas en comparación con los sistemas de inyección en el múltiple de admisión PFI (inyección de gasolina en puerto) o MPFI (inyección de gasolina multipunto), su principal diferencia es la inyección directa al cilindro y la alta presión de combustible que puede llegar hasta 200 bares, lo que genera efectos positivos en el comportamiento del vehículo como disminución en el consumo de combustible, emisiones contaminantes, optimizando la potencia, el par motor y sus parámetros de desempeño característicos.

En el mercado automotriz ecuatoriano, ha ingresado vehículos con sistemas de inyección de directa de gasolina que al ser una tecnología nueva en el medio requiere que se apliquen métodos y procedimientos de diagnóstico y pruebas adecuadas.

La investigación presenta la utilización de un banco de pruebas genérico construido a partir de investigaciones realizadas del comportamiento, operación de inyectores usados en sistemas de inyección directa de gasolina para proceder a realizar el diagnóstico considerando, tablas de medición y la utilización del osciloscopio para obtener las curvas de funcionamiento para establecer comparación a través de diferentes medidas obtenidas para desarrollar gráficos que establezcan la condición de operación.

Palabras Claves — Inyección directa de gasolina, banco de pruebas, osciloscopio, curvas características, potencia, par motor.

Abstract — The technology in vehicles in general and in different fuel injection systems in particular have evolved rapidly, as in the case of gasoline direct injection GDI, this is a change in the industry advanced development engine fuel combustion, has many advantages compared with injection systems in the intake manifold PFI (port fuel injection) or MPFI (multi-point fuel injection), the main difference is the direct injection into the high pressure cylinder and fuel which can reach up to 200 bars, generating positive effects on vehicle behavior and decrease in fuel consumption, emissions, optimizing the power, torque and performance parameters characteristic.

In the Ecuadorian automotive market, has entered vehicles with direct injection gasoline being a new technology requires the means and methods appropriate diagnostic procedures and tests applied.

The research presents the use of a generic test bench constructed from behavioral investigations, operation of injectors used in fuel injection systems of gasoline to proceed with considering the diagnosis, measurement tables and use the oscilloscope for the operating curves for comparison set by different measurements obtained to develop graphics establish the operating condition.

Keywords — Direct fuel injection, test, oscilloscope, characteristics, power, torque.

I. INTRODUCCIÓN

La inyección directa de gasolina GDI genera una serie de ventajas en el motor de combustión interna Otto como son: Bajo consumo de combustible y emisiones. Trabajan con un valor de lambda comprendido entre 1,6 y 3 lo que permite el ingreso de mayor cantidad de aire por los ductos de admisión con una menor resistencia, se reducen las pérdidas de calor cedido a las paredes ya que en el modo estratificado la combustión únicamente se lleva a cabo en la zona próxima al salto de chispa mejorando el rendimiento térmico del motor; como la inyección se produce dentro del cilindro, el calor en el aire de admisión se ve notablemente reducido, con este efecto de refrigeración la posibilidad de que exista picado disminuye por lo que se aumenta la compresión. Este aumento conlleva al incremento de la presión de compresión por lo que también se optimiza el rendimiento térmico del motor [1][2][3].

Los motores de gasolina con inyección directa tienen mayor eficiencia volumétrica, esto se atribuye a la extracción de calor en la cámara de combustión debido a la evaporación casi total del combustible durante el proceso de admisión, que también puede mejorar el comportamiento de golpeteo. Por otra parte, no hay más dinámica de la película de combustible en el colector de admisión, ya que este se inyecta directamente en la cámara de combustión. Esto se

traduce en una mejor respuesta durante el arranque en frío, un mejor comportamiento operativo durante los cambios de carga y las emisiones más favorables [2][4].

La inyección directa de gasolina (GDI) es una tecnología que contribuye con el cuidado del medio ambiente, permite que los motores turboalimentados de menor tamaño reduzcan sus emisiones de CO2 y su consumo de combustible, en respuesta a unas normativas cada vez más exigentes como lo es la ISO 14001/94 (Sistema de gestión ambiental). [5][6]. El mercado de la tecnología GDI experimenta una expansión vertiginosa y se calcula que pasará a nivel mundial de unos 5 millones de motores en 2010 a 37 millones en el año 2020 donde prácticamente una cuarta parte de todos los motores de gasolina del mundo contarán con tecnología GDI . [7]

Los constructores de vehículos han optado por fabricación de motores con tecnología GDI, tal como es el caso de Mitsubishi, que tiene como ventajas: menor consumo de combustible (20% de ahorro), potencia superior menor emisión de CO2 (10% inferior), a igual cilindrada. [8][20]

El inyector de alta presión es el interfaz entre el rail de combustible y la cámara de combustión. Su función es dosificar el combustible y vaporizarlo de tal modo que este y el aire se mezcle en una zona específica de la cámara de combustión a fin de lograr una quema perfecta. [3] [9][10]

La presión de trabajo de estos inyectores puede superar los 100 bares, la resistencia de la bobina está bajo los 2 ohmios; por lo que la resistencia de la bobina es más baja y se activado por sistema "peak and hold" (elevación y retención de pico de corriente). [4] [10]

El sistema Peak and hold (elevación y retención de pico de corriente) regula la corriente de activación dado que al ser una resistencia interna muy baja tiene un consumo alto de corriente lo que podría calentar el bobinado produciendo que el inyector o su control electrónico se averíe de modo permanente [14].

La presión de combustible (presión de inyección) y el ángulo de conicidad de pulverización tienen un efecto considerable en el diámetro de las gotas de combustible y su profundidad de penetración. El tamaño de la gota aumenta con la disminución de la presión de inyección, al mismo tiempo que la profundidad de penetración disminuye [10] [18].

Las pruebas relacionadas con la preparación de la pulverización para inyección de alta presión consideran parámetros que influyen en la pulverización de inyección y la formación de la mezcla. Para un proceso de combustión precisamente sintonizado con inyección directa, también es importante ajustar la válvula de inyección y la presión de inyección para el motor de manera precisa en función de las características de funcionamiento deseadas [11][12].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la investigación se utilizo el banco de pruebas de fabricación nacional figura 1, desarrollado en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE con la participación de los autores de este artículo científico [13].

El banco de pruebas para el sistema de inyección directa de gasolina GDI debe ajustarse a parámetros de aplicación y funcionalidad como son [13]:

Versatilidad de acoples para distintos inyectores de sistemas de inyección directa de gasolina GDI.

Realizar pruebas de comprobación de estanqueidad, caudal y ángulo de pulverización.

Comandado electrónico por circuitos de control de potencia para la activación en del banco de pruebas de forma automática con selección manual o selección asistida por la interface del computador.



Fig. 1. Banco de inyectores de sistemas de inyección directa de gasolina GDI fabricación nacional.

Las solicitaciones mecánicas quedan establecidas en el diseño, considerando los factores críticos de operación, resistencia y calidad de los materiales empleados para asegurar su correcto desempeño y durabilidad.

La aplicación del software y hardware de programación (Arduino) del diseño del sistema de activación y control de tiempos, convierte al banco de comprobación de inyectores en un dispositivo de alta precisión frente a las elevadas exigencias del sistema de verificación.

El banco de pruebas se compone de los siguientes elementos y materiales para lograr la fiabilidad de las pruebas del sistema de inyectores GDI.

El mismo que considera componentes mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos en la Tabla 1.

**TABLA 1
COMPONENTES DEL SISTEMA**

SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN
Sistema de combustible de baja presión 5 bar.	Depósito	Es el reservorio de almacenamiento del fluido limpia inyectores.
	Bomba de transferencia	Es de tipo eléctrico y su accionamiento se da por la activación de un interruptor.
	Mangueras	Es la encargada de soportar la presión y transportar el fluido a su destino.
	Válvula regulador de presión de 10 Bar.	Regula la presión máxima del circuito de baja presión.

	Manómetro 11 Bar.	Instrumento de medición que mide la presión generada en un circuito hidráulico de baja presión.
	Filtros	Dispositivo del tipo metálico que filtra del fluido algún tipo de residuos que podrían afectar al sistema.
Sistema de alimentación de alta presión 0-1500 Psi (0-103 bar).	Bomba de alta presión 1000 Bar	Encargada de generar la alta presión a través de émbolos internos, la cual es movida a través de un motor eléctrico de 1,5 kW por transmisión polea-correa.
	Válvula check	Válvula anti retorno se encarga de que el fluido no regrese así siga generando presión y evita contraflujo en el sistema.
	Válvula de alivio 130 Bar	Regula la presión es decir que al llegar a la presión máxima esta se abre y devuelve el fluido extra al depósito, esta se regula igual de manera manual.
	Manómetro de alta 0-150 Bar	Instrumento de medición que mide la presión generada en un circuito hidráulico con carga en este caso circuito de alta presión.
	Válvula de paso	Permite o no el paso del fluido en este caso sirve para despresurizar el sistema.
	Riel de inyectores	Es el distribuidor de combustible donde van a instalarse los 4 inyectores
	Inyectores	Válvulas solenoides a los cuales se les realizara las operaciones de comprobación y mantenimiento.
	Probetas	Dispositivos de medición y recolección del fluido de pruebas para verificación del estado de los inyectores.
	Electroválvulas	Solenoides encargados de drenar el fluido que contienen las probetas con dirección al depósito.

El circuito hidráulico del banco de pruebas considera la generación de la presión necesaria para el sistema de inyección directa de gasolina GDI dispone de los circuitos de:

- Activación sistema de baja presión.
- Activación sistema de alta presión.
- Despresurización del sistema por válvula bypass

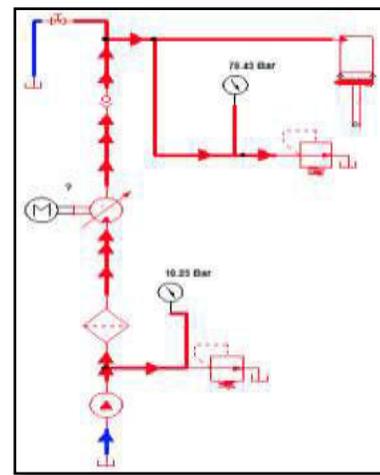


Fig. 2. Circuito hidráulico del banco de pruebas.

Los valores de voltaje de operación y control del banco de pruebas consideran tres transformadores conectados a sus respectivos puentes rectificadores, esto para generar corrientes DC y poder activar distintos componentes de la siguiente manera:

- Transformador de 110 V AC 1A – 12 V DC 1A para activar las electroválvulas de control.
- Transformador de 110 V AC 10 A – 12 V DC 10 A para la activación de los inyectores a verificarse.
- Transformador de 110 V AC 10 A – 12 V DC 3A para la activación de la bomba de transferencia del circuito de baja presión.

El equipo dispone de probetas para medición de volumen de inyección, un sistema de control electrónico de activación de los 4 inyectores, incorpora la rampa de donde se suministra el fluido de prueba y los manómetros en el circuito de alta como de baja presión con sus respectivos reguladores.

El circuito de control de inyectores y electroválvulas permite modificar la amplitud de los pulsos de acuerdo a las revoluciones que se desea trabajar. Alarma de aviso al finalizar la prueba seleccionada.

La metodología utilizada en la investigación es experimental ya que mediante el desarrollo de experimentos, pruebas de laboratorio y estimación de variables se obtuvo resultados de: tiempos de apertura, tiempos de cierre, voltaje pico, señal del inyector en las pruebas de verificación [13].

En el proceso de la investigación científica se utiliza diversos métodos y técnicas según la ciencia particular de que se trate y de acuerdo a las características concretas del objeto de estudio.

Existen, sin embargo, métodos que pueden considerarse generales para todas las ramas de la ciencia en tanto que son procedimientos que se aplican en las distintas etapas del proceso de investigación con mayor o menor énfasis, según el momento en que éste se desarrolle [14] Figura 3.

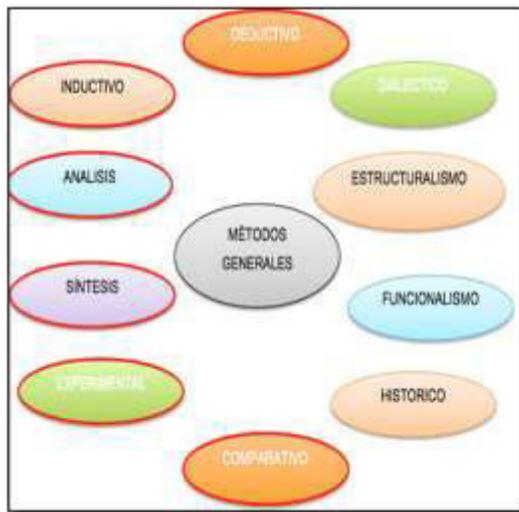


Fig. 3. Métodos generales utilizados en la investigación

Se aplicó los métodos generales como son: Método experimental, deductivo, inductivo, Sintético, analítico, medición, matemático [14] figura 4.

Una vez establecido los materiales, requerimientos y marco metodológico se procede a realizar las mediciones para generar y obtener los resultados de la investigación.

El inyector de alta presión es el interfaz entre el rail de combustible y la cámara de combustión. Dosifica el combustible en una zona específica de la cámara de combustión a fin de lograr una combustión perfecta [15].

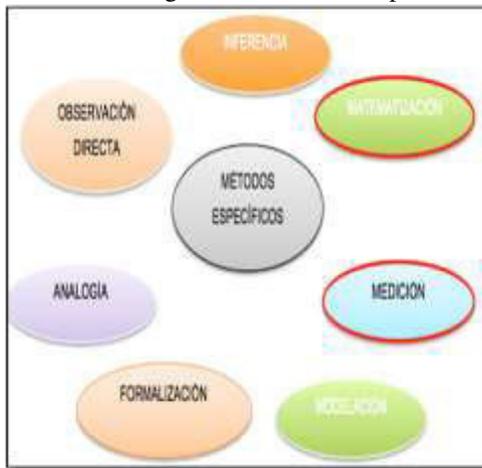


Fig. 4. Métodos específicos de la investigación

La presión de trabajo de los inyectores supera los 100 Bar, la resistencia de la bobina está bajo los 2 ohmios; por lo que se activa por el modo peak and hold.

La estrategia de operación peak and hold regula la corriente de activación para proteger al inyector [15], figura 5.

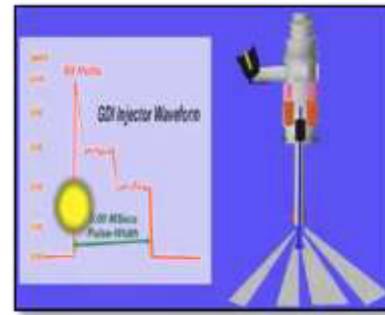


Fig. 5. Control Peak and Hold

La activación del inyector se realiza colocando una tensión alta de 12 V hasta 110 V, este pico produce la apertura del inyector, una vez que el voltaje se agota por la descarga del capacitor, el inyector se queda con 12 voltios y el valor de corriente se estabiliza en los 10 A y luego baja a 2.5 A.

III. RESULTADOS

Se desarrollaron pruebas de flujo, estanqueidad, pulverización, reverse flush considerando la presión del circuito de baja en 3 bar y la del circuito de alta en 150 bar para tiempos de 5 segundos, con ciclos de trabajo variables , 800, 3000 y 7000 revoluciones por minuto similares a las de funcionamiento del motor dadas en la tabla 3.

Para efectos de análisis y diagnóstico se tomó en cuenta los datos medidos en la prueba de pulverización a distintos rangos de operación, aquí se evalúa un correcto cono de atomización para cada uno de los inyectores, para esta verificación es indispensable disponer de un cono simétrico con pulverización en los extremos y compacto en el centro, los valores fijados son: 800 RPM, presión de 40 Bar, una corriente fija de activación de 1,308 amperios con una altura de referencia en función del diámetro de la probeta y la altura a la que se genera el cono Tabla 5 que se analizan en la figura 7 .

TABLA 3
PARÁMETROS DE LAS PRUEBAS DEL EQUIPO

Condición	Prueba	Presión		Amplitud de pulso
		Baja	Alta	
Prueba por Prueba	Flujo	3 bar	30 – 80 bar	5000 ms
	Estanqueidad	3 bar	30 – 80 bar	0 ms
	Pulverización	3 bar	30 – 80 bar	8,57 – 75 ms
	Flujo inverso	3 bar	30 – 80 bar	10 – 75 ms
Prueba automática	Auto limpieza	3 bar	30 – 80 bar	8,57 – 75 ms

Las pruebas de desempeño eléctrico se basan en la medición de resistencia figura 6 previa al montaje en el banco de pruebas y consumo de corriente realizadas con el uso del multímetro tabla 4.



Fig. 6. Medición de la resistencia de los inyectores

TABLA 4
CORRIENTE DE CONSUMO DE LOS INYECTORES EN LA APLICACIÓN DE PRUEBAS

Prueba	Corriente
Atomización (Spray test)	1,308 A
Inyección (Injecting)	3,275 A
Reversa (Reverse)	0,449 A

TABLA 5
DATOS DE LA PRUEBA DE ATOMIZACIÓN

Inyector	Presión (Psi)	Volumen (ml)	∠ Inyección (°)	Corriente A
1	40	80	51	1,308
2	40	84	41.6	1,308
3	40	98	40.1	1,308
4	40	82	41.6	1,308

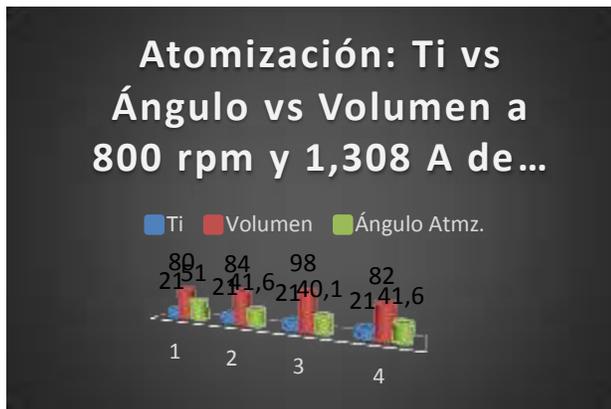


Fig. 7. Atomización o pulverización considerando el volumen de inyección y RPM.

En función de parámetros como la corriente consumida, la presión de trabajo y tiempo de activación de los inyectores que se mantienen constantes permite identificar un incremento de caudal en los inyectores #2 y #3, así como una variación en el ángulo del inyector #1 que es el valor más elevado tanto para el caudal como para la pulverización se considera una variación de entre 1 a 3 ml y de 3 grados respectivamente por lo que se encuentran fuera de tolerancia y en lo posterior se requiere realizar un sistema de limpieza de los componentes para que en el motor de combustión no se encuentre desbalanceada.

El diagnóstico en este sistema de inyección utiliza el osciloscopio automotriz para verificar el consumo de corriente y voltaje como se presenta en la figura 8 donde se observan valores similares de corriente característicos en aperturas de inyectores con tiempos prolongados, de igual manera ángulos de cono de atomización uniformes y de acuerdo a la presión de operación del banco a un régimen de 800 rpm sin que se evidencie ninguna clase de fuga o goteo en la mitad el cono de pulverización.

La figura 8 presenta un periodo de 74,9 ms con un voltaje pico del inyector de 29,2 V presentado posteriormente al momento de apertura del inyector, el tiempo de apertura es de 21 ms aproximadamente en la parte donde la señal concluye la descarga de la fuente switch de activación.

A continuación se desarrolla pruebas de atomización, caudal y estanqueidad a 2500 rpm, $T_i=6.72$ ms y 60 Bar que están en la tabla 6

Se aplican valores de corriente similares en aperturas de inyectores con tiempos prolongados (0,755 A), de igual manera ángulos de cono de atomización uniformes, con una presión de 60 Bar y a un régimen de 2500 rpm sin evidenciar ninguna clase de fuga o goteo en la mitad el cono de pulverización.

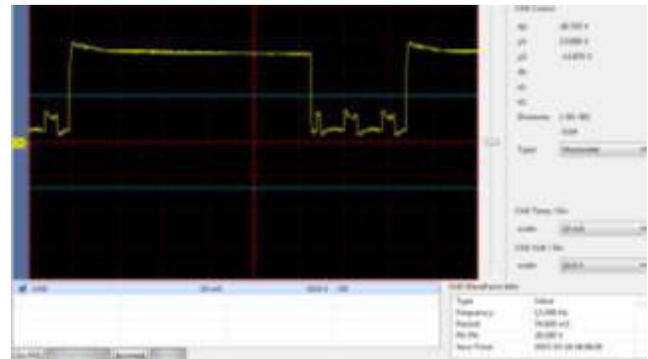


Fig. 8. Oscilograma obtenido de la señal de activación de los inyectores

TABLA 6
DATOS DE LA PRUEBA DE ATOMIZACIÓN

Inyector	Presión (Bar)	Volumen (ml)	∠ Inyección (°)	Corriente A
1	60	36	37,3	0,755
2	60	38	26,5	0,755
3	60	42	28,8	0,755
4	60	42	27,3	0,755

En la figura 9 a través del osciloscopio se obtiene una medición de período de 24,9 ms aproximados con un voltaje pico del inyector de 29,2 V presentado posteriormente al momento de apertura del inyector, el tiempo de apertura es de 6,7 ms aproximadamente en la parte donde la señal de la fuente switch termina.

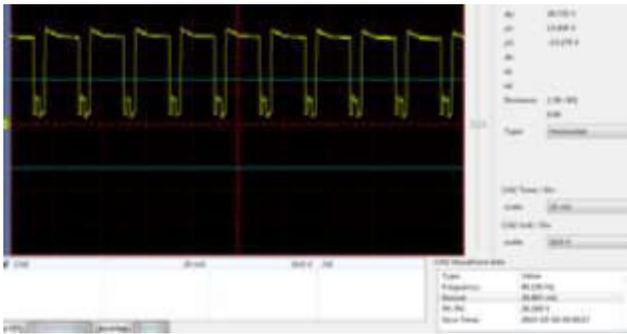


Fig. 9. Oscilograma de activación del inyector a 2500 rpm.



Fig. 11. Atomización, volumen y ángulo de pulverización a 2500 RPM



Fig. 10. Atomización, volumen y ángulo de pulverización a 2500 RPM

Finalmente se aplica una prueba de atomización a 7000 rpm, $Ti=2.4$ ms y 150 Bar con lo que llega a condiciones extremas de operación del motor de combustión interna ciclo Otto con una constante de 0,355 amperios como se observa en la tabla 7.

TABLA 7
DATOS DE LA PRUEBA DE ATOMIZACIÓN

Inyector	Presión (Bar)	Volumen (ml)	∠ Inyección (°)	Corriente A
1	150	26	28	0,355
2	150	28	27	0,355
3	150	27	27	0,355
4	150	28	28	0,355

Se muestran valores similares de corriente característicos en aperturas de inyectores con tiempos prolongados (0,355 A), de igual manera ángulos de cono de atomización uniformes y de acuerdo a la presión de operación del banco a un régimen de 7000 rpm sin que se evidencie ninguna clase de fuga o goteo en la mitad el cono de pulverización.

En función de parámetros como la corriente consumida, la presión de trabajo y tiempo de activación de los inyectores que se mantienen constantes permite identificar variaciones mínimas que se encuentran en valores tolerables por ende se estima que los inyectores requieren un mantenimiento reducido con el fluido de pruebas recomendado para que se niveles caudales y se mejoren los ángulos de pulverización en las condiciones anteriores.

Para la prueba de estanqueidad se eleva las RPM de la bomba de alta presión a 7000 RPM elevándose la presión a 150 bar donde se observa que no presento goteo luego de un minuto de haber aplicado la presión

Finalmente se conecta el osciloscopio para analizar la curva de desempeño de voltaje y corriente donde se ratifica la estabilidad de la onda de activación ratificando que el estado del inyector es aceptable y requiere de un mínimo mantenimiento.

El osciloscopio presenta un período de 11,9 ms aproximados con un voltaje pico del inyector de 26,4 V presentado posteriormente al momento de apertura del inyector, el tiempo de apertura es de 2,3 ms aproximadamente en la parte donde la señal aterriza a masa del transistor.

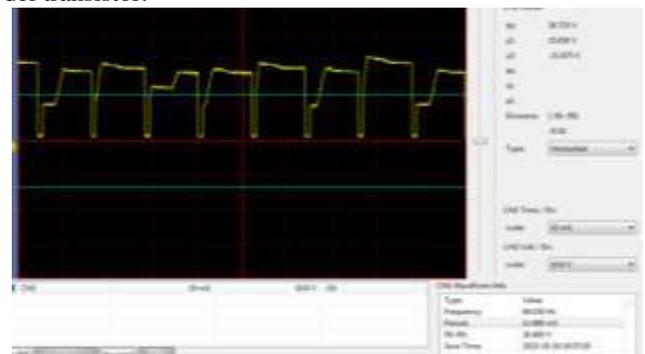


Fig. 12. Curva de consumo y corriente a 7000 RPM

IV. CONCLUSIONES

El análisis de desempeño de los inyectores de sistemas GDI a más de considerar la verificación de pulverización, caudal, estanqueidad requiere de un profundo análisis de consumo de voltaje y corriente para un diagnóstico acertado.

El sistema de inyección directa de gasolina es un sistema novedoso aplicado en motores Otto que pretende disminuir emisiones y elevar los parámetros característicos del mismo.

Se utiliza un banco de pruebas de fabricación nacional que presenta gran versatilidad de ajustes de parámetros similares ay superiores de desempeño que se generan en el motor Otto.

En función de la corriente medida se determina que: con tiempos de activación más largos del inyector, mayor va a ser el consumo de combustible.

El osciloscopio es necesario para realizar diagnósticos avanzados de tipo electrónico en los sistemas GDI.

La corriente de activación de los inyectores GDI es elevada y debe ser controlada ya que los mismos pueden averiarse de forma irreversible.

Se estima que estos sistemas tendrán mayor auge en nuestro medio en el año 2020 por lo que es necesario seguir desarrollando investigaciones relacionadas a fin de estar a la par con los avances científicos.

En función de la presión de inyección se determina que: el ángulo de atomización de los inyectores es inversamente proporcional a la presión.

REFERENCIAS

- [1] BOSCH. (29 de Junio de 2015). BOSCH AUTOMOVIL. Recuperado el 10 de Septiembre de 2015, de youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=wXNX7YhAAP8>
- [2] Basshuysen, R. v. (2009). Gasoline Engine With Direct Injection (Vol. 1). Alemania: exlibris.
- [3] Lenz, H. (1990). Effect of fuel injection process on the structure of diesel spray. Springer, new york.
- [4] Nauwerck, A. (2006). untersuchung der gemischbildung in Ottomotoren mit Direkteinspritzung . logos, Verlag.
- [5] Bayvel, L. (1993). Liquid atomization.
- [6] Pischinger, F. (2001). Motorische Verbrennung .
- [7] Krebs, R., J., B., R., D., Wurms, R., Friedmann, K., J, H., y otros. (2004). Derneue Audi 2,0T FSI Motor-Der erste direkteinspritzende Turbo-Ottomotor bei Audi.25.Wiener Motorensymposium.
- [8] Voss, E., Schmitter, W., Koenigeinsten, A., Scholten, I., Poepperl, M., y otros. (2003). 2,2 1 ECOTEC DIRECT.24.Internationales Wiener Motorensymposium.
- [9] Schnittger, W., Koenigstein, A., Pritze, S., Poepperl, M., & Samstag, P. (2003). 2.2 Direct Ecotec-Neuer Ottomotor mit Drekteinspritzung von Opel. In: MTZ 64 (2003),Nr. 12,S. .
- [10]Herzog, P., & Athenstaedt, R. (1996). Internationales Wiener Motorensymposium.VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 12, . Kraftstoffsysteme fuer DE-Ottomotoren.
- [11]Fischer, J. (2004). Einfluss variabler Einlassstroemung auf zyklische Schwankungenbei Benzin-Di-ekteinspritzung. Logos, Verlag.
- [12]Stiebels, B., Schweizer, M., Ebus, F., & Pott, E. (2003). : Die FSI-Technologie von Volkswagen-nitch nur ein Verbrauchskonzept. In: Direkteinspritzung im Ottomotor IV. . Essen: Expert, Verlag.
- [13]Mayorga, Núñez, Erazo G. (2015) Banco de prueba para diagnóstico y mantenimiento en sistema de inyección a gasolina GDI. Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.
- [14]Ruiz, R. (2007). Metodología de la Investigación (Vol. 1).
- [15]Augeri, F. (17 de Marzo de 2014). cise electronics. Recuperado el 24 de Marzo de 2015, de www.cise.com
- [16]Skala, F. (17 de Marzo de 2014). ciseelectronics. Recuperado el 24 de Marzo de 2015, de www.cise.com
- [17]Lueckert, P., Rau, E., Schuapp, U., Vent, G., & Waltner, A. (2004.). Weiterentwicklung der Benzin-Di-ekteinspritzung beiMercedes-Benz. DaimlerChrysler-Sonderdruck zum 13. Aachener Kol-loquium Fahrzeug-und Motorentechnik.
- [18]Xander, B. (2006). Grundlegende Untersuchungen en einem Ottomotor mit Direkteinspritzung und strahlgefuehrtem Brennverfahren. Dissertation Universitaet Karlsruhe (TH). Logos-Verlag.

- [19]pischinger, R., Grassning, G., Taucar, G., & Sams, T. Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine. Berlin, Alemania.
- [20]Mitsubishi Motors: Mitsubishi Benzinmotor mit Direkteinspritzung. (1995). Technisches Dossier. Frankfurt.



Germán Erazo nació en Latacunga, Ecuador, es Ingeniero Automotriz, Ingeniero Industrial posee estudios de Posgrado en Autotrónica, Gerencia de Marketing, Gerencia de Proyectos, Diseño Curricular, Administración de Empresas y Magíster en Gestión de Energías. Especialista en Gerencia de Proyectos. Técnico Máster CISE Electronics en Electrónica del Automóvil y Vehículos Híbridos. Docente en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE desde 1993. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en mecánica y electrónica automotriz.



Félix Mayorga, nació en Ambato Es ingeniero automotriz, Técnico Máster en electrónica automotriz CISE Electronics, presta sus servicios profesionales como asesor en mecánica y electrónica automotriz.



Juan Martín Núñez, nació en Ambato Es ingeniero automotriz presta sus servicios profesionales como asesor en mecánica y electrónica automotriz.