



*Análisis experimental de la gestión electrónica de un vehículo con sistema de inyección directa estratificada de combustible, en condiciones estáticas y dinámicas*

*Experimental analysis of the electronic management of a vehicle with a direct fuel stratified injection system, under static and dynamic conditions.*

*Análise experimental do gerenciamento eletrônico de um veículo com sistema de injeção direta de combustível estratificado, em condições estáticas e dinâmicas*

Fredy Alexander Carrión Ramos <sup>I</sup>  
[fredyemma26@outlook.com](mailto:fredyemma26@outlook.com)  
<https://orcid.org/0009-0005-7815-6034>

Juan Carlos Castelo Valdivieso <sup>II</sup>  
[j\\_castelo@esepoch.edu.ec](mailto:j_castelo@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-9542-8074>

Angel José Quevedo Rios <sup>III</sup>  
[angel.quevedo@esepoch.edu.ec](mailto:angel.quevedo@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-2304-018X>

Iván Fernando Sinaluisa Lozano <sup>IV</sup>  
[ivan.sinaluisa@esepoch.edu.ec](mailto:ivan.sinaluisa@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-9786-1397>

**Correspondencia:** [fredyemma26@outlook.com](mailto:fredyemma26@outlook.com)

Ciencias Técnica y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de mayo de 2023 \* **Aceptado:** 12 de junio de 2023 \* **Publicado:** 26 de julio de 2023

- I. Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- II. Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- III. Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- IV. Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

## Resumen

El presente trabajo de investigación se determina los modos de funcionamiento en condiciones reales, de la gestión electrónica de un vehículo AUDI Q5 año 2012 con sistema de inyección directa con tecnología TFSI (Turbo-Charged Fuel Stratified Injection). El análisis se basa en una metodología experimental en la que se realizan diferentes pruebas, estáticas y dinámicas, debido que en la literatura existente se basa en la información que brinda el fabricante e ir cotejando con diagramas para verificar el modo de trabajo, consecuentemente, se evaluó los modos de trabajo en condiciones reales de funcionamiento monitoreando el vehículo con instrumentos automotrices que registren los oscilogramas y flujo de datos en tiempo real de los sensores y actuadores del motor de combustión interna (MCI) en su sistema de ignición. A su vez, analizado los oscilogramas y datos en vivo se determinó el modo de trabajo en el que opera el MCI ya sea: estratificada, estratificada homogénea, pobre homogénea, homogénea y antidetonante homogénea; comparando con el diagrama de modos de trabajo.

**Palabras Clave:** Modos de trabajo; Inyección directa; Motores MEP.

## Abstract

The present research work determines the modes of operation in real conditions, of the electronic management of a vehicle AUDI Q5 year 2012 with direct injection system with TFSI technology (Turbo-Charged Fuel Stratified Injection). The analysis is based on an experimental methodology in which different static and dynamic tests are carried out, since in the existing literature it is based on the information provided by the manufacturer and by comparing it with diagrams to verify the way of working, consequently, it is evaluated the work modes in real operating conditions by monitoring the vehicle with automotive instruments that record the oscillograms and data flow in real time from the sensors and actuators of the internal combustion engine (MCI) in its ignition system. In turn, after analyzing the oscillograms and live data, the working mode in which the MCI operates was determined, either: stratified, homogeneous stratified, poor homogeneous, homogeneous and homogeneous antiknock; comparing with the working modes diagram.

**Keywords:** Work modes; Direct injection; MEP motors.

## Resumo

O presente trabalho de pesquisa determina os modos de operação em condições reais, do gerenciamento eletrônico de um veículo AUDI Q5 ano 2012 com sistema de injeção direta com tecnologia TFSI (Turbo-Charged Fuel Stratified Injection). A análise é baseada em uma metodologia experimental na qual são realizados diferentes testes estáticos e dinâmicos, pois na literatura existente é baseado nas informações fornecidas pelo fabricante e comparando-as com diagramas para verificar a forma de trabalho, conseqüentemente, avalia-se os modos de trabalho em condições reais de operação por meio do monitoramento do veículo com instrumentos automotivos que registram os oscilogramas e o fluxo de dados em tempo real dos sensores e atuadores do motor de combustão interna (MCI) em seu sistema de ignição. Por sua vez, após a análise dos oscilogramas e dados ao vivo, foi determinado o modo de trabalho em que o MCI opera, ou seja: antidetonante estratificado, homogêneo estratificado, homogêneo pobre, antidetonante homogêneo e homogêneo; comparando com o diagrama de modos de trabalho.

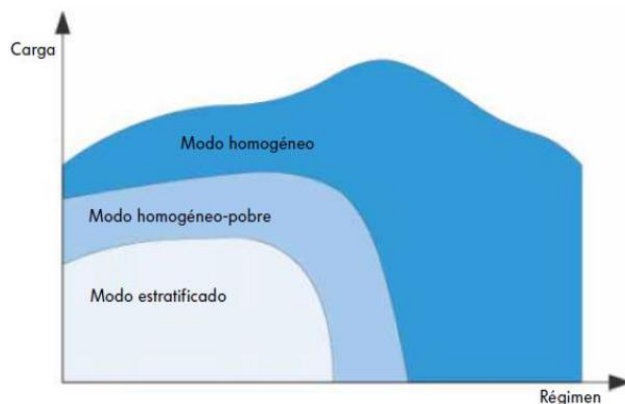
**Palavras-chave:** Modos de trabalho; Injeção direta; motores MEP.

## Introducción

Los vehículos con sistema de inyección directa han venido desarrollando diferentes tecnologías que brinda al usuario diferentes beneficios en potencia, par motor, etc. De esta manera, el Grupo VAG ha sido uno de los pioneros en desarrollar diferentes tipos de sistemas como es el Sistema de Inyección Estratificada de Combustible Turboalimentado (TFSI), y la Inyección Estratificada de Combustible (FSI). Mejorando al Motor de Combustión Interna (MCI), a su vez al vehículo brindando mayor eficiencia, potencia y par motor [1].

Por eso es necesario estudiar el comportamiento de la gestión electrónica del vehículo en distintas condiciones de operación instrumentando los diferentes sensores y actuadores principales del MCI. Para tener un análisis de señales de los diferentes sensores y actuadores en condición estática y condiciones dinámicas de funcionamiento que permitan obtener un diagnóstico considerando parámetros reales de operación del motor representados en oscilogramas de voltaje y corriente. Dado al caso que en la literatura existente se basa en condiciones normales, mas no, en condiciones reales de operación en la muestra el funcionamiento del sistema de ignición del vehículo [2].

Así que se requiere analizar el sistema de gestión electrónica de un vehículo Audi Q5, el mismo que posee un sistema de inyección directa con tecnología TFSI con diferentes equipos de diagnóstico automotriz[3]. Para establecer si los motores de encendido provocado (MEP) con las tecnologías mencionadas presentan o no cambios en la gestión de inyección durante el funcionamiento del motor en sus distintos modos de trabajo, lo mismos que son: modo estratificado, modo estratificado homogéneo, modo pobre homogénea, homogénea o antidetonante homogénea[4]; que se muestra en la figura 1.



*Ilustración 1. Diagrama de los modos de trabajo*

Uno de los modos de trabajo mencionados es el modo estratificado, donde se inyecta una pequeña cantidad de combustible directamente en la región cercana a la bujía, mientras que el resto de la cámara de combustión contiene solo aire. Este modo permite una mezcla pobre en la mayor parte de la cámara, lo que mejora la eficiencia de combustión y reduce las emisiones.

El modo estratificado homogéneo implica una inyección de combustible más uniforme en toda la cámara de combustión, creando una mezcla más homogénea de aire y combustible. Este modo se utiliza en situaciones de carga baja o media para optimizar la eficiencia y reducir las emisiones.

El modo pobre homogénea se caracteriza por una mezcla de aire y combustible más pobre en comparación con los otros modos. Se utiliza en condiciones de baja carga o en regímenes de funcionamiento específicos para reducir el consumo de combustible y las emisiones contaminantes.

El modo homogéneo se refiere a una mezcla equilibrada y uniforme de aire y combustible en toda la cámara de combustión. Este modo suele utilizarse en condiciones de carga alta o a altas velocidades para maximizar la potencia del motor.

Por último, el modo antidetonante homogéneo está diseñado para prevenir la detonación o golpeteo del motor, un fenómeno no deseado que puede dañar los componentes internos. Este modo implica una mezcla de aire y combustible altamente controlada para evitar la detonación y garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

## Metodología

El vehículo que se utilizó en la investigación fue un Audi Q5 año 2012 con sus especificaciones técnicas detalladas en la tabla 1, se trata de un vehículo de laboratorio con fines didácticos que se encuentra en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

Tabla 1: Especificaciones técnicas del vehículo AUDI Q5

<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS AUDI Q5</b>	
Posición del motor	Delantero longitudinal
Número de cilindros	4
Cilindrada	2000 cc
Potencia Máxima	211 CV / 155 KW
Par Motor Máxima	350 Nm
Diámetro x Carrera (mm)	82.5 x 92.8 mm
Relación de compresión	9.6 a 1
Alimentación	Inyección directa
Combustible	Gasolina

Una vez identificado el vehículo en el que se realizó la investigación, se estableció que la metodología a utilizar será una metodología experimental en la que se efectuarán diferentes tipos de pruebas. Las mismas que se obtendrán a partir de la instrumentación de los equipos automotrices que se le realizó al vehículo para comprobar el modo de trabajo en el que opera, tal como se observa en la ilustración 2.



*Ilustración 2: Instrumentos automotrices para detección del modo de trabajo*

La instrumentación que se utilizó fue necesaria para realizar las diferentes pruebas que se requiere, pruebas que fueron tomadas tanto estáticamente como dinámicamente [5]. Entonces, las pruebas van divididas en dos partes. La primera se toma en cuenta el funcionamiento del vehículo en ralentí para determinar cuáles son los puntos de partida de los sensores y actuadores que se requiere para observar el funcionamiento de la gestión electrónica en el proceso de ignición del MCI, y la segunda en condiciones dinámicas.

### **Condiciones estáticas**

Se plantea estudiar los oscilogramas de cada uno de los sensores y actuadores principales del MCI, tomando como referencia el cilindro número 1. Considerando que la prueba estática será el punto de partida para la realización del estudio porque se determinarán los rangos en los que trabajan los sensores y actuadores principales del MCI. La misma que al final de las pruebas realizadas en esta condición permita llegar a un oscilograma final que dictamine, el modo de trabajo en el que se desarrolla el vehículo en ralentí [3].

- Sensor CKP, ciclo de trabajo del MCI.
- Sensor CKP, sensor CMP, ciclo de trabajo del MCI.
- Sensor APP.
- Sensor de la chapaleta.
- Oscilograma final para el análisis del modo de trabajo de operación.



## Condiciones dinámicas

La intención de realizar las pruebas dinámicas fue determinar cuál es el modo de trabajo que realiza el MCI, estudiando la gestión electrónica en su proceso de ignición en condiciones reales de funcionamiento. A diferencia de la condición estática, la condición dinámica se basa en exponer al vehículo a diferentes porcentajes el pedal del acelerador controlado por el Scanner Automotriz VCDS en conjunto con los sensores y actuadores seleccionados que serán obtenidos con el Osciloscopio Maxiscope MP480 [6].

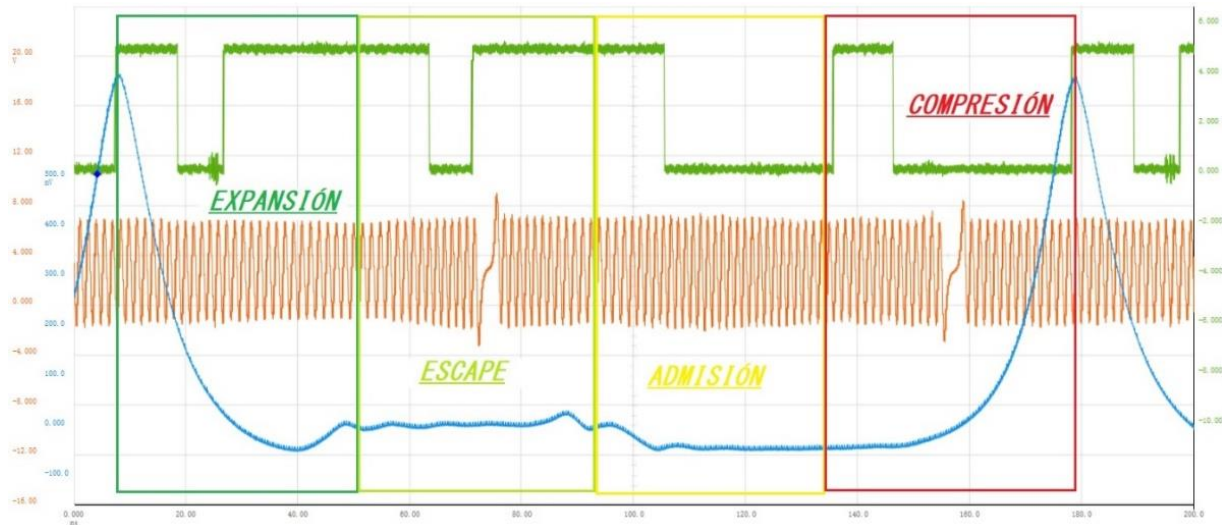
- Sensor CMP, sensor de la chapaleta, consumo del inyector, sensor APP a 20%.
- Sensor CMP, sensor de la chapaleta, consumo del inyector, sensor APP a 40%.
- Sensor CMP, sensor de la chapaleta, consumo del inyector, sensor APP a 60%.
- Sensor CMP, sensor de la chapaleta, consumo del inyector, sensor APP a 80%.
- Sensor CMP, sensor de la chapaleta, consumo del inyector, sensor APP al máximo porcentaje.

Una vez realizado cada una de las pruebas tanto estáticas como dinámicas, se procedió a realizar el análisis y discusión del modo de trabajo en el que opera el MCI, los mismos que podrán ser: estratificada, estratificada homogénea, pobre homogénea, homogénea y antidetonante homogénea.

## Resultados

### Condiciones estáticas

El funcionamiento idóneo de un vehículo con motor MEP, debe tener una adecuada sincronización entre el cigüeñal y el árbol de levas, el mismo que es controlado por los sensores CKP y CMP, respectivamente[7]. Con la correcta sincronización controlada con los respectivos sensores, se puede controlar o monitorear cada una de las carreras que posee el MCI, considerando que el cigüeñal realiza dos vueltas de trabajo mientras el árbol de levas una sola vuelta para cumplir con el ciclo de trabajo del MCI. Con la ayuda de un transductor de presión se logró establecer el comportamiento del MCI para identificar cada una de las carreras que posee el motor, cómo se observa en la ilustración 3.



*Ilustración 3: Oscilograma del sensor CKP y CMP, con la señal del transductor de presión y sus respectivas carreras*

Así mismo, se comprobó que el cigüeñal posee 57 dientes, entonces para que el cigüeñal complete el ciclo que requiere el MCI, requiere que realice dos vueltas por lo tanto estarán involucrados 114 dientes los que están especificados en la tabla 2. Por otro lado, también se encuentra el oscilograma del CMP en el que se logra identificar que existen dos dientes largos y dos dientes cortos.

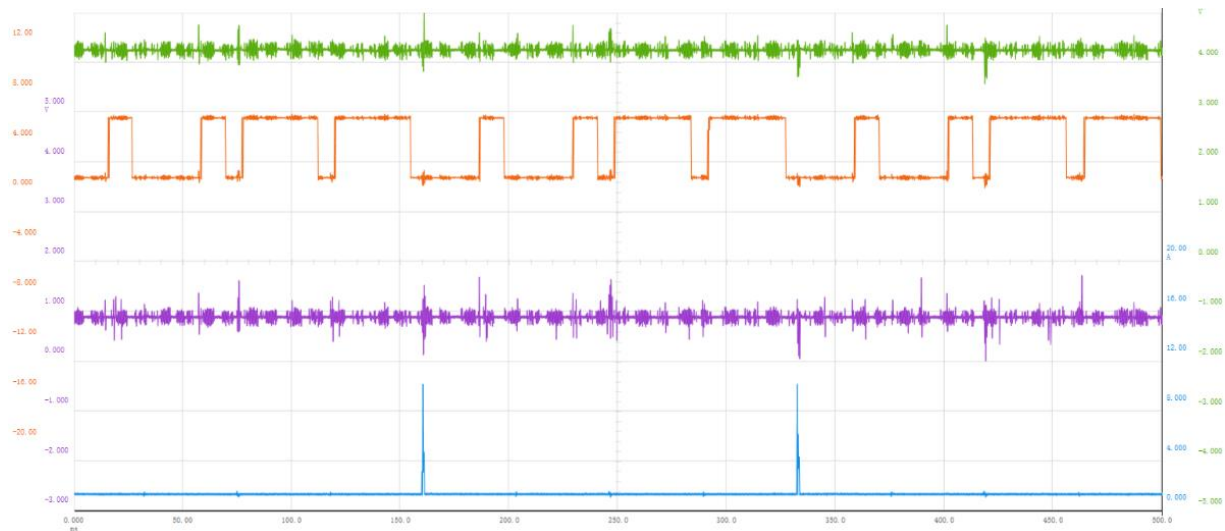
*Tabla 2: Detalle del ciclo de trabajo que realiza el MCI.*

Carrera	Número de dientes	Ángulo
Expansión	29 dientes	180 grados
Escape	27 dientes	360 grados
Admisión	30 dientes	540 grados
Compresión	28 dientes	720 grados

Una vez establecidas las carreras y los rangos de funcionamiento de cada uno de los sensores y actuadores principales del MCI en el sistema de ignición, se estableció que los parámetros que se tomarán en cuenta para analizar serán:

- Sensor de la chapaleta.
- Sensor CMP.
- Porcentaje del pedal de acelerador o sensor APP.
- Señal del inyector.





*Ilustración 4: Análisis del modo de trabajo en el que opera cuando el vehículo está en una condición estática.*

Analizado el oscilograma de las señales que se decidió tomar en cuenta, se determinó que en la ilustración 4, el modo de trabajo en el que está operando es homogéneo. Conforme a que trata de una prueba estática que por lo tanto el vehículo se encuentra en ralentí, los elementos que se analizan se encuentran funcionando sin presentar ninguna alteración, por lo cual; la chapaleta no se encuentra activada, el Sensor APP tiene un porcentaje de abertura del 11.8%, el Sensor CMP no presenta alteración alguna y el inyector presenta una abertura de 0.0991ms en la carrera de admisión.

### **Condiciones dinámicas**

Los parámetros que se toman en consideración son: sensor CMP, sensor de la chapaleta, señal del inyector y el porcentaje del pedal del acelerador el mismo que será expuesto a diferentes cargas, con intervalos de 20 en 20 para determinar su modo de trabajo.

Por medio de la tabla 3 e ilustración 5, se verifico que el vehículo se encuentra a 1455 revoluciones por minuto con una velocidad de 36 km/h, está operando en un modo de trabajo homogéneo, los elementos que se analizan se encuentran funcionando ya presentando cierta variación a pesar de que se trata de un modo de trabajo homogéneo. Por lo cual; la chapaleta no se encuentra activada, el Sensor APP tiene un porcentaje de abertura del 19.6%, el Sensor CMP no presenta alteración

alguna y el inyector presenta una abertura de 1.838ms con una única inyección en la carrera de admisión.

Tabla 3: Datos obtenidos mediante el Scanner VCDS, con un rango del  $\pm 20\%$  del sensor del pedal de aceleración.

VCDS	
DESCRIPTION	ACTUAL
Engine RPM	1455/min
Coolant temperature	99 °C
Vehicle speed	36 km/h
Throttle valve position (absolute)	19.6 %
Mean injection time	1.838 ms
Adaptation of intake manifold runner flaps	3.667 V

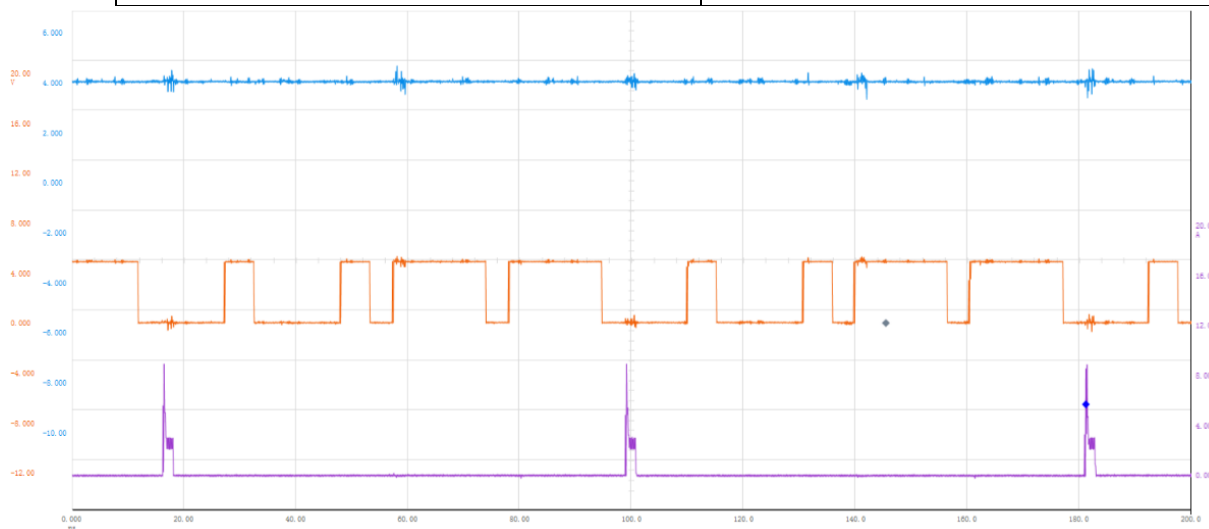


Ilustración 5: Oscilograma del sensor de la chapaleta, sensor CMP y la señal del inyector; cuando se encuentra a un  $\pm 20$  el porcentaje del pedal del acelerador.

Además, se evidenció por medio de la tabla 4 e ilustración 6, que el vehículo se encuentra a 1518 revoluciones por minuto y con una velocidad de 49 km/h, está operando en un modo de trabajo homogéneo, los elementos que se analizan se encuentran funcionando ya presentando cierta variación a pesar de que se trata del mismo modo de trabajo homogéneo. Por lo cual; la chapaleta no está siendo accionada por lo que permite el flujo de masa de aire ingrese generar ningún tipo de turbulencia., el Sensor APP tiene un porcentaje de abertura del 42%, el Sensor CMP no presenta

alteración alguna y el inyector presenta una abertura de 3.210ms con una única inyección en la carrera de admisión.

Tabla 4: Datos obtenidos mediante el Scanner VCDS, con un rango del  $\pm 40\%$  del sensor del pedal de aceleración.

Scanner VCDS	
DESCRIPTION	ACTUAL
Engine RPM	1518/min
Coolant temperature	101 °C
Vehicle speed	49 km/h
Throttle valve position (absolute)	42 %
Mean injection time	3.210 ms
Adaptation of intake manifold runner flaps	3.667 V

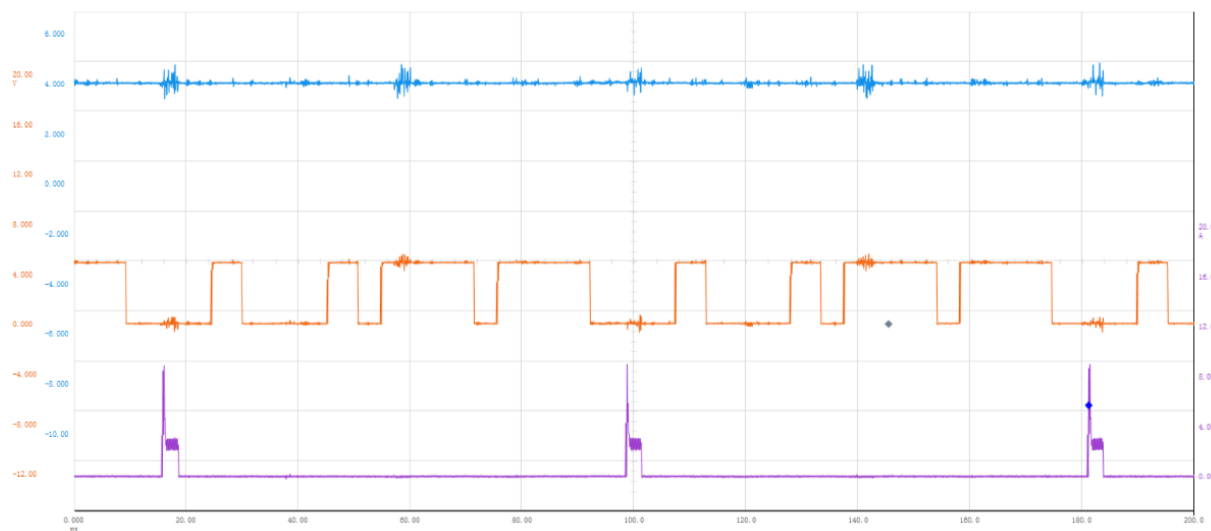


Ilustración 6: Oscilograma del sensor de la chapaleta, sensor CMP y la señal del inyector; cuando se encuentra a un  $\pm 40$  el porcentaje del pedal del acelerador.

En la tabla 5 e ilustración 7 se evidencia que el vehículo se encuentra a 1717 revoluciones por minuto y con una velocidad de 55 km/h, está operando en un modo de trabajo antidetonante homogéneo. Debido a que el pulso de inyección se encuentra tanto en la carrera de admisión como en la carrera de compresión, con la característica que la abertura del inyector cuando se produce en

la carrera de admisión es de 3.622 ms, en igual forma cuando se produce el pulso de inyección en la carrera de compresión, el inyector tiene una abertura de 1.415 ms; notablemente una abertura más pequeña [6]. Además, que la chapaleta no está siendo accionada por lo que permite el flujo de masa de aire ingrese generar ningún tipo de turbulencia.

Tabla 5: Datos obtenidos mediante el Scanner VCDS, con un rango del  $\pm 60\%$  del sensor del pedal de aceleración.

VCDS	
DESCRIPTION	ACTUAL
Engine RPM	1717/min
Coolant temperature	102 °C
Vehicle speed	55 km/h
Throttle valve position (absolute)	62.5 %
Mean injection time	3.622 ms
Adaptation of intake manifold runner flaps	3.667 V

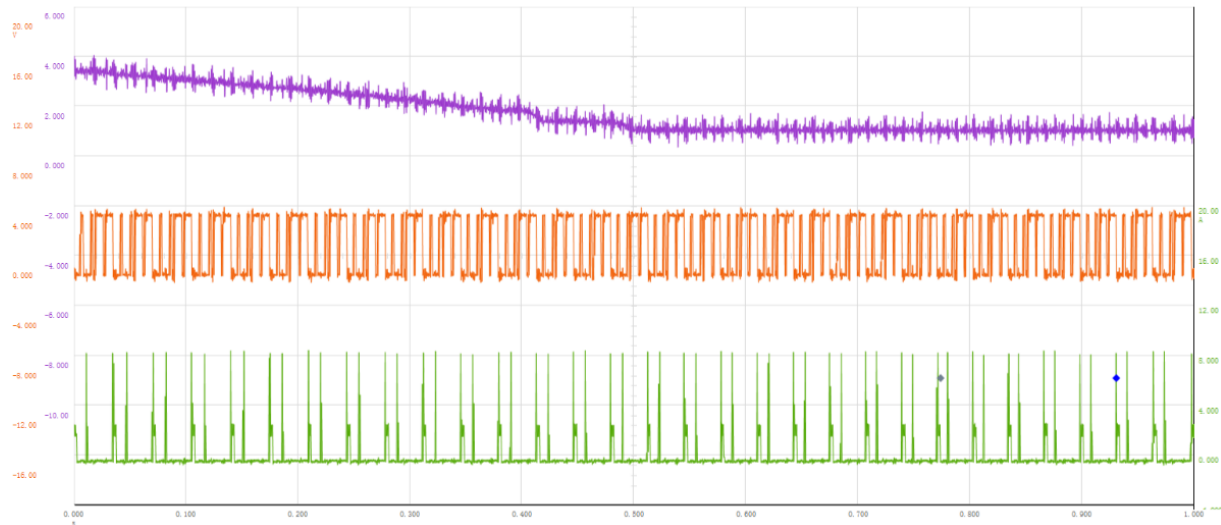


Ilustración 7: Oscilograma del sensor de la chapaleta, sensor CMP y la señal del inyector; cuando se encuentra a un  $\pm 60$  el porcentaje del pedal del acelerador.

Se estableció por medio de la tabla 6 e ilustración 8, que el vehículo se encuentra a 1506 revoluciones por minuto y con una velocidad de 68 *km/h*, la peculiaridad que se muestra en el oscilograma que el modo de trabajo en la que se desarrolla es estratificada homogénea. los elementos que se analizan se encuentran funcionando ya presentan una variación muy notable. Por lo cual; la chapaleta comienza a ser activa en la mitad de la prueba descendiendo la señal de 4V hasta 1.47V se identificó que el flujo de masa de aire que comienza a ingresar comienza a poseer una turbulencia para que la mezcla sea aprovechada de mejor manera, el Sensor APP tiene un porcentaje de abertura del 78.4%, el Sensor CMP presenta una alteración con una frecuencia más repetitiva y el inyector posee dos inyecciones con la característica que la abertura del inyector cuando se produce en la carrera de admisión es de 2.965 *ms*, de igual forma cuando se produce el pulso de inyección en la carrera de compresión, el inyector tiene una abertura de 1.513 *ms*[5].

*Tabla 6: Datos obtenidos mediante el Scanner VCDS, con un rango del ±80% del sensor del pedal de aceleración.*

<b>VCDS</b>	
<b>DESCRIPTION</b>	<b>ACTUAL</b>
Engine RPM	1506/min
Coolant temperature	102 °C
Vehicle speed	68 <i>km/h</i>
Throttle valve position (absolute)	78.4 %
Mean injection time	2.965 <i>ms</i>
Adaptation of intake manifold runner flaps	3.667 V



*Ilustración 8: Oscilograma del sensor de la chapaleta, sensor CMP y la señal del inyector; cuando se encuentra a un  $\pm 80$  el porcentaje del pedal del acelerador.*

Se pudo establecer con los datos de la tabla 7 e ilustración 9, que el vehículo se encuentra a 2598 revoluciones por minuto y con una velocidad de 101 *km/h*, teniendo en cuenta que el oscilograma que se presentó en esta prueba; llegó a tener dos modos de trabajo.

La última prueba dinámica se torna algo peculiar porque posee dos modos de trabajo, el mismo que empieza con un modo de trabajo pobre homogéneo, continúa teniendo un modo de trabajo estratificado homogéneo y finalmente vuelve a poseer un modo de trabajo pobre homogéneo. En este caso la peculiaridad de la chapaleta en todo momento se encuentra activada con una señal de 1.47V.

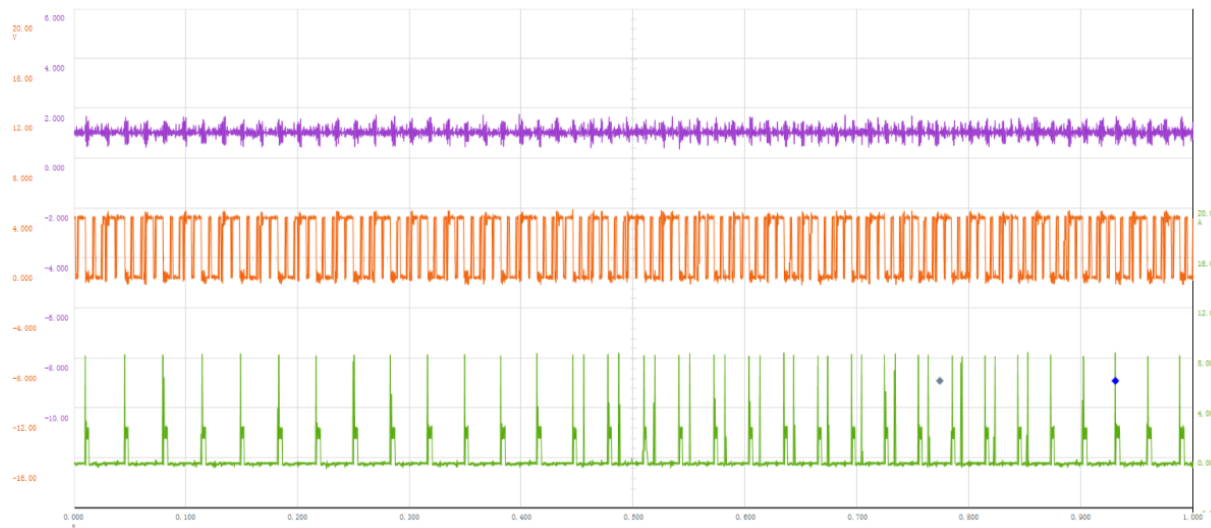
Cuando se encuentra operando en el modo de trabajo pobre homogéneo tanto al inicio como al final de la prueba, se observa que existe un pulso de inyección en la carrera de admisión con una abertura de 4.650ms. Por el contrario, cuando opera en el modo de trabajo estratificado homogéneo el inyector brinda dos pulsos tanto en la carrera de admisión con una abertura de 4.650ms y en la carrera de compresión con una abertura de 1.247ms.

*Tabla 7: Datos obtenidos mediante el Scanner VCDS, al máximo porcentaje del sensor del pedal de aceleración.*

VCDS	
DESCRIPTION	ACTUAL
Engine RPM	2598/min



Coolant temperature	103 °C
Vehicle speed	101 km/h
Throttle valve position (absolute)	87.8 %
Mean injection time	4.650 ms
Adaptation of intake manifold runner flaps	3.667 V



*Ilustración 9: Oscilograma del sensor de la chapaleta, sensor CMP y la señal del inyector; cuando se encuentra al máximo el porcentaje del pedal del acelerador.*

Se puede instaurar que existen diferencias cuando al vehículo se lo expone a diferentes cargas y estas que dependen mucho del porcentaje de carga del pedal del acelerador, así como se detalla en la tabla 8.

*Tabla 8: Comparativa de las diferentes pruebas obtenidas tanto estática como dinámica.*

Porcentaje pedal del acelerador	Modo de trabajo en el que opera	Abertura del inyector		
		Carrera de admisión	Carrera de Compresión	
11.8%	Homogéneo	0.0991 ms	-	<b>Estática</b>
± 20%	Homogéneo	1.838 ms	-	
± 40%	Homogéneo	3.210 ms	-	

± 60%	Antidetonante homogéneo	3.622 ms	1.415 ms	<b>Dinámica</b>
± 80%	Estratificado homogéneo	3.965 ms	1.513 ms	
Máximo porcentaje al pedal del acelerador	Pobre homogéneo – estratificado homogéneo	4.650 ms	1.247 ms	

Comparando investigaciones antes realizadas con la presente, se pudo deducir que todas llegan al mismo fin que es determinar el modo de trabajo en el que está operando el MCI, recalando que cada uno tiene una forma distinta de analizarlo. Así como se realizó la investigación en la Universidad Estatal de Milagro con el Artículo Científico denominado “Estratificación de un motor de inyección directa a gasolina al variar la altitud”[8], de la misma manera en la Escuela Politécnica Nacional con la Tesis de Grado de Magister denominada “Estudio del funcionamiento de un motor de inyección electrónica a gasolina en diferentes alturas con respecto al nivel del mar”[9].

Las cuales se analizan mediante un Scanner Automotriz, la cual es muy correcto analizando diferentes parámetros tales como: MAF, presión en riel, sensor de oxígeno y revoluciones del MCI. Realizando una comparación entre el diagrama de Modos de Trabajo que viene dado por el manual del vehículo, en el que se compara la velocidad del motor en (RPM) y la carga de motor en porcentaje; la cual mediante un ciclo de conducción y evaluando cada uno de los parámetros mencionados realizando ciertos cálculos determina el modo de trabajo en el que opera el MCI [10]. Por el contrario, en la presente investigación el aporte que se realiza es analizar el comportamiento del inyector, chapaleta y el porcentaje del pedal del acelerador; de tal manera, es posible analizar en qué carrera se produjo la inyección y en qué momento se activó la chapaleta. Pero no solo con el diagrama de modo de operación como guía, sino con diferentes equipos como el osciloscopio y scanner automotriz para evaluar el comportamiento de las distintas señales en condiciones reales de funcionamiento, para evaluar parámetros como la velocidad del motor, la velocidad del vehículo, la temperatura del motor y la apertura del inyector cuando el vehículo está en condiciones dinámicas con diferentes porcentajes del pedal del acelerador.

## Conclusiones

- Cuando al vehículo AUDI Q5 se lo expone a  $\pm 20\%$  y  $\pm 40\%$ , se encuentra operando en un modo de trabajo homogéneo con la diferencia en la apertura del inyector varía notablemente con los siguientes valores expresados en milisegundos 1.838 y 3.21 respectivamente. Además, el sensor CMP no presenta una mayor diferencia en su comportamiento.
- Sintetizando, cuando al pedal del acelerador se lo expone a  $\pm 60\%$  y  $\pm 80\%$  se observa que existen dos pulsos de inyección tanto en la carrera de admisión como en la de compresión. Expuesto al  $\pm 60\%$ , el inyector tiene una abertura de 3.622 milisegundos en la carrera de admisión y 1.415 milisegundos en la carrera de compresión, además la chapaleta no se encuentra accionada lo que hace que no exista una alteración en el flujo de masa de aire que ingresa a la cámara de combustión; por lo que se determinó que el modo de trabajo en el que trabaja es antidetonante homogéneo. Por otro lado, cuando el pedal de acelerador es expuesto al  $\pm 80\%$ , el inyector tiene una abertura de 2.965 milisegundos en la carrera de admisión y 1.513 milisegundos en la carrera de compresión, además la chapaleta se encuentra accionada en el mismo que se pudo identificar que la señal comienza a decaer de 4V a 1.47V; por lo que se estableció que el modo de trabajo en el que trabaja es estratificado homogéneo.

En definitiva al pedal del acelerador se lo expuso a su máximo porcentaje se concluyó que operan dos modos de trabajo pasando primero por un modo de trabajo pobre homogéneo con una abertura del inyector de 4.650 milisegundos en la carrera de admisión, pasando por un modo de trabajo estratificado homogéneo con dos pulsos de inyección uno en la carrera de admisión con una abertura de 4.650ms y en la carrera de compresión con una abertura del inyector de 1.247ms, finalmente regresa al modo de trabajo pobre homogéneo con las mismas características que poseía al inicio de la prueba. Teniendo como característica que la chapaleta se encuentra accionada en todo el transcurso de la prueba por lo generó una turbulencia al momento que ingresa el flujo de masa de aire a la cámara de combustión.

## Referencias

- J. Leguísamo, S. Celi, E. Llanes, and J. Rocha, "Estratificación de un motor de inyección directa a gasolina al variar la altitud Stratification of a gasoline direct injection to vary altitude," Ciencia UNEMI, vol. 12, 2019.

- U. De Castilla, "Ciclo teórico de funcionamiento," Motores, 2010.
- R. Aucock, "Audi Q5," *Automotive Engineer (London)*, vol. 33, no. 8, 2008.
- M. V. Noroña Merchan, E. G. Puente Moromenacho, J. C. Leguísamo Milla, and E. A. Llanes Cedeño, "Identificación Del Modo De Trabajo De Un Motor GDI Al Variar La Altura Mediante Una Prueba Estática a Ralentí y 2500 RPM," *INNOVA Research Journal*, vol. 3, no. 7, 2018, doi: 10.33890/innova.v3.n7.2018.750.
- T. Blacha and M. Islam, "The Aerodynamic Development of the New Audi Q5," *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, vol. 10, no. 2, 2017, doi: 10.4271/2017-01-1522.
- W. Dick, M. Lannoije, J. Schuller, and M. Reuter, "Dynamic Steering in the Audi Q5," *ATZextra worldwide*, vol. 13, no. 2, 2008, doi: 10.1365/s40111-008-0057-y.
- J. M. Mantilla G, C. Galeano, and J. Ochoa, "Prediseño Y Simulación De Un Sistema De Inyección Directa Para Un Motor De Combustión Interna De Dos Tiempos," *Scientia et Technica*, vol. 13, no. 34, 2007.
- J. Leguísamo-Milla, S. Celi-Ortega, E. Llanes-Cedeño, and J. Rocha-Hoyos, "Estratificación de un motor de inyección directa a gasolina al variar la altitud.//Stratification of a gasoline direct injection to vary altitude.," *CIENCIA UNEMI*, vol. 12, no. 30, 2019, doi: 10.29076/issn.2528-7737vol12iss30.2019pp46-56p.
- J. Cesar and L. Milla, "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA."
- K. Wegener, S. Andrew, A. Raatz, K. Dröder, and C. Herrmann, "Disassembly of electric vehicle batteries using the example of the Audi Q5 hybrid system," in *Procedia CIRP*, 2014. doi: 10.1016/j.procir.2014.10.098.

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).