



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA DE AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS DE LA TASA DE INYECCIÓN BAJO EL EFECTO DE UN POTENCIA-
DOR DE RESPUESTA DEL ACELERADOR EN UN SISTEMA DE INYECCIÓN
TIPO GDI**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Automotriz

AUTOR: JORGE EMILIO HERRERA RICAURTE
EDDY ARIEL CEDEÑO UBE

TUTOR: ING. PAUL HERNÁN TOTOY MONTERO, MSc

Guayaquil – Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Jorge Emilio Herrera Ricaurte con documento de identificación N°0922221627 y Eddy Ariel Cedeño Ube con documento de identificación N°0931384697; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 15 de octubre del año 2024

Atentamente,



Jorge Emilio Herrera Ricaurte

0922221627



Eddy Ariel Cedeño Ube

0931384697

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Jorge Emilio Herrera Ricaurte con documento de identificación No.0922221627 y Eddy Ariel Cedeño Ube con documento de identificación No. 0931384697, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: Análisis De La Tasa De Inyección Bajo El Efecto De Un Potenciador De Respuesta Del Acelerador En Un Sistema De Inyección Tipo GDI, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de octubre del año 2024

Atentamente,

Jorge Emilio Herrera Ricaurte

0922221627

Eddy Ariel Cedeño Ube

0931384697

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Paul Hernán Totoy Montero con documento de identificación N°1722909395, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA TASA DE INYECCIÓN BAJO EL EFECTO DE UN POTENCIADOR DE RESPUESTA DEL ACELERADOR EN UN SISTEMA DE INYECCIÓN TIPO GDI, realizado por Jorge Emilio Herrera Ricaurte con documento de identificación N°0922221627 y por Eddy Ariel Cedeño Ube con documento de identificación N°0931384697, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de octubre del año 2024

Atentamente,



Paul Hernán Totoy Montero

1722909395

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres quienes han sido siempre el pilar fundamental para mí, han sido mi mayor fuente de inspiración y el claro ejemplo de lo que es superarse en la vida, este logro es tanto mío como suyo.

A mis amigos los cuales me brindaron apoyo en los momentos que más lo requería, su presencia ha sido fundamental durante este proceso educativo.

A ustedes con gratitud dedico este logro que es el fruto de su apoyo y confianza.

[Est. Eddy Ariel Cedeño Ube]

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profundo agradecimiento a mis padres, quienes siempre creyeron en mí y me enseñaron el valor del esfuerzo. A mis queridos amigos, por sus consejos, risas y momentos compartidos, que hicieron más llevadera esta etapa. A las empresas en las que trabajé y trabajo que fueron parte de este proceso, por confiar en mí y ofrecerme las herramientas para desarrollar este proyecto, demostrando ser mucho más que un lugar de trabajo.

[Est. Jorge Emilio Herrera Ricaurte]

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mis padres por su amor, apoyo incondicional y sacrificios para brindarme una educación de calidad, sin su confianza en mí este logro no habría sido posible.

A mi tutor Ingeniero Paul Totoy por su guía y completa paciencia compartiendo sus conocimientos durante todo el proceso de investigación, su tutoría fue fundamental para el desarrollo de este trabajo.

A mis profesores por sus enseñanzas, consejos y experiencias compartidas a lo largo de mi formación académica.

Finalmente, a mis amigos y familiares por el ánimo y apoyo en los momentos de dificultad.

Mi más sincero agradecimiento.

[Est. Eddy Ariel Cedeño Ube]

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. A mis padres, tíos y abuelos, cuya fe en mí ha sido mi mayor impulso. A mi tutor de tesis, Ingeniero Paul Totoy, por su dedicación y por compartir conmigo sus conocimientos. A todos mis profesores, quienes con su pasión por la enseñanza me inspiraron a seguir aprendiendo. Gracias a cada uno de ustedes, este sueño se ha hecho realidad.

[Est. Jorge Emilio Herrera Ricaurte]

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen:.....	1
1. Introducción	2
2. Materiales y Métodos.....	3
2.1. <i>Materiales</i>	3
2.1.1. Banco didáctico YESA 3111.....	3
2.1.2. Potenciador de respuesta del acelerador Pedal Force.....	4
2.1.3. Analizador de gases Brain Bee.....	4
2.1.4. Escáner automotriz GScan2	5
2.1.5. Osciloscopio Micsig	5
2.1.6. Multímetro automotriz Trisco	5
2.1.7. Interfaz Konnwei.....	6
2.2. <i>Adquisición de datos</i>	6
2.3. <i>RTE INEN 2204</i>	8
3. Resultados	9
3.1. <i>Sensor de Posición de Pedal del Acelerador</i>	9
3.2. <i>Pulso de inyección</i>	11
3.3. <i>Sensor MAP</i>	12
3.4. <i>Emisiones de gases</i>	13
4. Discusión.....	15
5. Conclusiones	16
Referencias	17
Apéndice A.....	20

Análisis de la tasa de inyección bajo el efecto de un potenciador de respuesta del acelerador en un sistema de inyección tipo GDI

Jorge Emilio Herrera¹, Eddy Ariel Cedeño², Paul Hernán Totoy³

¹ Universidad Politécnica Salesiana; jherrerar4@est.ups.edu.ec;

² Universidad Politécnica Salesiana; ecedenou@est.ups.edu.ec;

³ Universidad Politécnica Salesiana; ptotoy@ups.edu.ec;

Resumen:

El pedal del acelerador es un componente que antiguamente se lo controlaba por medio de un cable y que en la actualidad es electrónico, por este motivo se han desarrollados diferentes dispositivos que se adaptan al pedal como lo es el potenciador de respuesta del acelerador, que modifica la señal generada por el sensor. El objetivo del presente trabajo es analizar la incidencia que tiene este dispositivo en el sistema de inyección GDI. Para el desarrollo de la investigación, se realizaron tomas de datos de los sensores y actuadores que conforman el sistema de inyección GDI teniendo como condiciones la presencia y ausencia del potenciador dentro del sistema; también se realizó las pruebas de emisiones de gases contaminantes, para ambas condiciones, para el trabajo se utilizó la normativa INEN 2204 que nos indica realizar pruebas en el motor en condición de ralentí y 2500 rpm. El potenciador de respuesta incide sobre el pulso de inyección ya que nos muestra que en condición a ralentí hay una diferencia del 23% y a 2500 rpm una diferencia del 50% con relación al funcionamiento sin el potenciador. De la misma forma observamos variaciones en las emisiones de gases contaminantes respecto al funcionamiento normal del motor y con el potenciador de respuesta del acelerador. El potenciador nos ayuda a mejorar la respuesta del acelerador en el vehículo, disminuyendo el pulso de inyección sin embargo se observó en los resultados un aumento en las emisiones de gases contaminantes.

Palabras clave: potenciador de respuesta del acelerador, pulso de inyección, gases contaminantes

Abstract: The accelerator pedal, once mechanically controlled by a cable, is now electronically operated. As a result, various devices have been developed to interface with it, such as the accelerator response booster, which modifies the signal generated by the pedal's sensor. This study aims to analyze the impact of this device on the GDI injection system. Data were collected from the sensors and actuators of the GDI system under two conditions: with and without the booster. Additionally, emissions tests were conducted for both scenarios following the INEN 2204 regulations, which require testing the engine at idle and at 2500 rpm. The results show that the response booster affects the injection pulse, revealing a 23% difference at idle and a 50% difference at 2500 rpm compared to operation without the booster. Similarly, variations in pollutant gas emissions were observed between normal engine operation and operation with the booster. While the booster enhances the vehicle's throttle response by reducing the injection pulse, the results indicate an increase in pollutant emissions.

Keywords: throttle response enhancer, injection pulse, pollutant gases.

Citation: To be added by editorial staff during production.

Academic Editor: First name Lastname

Received: date

Revised: date

Accepted: date

Published: date



Copyright: © 2023 por los autores. Presentado para su posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de Creative Commons Attribution license.

1. Introducción

En el panorama automotriz actual, la constante innovación tecnológica ha dado lugar a la progresiva sustitución de componentes mecánicos por sistemas electrónicos de control. Un claro ejemplo de ello es el pedal de acelerador, que ha evolucionado desde un mecanismo basado en cables de acero [1], [2], hasta un sofisticado sistema electrónico que opera como un potenciómetro [3]. Este avance ha traído consigo importantes beneficios en términos de eficiencia de combustible, control de emisiones y rendimiento general del vehículo.

En el mercado han surgido dispositivos denominados potenciadores de respuesta del acelerador, como lo es el Pedal Force. Estos dispositivos buscan mejorar la sensibilidad y precisión del sistema electrónico, permitiendo un control más exacto de la apertura del cuerpo de aceleración y, en consecuencia, optimizando el desempeño del motor [4].

No obstante, la implementación de estos potenciadores no está exenta de interrogantes. Su impacto en la eficiencia del motor y las emisiones contaminantes es un tema que requiere un análisis profundo. En particular, en sistemas de inyección directa de gasolina (GDI), donde la combustión se optimiza mediante la inyección precisa de combustible en la cámara de combustión. La introducción de un potenciador de respuesta del acelerador podría alterar estas condiciones óptimas, afectando la tasa de inyección y generando un aumento en las emisiones contaminantes [5].

El objetivo de esta investigación propone analizar el efecto que tiene el potenciador del pedal del acelerador en el sistema de inyección GDI, evaluando cambios en el sistema de inyección de combustible y las emisiones contaminantes. Para ello, se realizarán diferentes pruebas de los sensores y actuadores que componen el sistema de inyección de combustible y del analizador de gases, de esta manera obtendremos datos que serán comparados en dos escenarios, el sistema de inyección sin modificaciones e instalando el potenciador de respuesta del acelerador.

Los sistemas de inyección de gasolina (GDI) tienen la finalidad de conseguir una dosificación del combustible lo más ajustada posible a las condiciones de marcha y estado del motor, todos los sistemas actuales efectúan la inyección de combustible en el colector de admisión. Por delante de la válvula de admisión, es de importancia que la presión del combustible en los inyectores sea constante, sin fluctuaciones, la cantidad de combustible inyectado solo debe depender del tiempo de apertura de los inyectores, este lo determina el módulo electrónico en función del número de revoluciones por minuto del motor y de las condiciones del aire aspirado. En unos sistemas se mide su caudal, en otros se mide su presión, estos dos parámetros determinan una señal denominada base, la cual es modificada mediante la integración de señales eléctricas que puedan ser computadas, la temperatura del motor, la tensión de la batería, las condiciones del aire de admisión, la situación de la válvula o mariposa o la composición de los gases de escape en los sistemas que se utiliza la sonda Lambda [6].

El sistema GDI se ha venido utilizando ampliamente en automóviles de pasajeros, la característica de este tipo de motor es el bajo consumo de combustible para producir un alto rendimiento con menores emisiones. Sin embargo, este motor tendrá un trabajo óptimo siempre y cuando cuente con un combustible de buena calidad, de lo contrario la detonación será un problema [7]. La concentración de CO₂ en la atmósfera ha crecido significativamente afectando la salud de millones de personas en el mundo [8]. El transporte por carretera es el principal responsable del crecimiento significativo de las emisiones globales de CO₂, la principal causa es la dependencia de los combustibles fósiles, la gran mayoría de los cuales se derivan del petróleo [9].

Los sensores automotrices son componentes electrónicos que miden variables, a menudo variables no eléctricas (Físicas o químicas), transformándolas en variables eléctricas. Las salidas de los sensores eléctricos se proporcionan no solo en términos de corriente y voltaje, sino también como amplitudes de señal, frecuencias, fases, anchos de pulso y

ciclos o periodos de una oscilación eléctrica, o como parámetros eléctricos, resistencia, capacitancia, o inductancia. Estos sensores desempeñan una importante función en el monitoreo y control de varios sistemas del vehículo, como el motor, transmisión, el sistema de frenos, sistema de suspensión, entre otros, capturan datos importantes sobre el rendimiento del vehículo, permitiendo que la unidad de control del motor ECU y otros sistemas de control tomen decisiones en tiempo real para optimizar el rendimiento, la eficiencia y la seguridad del vehículo [10]. El sensor de posición de la mariposa (TPS) es un componente que se encuentra ubicado generalmente cerca del cuerpo de aceleración del motor y está diseñado para detectar la posición angular de la mariposa de admisión, este sensor puede utilizar diferentes tecnologías como potenciómetro o sensores de efecto hall, para medir con precisión la posición de la mariposa [3]. La información proporcionada por el sensor de posición de la mariposa es vital para el funcionamiento adecuado del motor, la ECU utiliza esta información para ajustar la cantidad de aire y combustible que se introduce en los cilindros del motor. Esto garantiza un rendimiento óptimo del motor en diversas condiciones de conducción, mejorando la eficiencia de combustible y reduciendo las emisiones contaminantes [11]. En cambio, los actuadores constituyen la interfaz entre el procesamiento de la señal y el proceso mecánico. Transforman las señales que aportan la información de ajuste, de baja potencia, en señales potentes correspondientes a la energía necesaria para intervenir en el proceso. Los convertidores de señales combinados con elementos amplificadores se apoyan en los principios de transformación física entre distintas formas de energía [12].

El acelerador electrónico determina el volumen de admisión del motor del automóvil lo que influye directamente en la eficiencia del combustible y las emisiones de gases del motor [13]. Al tratarse de un dispositivo electrónico, estos modifican la respuesta de la exigencia, ya que al tener una respuesta más agresiva se tendrá mayor potencia y consumo de combustible [14] y al tener una respuesta lenta se tendrá como resultado menor respuesta en la aceleración y a su vez un menor consumo de combustible [15].

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales

2.1.1. Banco didáctico YESA 3111

Las pruebas se realizaron sobre un motor Kia K7 2.4 GDI, la bancada de motores es de la marca YESA modelo 3111 de origen coreano, perteneciente a la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil como se muestra en la Figura 1, las pruebas que se realizaron fueron a ralentí y a 2500 RPM, la Tabla 1 indica las características del equipo utilizado para la toma de datos.



Figura 1. Motor de aplicación YESA-3111 [16]

Tabla 1. Especificaciones técnicas del equipo [17]

Características técnicas	Descripción	Unidades
Motor	Kia	-
Modelo	K7 VG	-
Año	2012	-
Tipo de inyección	Directa	-
Números de cilindros	4	-
Cilindraje	2.4 (2359)	CC
Par nominal	250 a 4250	Nm/rpm
Potencia	201 a 6300	Hp/rpm
Carrera del cilindro	97	Mm
Diámetro del cilindro	89	Mm
Relación de compresión	11.3:1	-
Regulación	EURO 5	-

2.1.2. Potenciador de respuesta del acelerador Pedal Force

El Pedal Force como se muestra en la Figura 2 es un dispositivo electrónico diseñado para mejorar la respuesta del acelerador electrónico en un vehículo, funciona modulando la señal enviada por el sensor del pedal del acelerador a la unidad de control del motor (ECU), lo que permite un control más preciso de la apertura del cuerpo de aceleración [18].

**Figura 2.** Potenciador de respuesta del acelerador [18]

2.1.3. Analizador de gases Brain Bee

El analizador de gases AGS-688 es un equipo que puede funcionar en modo estático y dinámico, al tomar muestras de las emisiones en el tubo de escape con la sonda suministrada [19], mide los compuestos químicos que salen por el tubo de escape de un motor a combustión interna con el que se puede detectar fallas [20]. En la Tabla 2 se muestran las características y rangos de medición del analizador de gases.

Tabla 2. Características del analizador de gases [19]

Denominación	Características técnicas
Marca	Brain Bee
Modelo	AGS-688

Origen	Italia	
Normativa	OIML R99—ISO3930 Clase 1 y Clase 0	
Tiempo de calentamiento	Menos de 10 min	
Filtros	Sistema de filtración reforzado y trampa de agua	
Rangos de medición y precisión		
CO	0–9.99%	RES.: 0.01
CO2	0–19.9%	RES.: 0.1
HC	0–9999 ppm	RESOLUCIÓN: 1
O2	0–25%	RES.: 0.01
Lambda	0,5–5 L	RES.: 0.001
Nox	0–5000 ppm	RESOLUCIÓN: 1
Tasa de error %	0.3535%	

2.1.4. Escáner automotriz GScan2

El G-Scan 2 es un escáner automotriz multimarca diseñado para el diagnóstico y la reprogramación de vehículos. Puede leer y borrar códigos de falla, realizar pruebas de actuadores, visualizar datos en tiempo real y acceder a una amplia gama de funciones de diagnóstico para todos los sistemas del vehículo, la Tabla 3 indica las especificaciones técnicas del escáner automotriz [21].

Tabla 3. Especificaciones técnicas del g-scan2 [21]

Funciones del GScan	
Conectividad	USB o bluetooth
Voltaje de funcionamiento	12v DC
Temperatura de funcionamiento	-10 °c a 50 °c
Humedad de funcionamiento	0% a 95%HR
Compatibilidad	Vehículo Hyundai o Kia a partir de 1996

2.1.5. Osciloscopio Micsig

Instrumento de medición utilizado en la electrónica y otras áreas de ingeniería para observar la forma de onda de señales eléctricas, la Tabla 4 indica los datos técnicos del osciloscopio usado [22].

Tabla 4. Datos técnicos del Osciloscopio [19]

Denominación	Característica	Unidad
Marca	Micsig	-
Modelo	TO1104	-
Longitud de muestra	2,8	Mpts
Tasa de captura de forma de onda	80000	Ft3/s
Velocidad de muestreo en tiempo real	1	GSa/s
Prueba de soporte	Circuitos de carga/arranque, sensores, actuadores, encendido, redes, pruebas combinadas	-

2.1.6. Multímetro automotriz Trisco

El multímetro digital es un instrumento electrónico ampliamente utilizado e integra varios rangos de medición como voltaje CA/CC, corriente CA/CC y resistencia y también puede

medir con precisión la potencia y energía eléctrica, es un instrumento de uso común debido a su tamaño pequeño, ligero y fácil transportación [23], la Tabla 5 indica los datos técnicos del multímetro.

Tabla 5. Datos técnicos del multímetro Trisco [24]

Denominación	Característica	Unidades
Marca	Trisco	-
Modelo	DA-830	-
Funciones		
Tacómetro	300 a 12000	Rpm
Tiempo de inyección	0 a 40	mS
Medición de voltaje	0 a 40	Kv
Medición de frecuencia	4 a 40	KHz a MHz
Dwell para motores de 4, 6 y 8 cilindros	-	-
Amperaje	Hasta 20	AMP
Voltaje	Hasta 500	V AC y DC
Resistencia	Hasta 40	MΩ

2.1.7. Interfaz Konnwei

El interfaz inalámbrico compacto que permite diagnosticar el vehículo con el uso de un dispositivo móvil inteligente, lo cual permite conectarse teniendo una amplia compatibilidad de vehículos en donde permite ver datos en tiempo real de los sensores del vehículo [25], la Tabla 6 indica los datos técnicos del escáner.

Tabla 6. Datos técnicos del interfaz Konnwei [25]

Denominación	Característica	Unidades
Marca	Konnwei	-
Modelo	KW902	-
Bluetooth	3	-
Soporte	IOS, android y windows	-
Números de pines	16	-
Lectura de parámetros en el vehículo		
Velocidad	Carga del motor	Flujo de aire
RPM	Posición del acelerador	Nivel de combustible
Consumo de combustible	Presión del colector	Presión barométrica
Temperatura del refrigerante	Temperatura de entrada	Presión de vapor sist. EVAP
Presión del combustible	Avance de tiempo	Ajuste del combustible

2.2. Adquisición de datos

En el siguiente diagrama de flujo indicado en la Figura 3 se muestra el proceso que se realizará para la adquisición de datos. En este estudio se seguirá un método experimental usando un motor tipo GDI de 2.4 litros correspondiente a un vehículo Kia K7 del año 2012, conocido como Kia Cadenza en algunos mercados.

Como primer punto se realizará las comprobaciones del buen funcionamiento del motor, en el primer caso se utilizará el banco didáctico en condiciones de funcionamiento estándar disponible en la universidad, tomando datos del sistema de inyección para realizar la caracterización del sistema, en el segundo caso se utilizará el mismo motor, pero esta vez instalando el potenciador de respuesta del acelerador para comprobar si este dispositivo generará una modificación a la respuesta de la aceleración del motor, se tomarán datos de emisiones en ambas pruebas y de esta forma comparar la variación de los porcentajes de contaminantes.

Para la toma de los datos se utilizará un escáner inalámbrico Konnwei el cual almacenará la información en tiempo real, a su vez se utilizará multímetro Trisco con el fin de obtener los voltajes característicos de varios sensores estudiados, escáner Gscan2 para tener un mejor control de PIDs y Osciloscopio Micsig para la obtención de curvas características propias de sensores y actuadores.

Dentro del procedimiento, la toma de muestras de análisis de datos será importante para determinar si existe alguna variación, por lo que se medirán antes y después de implementar el potenciador de respuesta del pedal del acelerador.

Con los datos recopilados en cada prueba se realizará la comparación de los valores del funcionamiento estándar del motor y las variaciones que tendrá con el potenciador de respuesta del acelerador, finalmente se describirán los resultados obtenidos y ver como este dispositivo influye en la respuesta de aceleración del vehículo y en la variación de emisiones de gases.

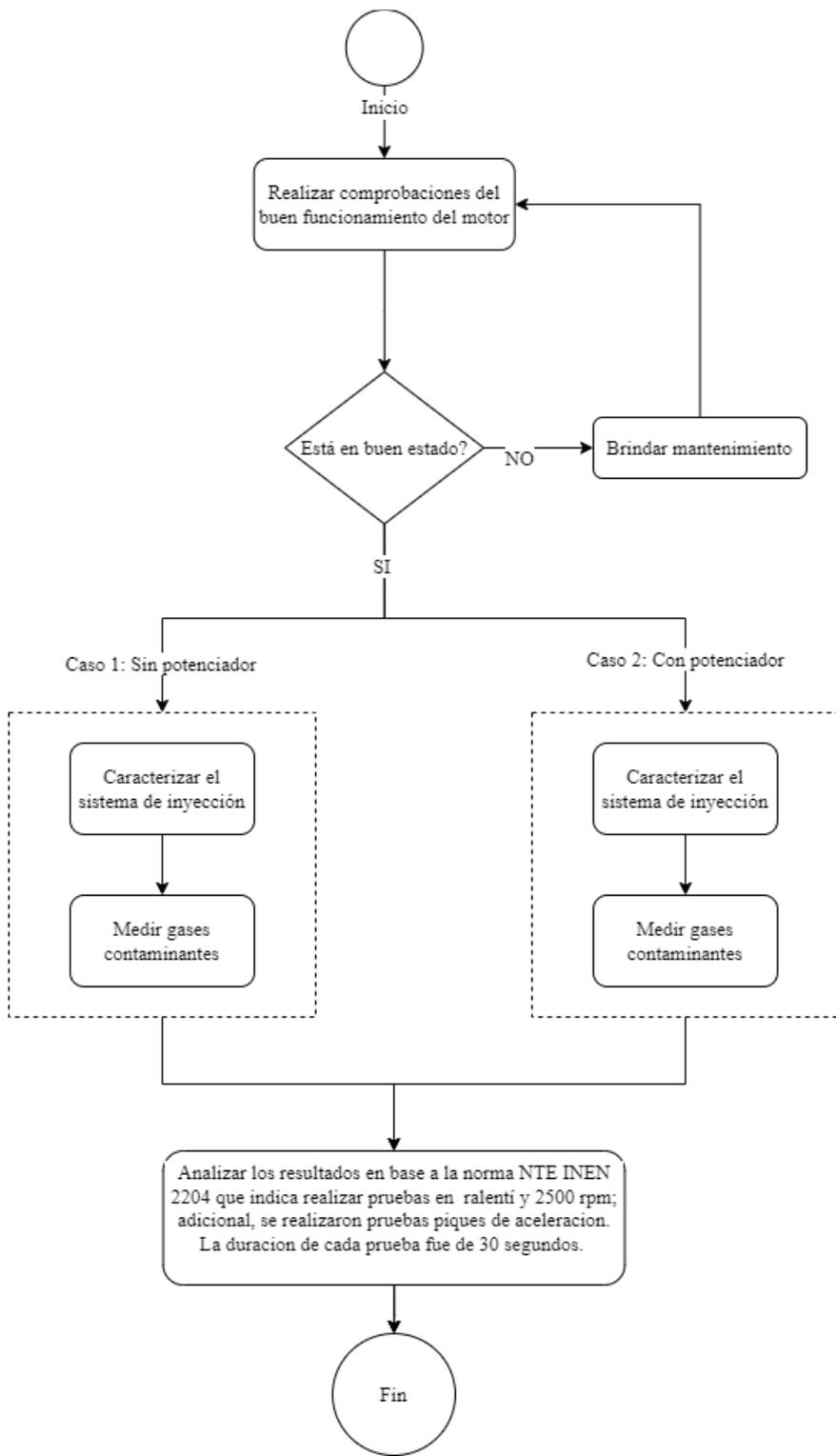


Figura 3. Diagrama de flujo.

2.3. RTE INEN 2204

La norma RTE INEN 2204 establece los requisitos técnicos y procedimientos para medir las emisiones de gases contaminantes de vehículos automotores en condiciones específicas de funcionamiento. Indica cómo deben realizarse las pruebas de emisiones en ralenti y a 2500 rpm, detallando los límites permitidos para gases como CO, CO2, HC y O2.

200
201
202
203
204
205
206

3. Resultados

3.1. Sensor de Posición de Pedal del Acelerador

En el análisis de los datos obtenidos, se consideró el porcentaje de apertura del pedal del acelerador como la variable independiente, mientras que el voltaje del sensor se estableció como la variable dependiente. El estudio comparó dos escenarios: el sistema sin potenciador y con el potenciador instalado. Para verificar la homocedasticidad de varianzas entre los grupos, se utilizó la prueba de Bartlett, con el fin de evaluar la homocedasticidad de los datos. Para el sensor sin potenciador obtuvimos un valor p de 0,9982 y 0,98983 para el APP1 y APP2 respectivamente, mientras que, para el sensor con potenciador se obtuvo un valor p de 0,97511 y 0,97967 para el APP1 y APP2 respectivamente. Para más información de los valores obtenidos en la prueba Bartlett lo encontramos en las Tabla A 3 y Tabla A 4 en la sección de los apéndices.

En la Figura 4 se observa que el APP1 y el APP2 con el potenciador muestra un mayor voltaje del sensor en comparación al sistema sin potenciador. A continuación, en la Tabla 7 se detalla los valores adquiridos de la pendiente (β_1), la raíz del error medio (RMSE), el R^2 y el valor P en las condiciones indicadas.

Tabla 7. Modelo de regresión del sensor APP sin potenciador y con potenciador

Modelo de Regresión	$y = \beta_0 + \beta_1 X_1$	Fórmula de la pendiente		$\beta_1 = \Delta y / \Delta x$	
		APP1	APP2	APP1	APP2
Señal		APP1	APP2	APP1	APP2
		Estimación	Estimación	Estimación	Estimación
β_0	0,81653	0,39436	0,80035	0,41004	
β_1	0,027106	0,013269	0,02739	0,013561	
Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)	0,0945	0,044	0,104	0,0534	
R-cuadrado:	0,988	0,989	0,986,	0,985,	
Valor P	9,35E-20	3,58E-20	4,41E-19	9,04E-19	
Condición		Sin potenciador		Con potenciador	

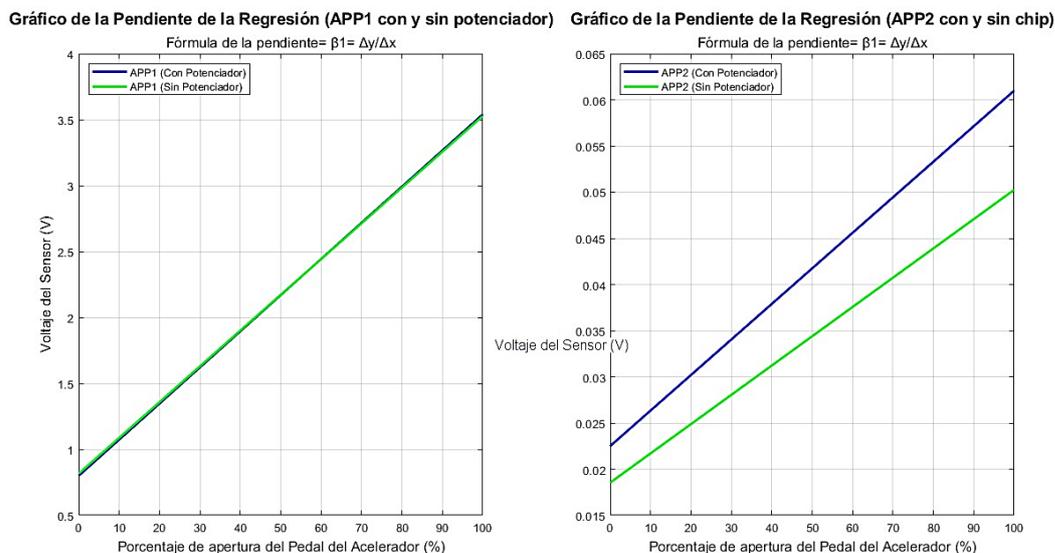


Figura 4. Gráfica de la pendiente del APP1 y APP2

La Tabla 8 muestra los resultados de la transformada de Box-Cox aplicada a los datos de los sensores APP1 y APP2 bajo dos condiciones: sin potenciador y con potenciador de respuesta del acelerador. Esta técnica se emplea para estabilizar la varianza y aproximar una distribución normal de los datos, facilitando su análisis posterior, especialmente en modelos de regresión.

Tabla 8. Método de COx-Box

Sensor	APP			
Señal	APP1		APP2	
Condición	Sin Potenciador	Con Potenciador	Sin Potenciador	Con Potenciador
Lambda Óptimo	0,67163	0,62356	0,66988	0,63988

Luego, se procede a realizar una nueva regresión con los datos transformados. En esta etapa, se verifica nuevamente la homocedasticidad y se comprueba que los supuestos del modelo de regresión se cumplen adecuadamente. Los coeficientes estimados y los estadísticos asociados a la nueva regresión se presentan en las Tabla A 7 y Tabla A 8 adjuntas en los anexos, permitiendo una interpretación más precisa de los resultados obtenidos. En la siguiente Figura 5, los resultados muestran que la aplicación del potenciador de respuesta del acelerador afecta positivamente el comportamiento de los sensores APP1 y APP2, incrementando la sensibilidad de ambos sensores respecto al porcentaje de apertura del pedal, obteniendo los siguientes valores.

Tabla 9. Método de Cox-Box para el modelo de regresión sin potenciador y con potenciador

Modelo de Regresión	$y = \beta_0 + \beta_1 X_1$	Fórmula de la pendiente	$\beta_1 = \Delta y / \Delta x$		
Señal	APP1	APP2	APP1	APP2	
	Estimación	Estimación	Estimación	Estimación	

β_0	-0,095148	-0,63307	-0,096895	-0,61337
β_1	0,021408	0,013275	0,020897	0,01342
Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)	0,072	0,0425	0,0717	0,0486
R-cuadrado:	0,989	0,99	0,989	0,987
Valor P	4,71E-20	1,92E-20	6,82E-20	1,89E-19
Condición	Sin potenciador		Con potenciador	
Regresión después de aplicar método CoXBox				

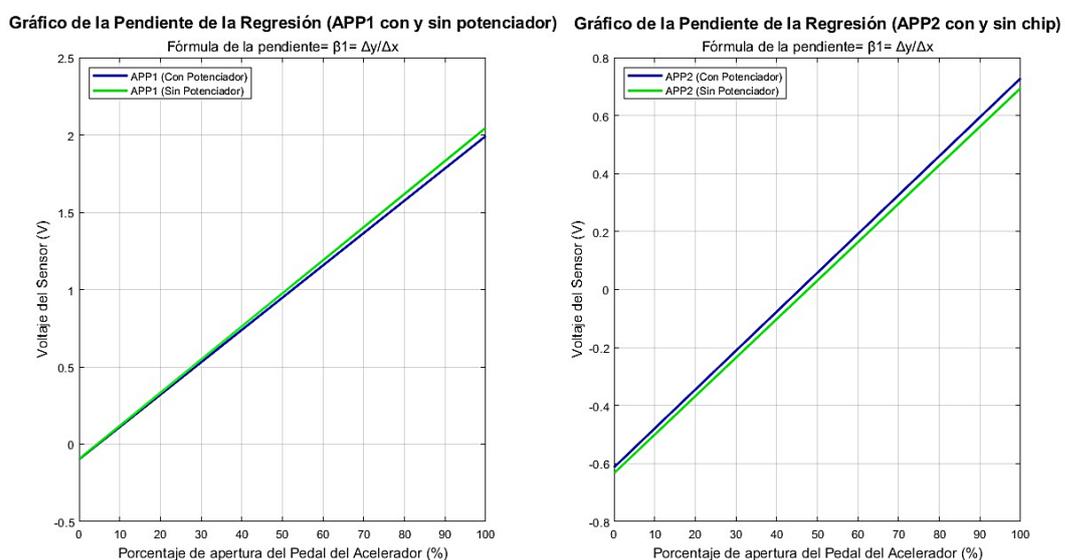


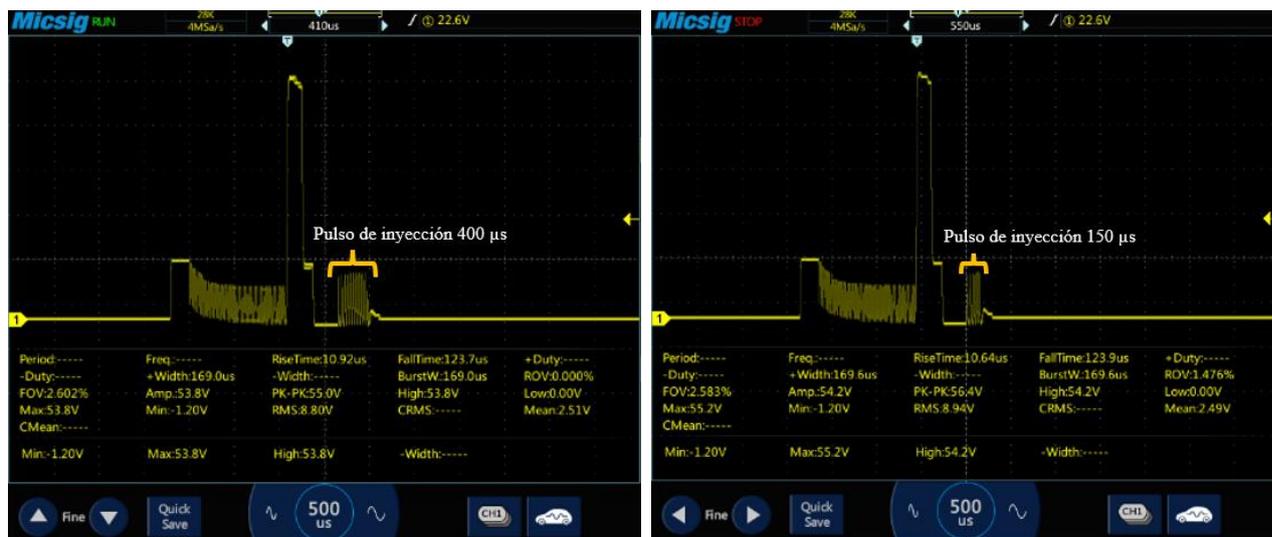
Figura 5. Gráfica de la pendiente del sensor APP1 y APP2 con los valores transformados

3.2. Pulso de inyección

En la Figura 6 tenemos el oscilograma del pulso de inyección en condición a ralentí sin potenciador de 2400 μs y con potenciador de 1850 μs . Asimismo, podemos observar el oscilograma del pulso de inyección a 2500 rpm sin el potenciador de 400 μs y con el potenciador de 150 μs en la Figura 7, respectivamente.

Tabla 10. Pulso de inyección

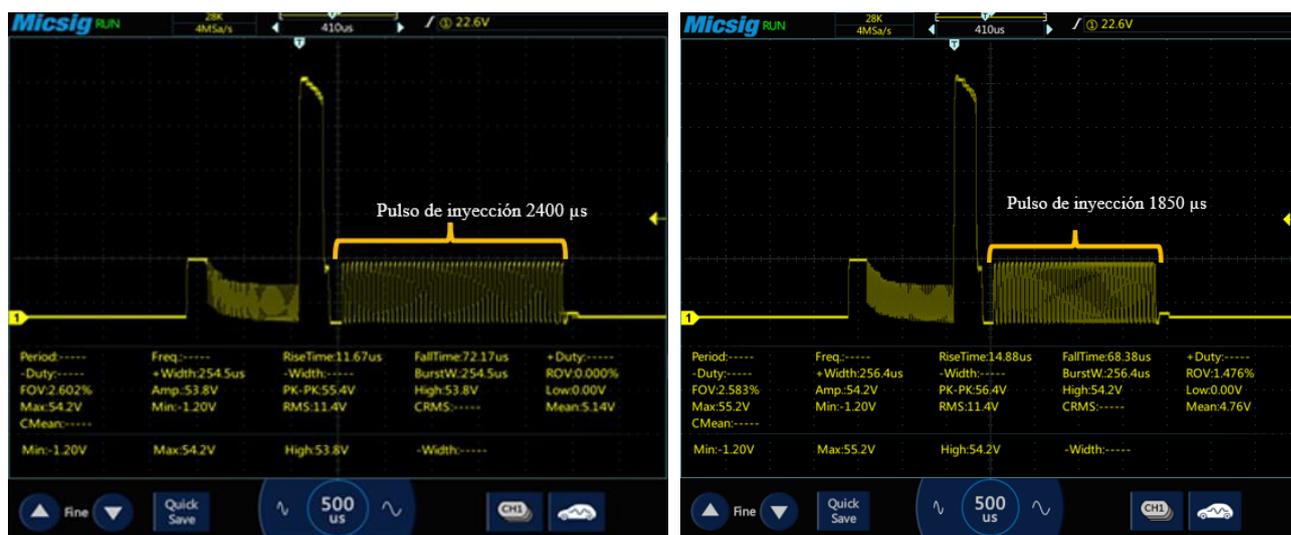
Condición	Sin potenciador (μs)	Con potenciador (μs)
Ralentí (μs)	2400	1850
2500 rpm (μs)	400	150



(a)

(b)

Figura 6. Pulso de inyección a 2500 rpm, en donde, (a) es sin potenciador y (b) con potenciador del pedal del acelerador.



(a)

(b)

Figura 7. Pulso de inyección a ralentí, en donde, (a) es sin potenciador y (b) con potenciador de respuesta del acelerador

3.3. Sensor MAP

En la Figura 8 tenemos representados por medio de varias gráficas de regresión los valores del MAP respecto al tiempo, los datos fueron tomados con un régimen del motor a ralentí y 2500 rpm con el potenciador de respuesta. A ralentí, el MAP sin potenciador se obtuvo un valor de varianza de $3.2768E-30$ y un valor de la media de presión de 4.6412 psi, así mismo, el MAP con potenciador se obtuvo un valor de varianza de $5.6685E-04$ y un valor de la media de presión de 4.4214 psi

Mientras que, el MAP a 2500 rpm sin potenciador se obtuvo una varianza de 0.0103 y un valor de la media de presión de 3.9167 psi. Así mismo, el MAP a 2500 rpm con potenciador el valor de la varianza es de 0.0859 y el valor de la media de 4.2296 psi.

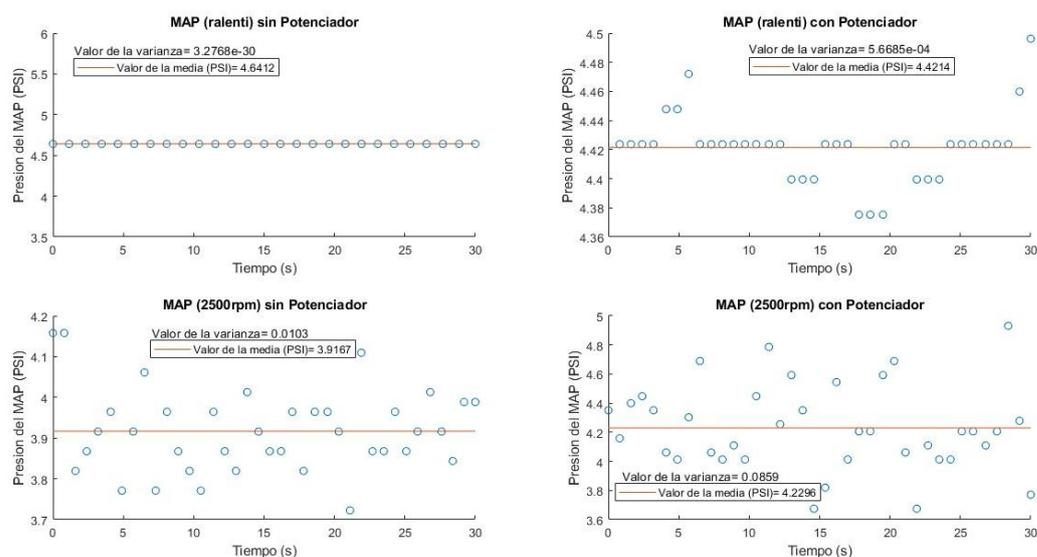


Figura 8. Análisis del MAP con régimen a ralenti y 2500 RPM

3.4. Emisiones de gases

En la Tabla 11 y Tabla 12 se muestran los datos obtenidos del análisis de emisiones de un motor con sistema de inyección GDI en condiciones a ralenti y 2500 rpm con el potenciador y sin el potenciador instalado.

Tabla 11. Datos del análisis de gases realizado a ralenti

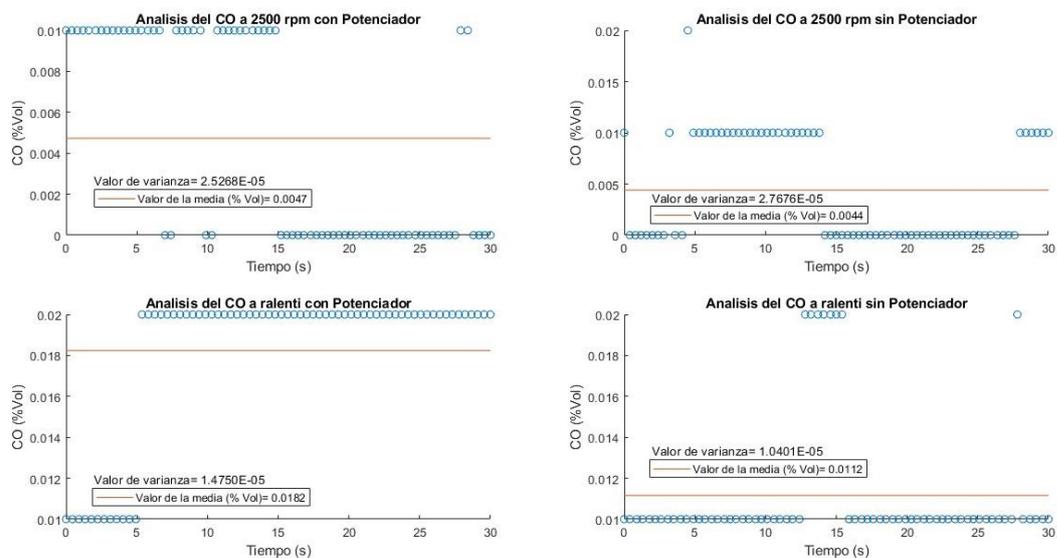
Parámetros (°C)	Sin potenciador	Con potenciador
CO	0,0069	0,038
CO2	11,2304	10,024
HC	5,3186	10,402
O2	5,6318	6,9223

Tabla 12. Datos del análisis de gases realizado a 2500 RPM

Parámetros (°C)	Sin potenciador	Con potenciador
CO	0,0067	0,0036
CO2	14,6419	15,099
HC	2,3232	5,6414
O2	0,2408	0,3855

En la Figura 9 se muestran los valores de emisiones del CO. De azul tenemos las emisiones del monóxido de carbono con el potenciador del acelerador y de color rojo sin el potenciador del acelerador. En el análisis de gases del CO a 2500 rpm con potenciador tenemos un valor de varianza de 2.5268E-05 y un valor de la media de 0.0047 % vol, mientras que, sin potenciador tuvimos una varianza de 2.7676E-05 y una media de 0.0044 % vol.

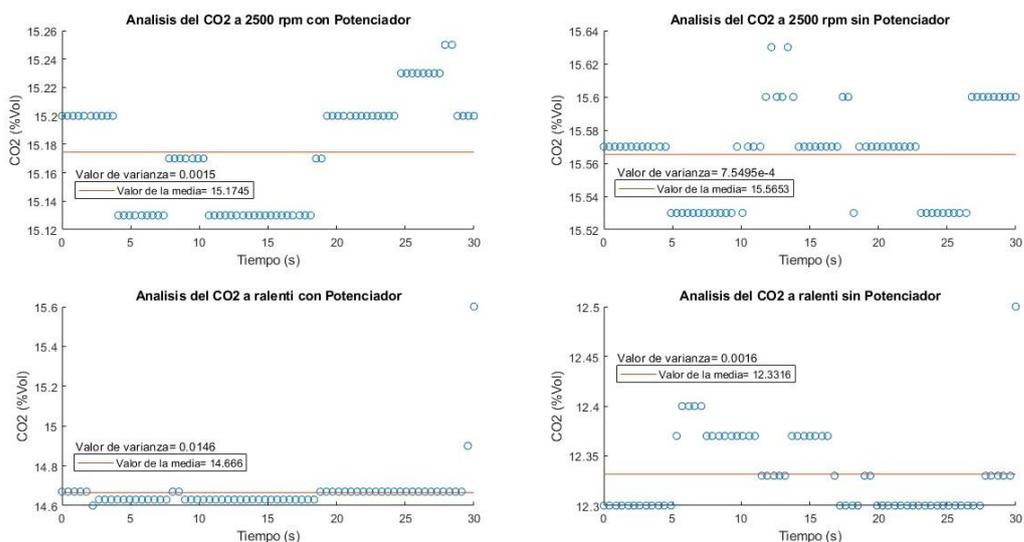
A ralenti, el sistema con potenciador se obtuvo una varianza de 1.4750E-05 y un valor medio de 0.0182 % vol, mientras que, sin potenciador se obtuvo una varianza de 1.0401E-05 y un valor medio de 0.0112 % vol.



290
291 **Figura 9.** Análisis de resultados en función del tiempo y de las emisiones de CO

292 En la Figura 10 observamos las emisiones del CO₂ producto de la combustión. A
 293 2500 rpm con potenciador el CO₂ tuvo una varianza del 0.0015 y un valor de la media de
 294 15.1745 % vol, mientras que, sin potenciador se obtuvo un valor de varianza de 7.5495×10^{-4}
 295 y una media de 15.5653 % vol.

296 A ralenti con potenciador el valor de la varianza es de 0.0146 y el de la media de
 297 14.666 % vol, mientras que, sin potenciador el valor de la varianza es de 0.0016 y el de la
 298 media de 12.3316 % vol.



299
300 **Figura 10.** Análisis de resultados en función del tiempo y de las emisiones de CO₂

301 En la Figura 11 tenemos los valores de las emisiones del HC. El análisis de emisiones
 302 del HC a 2500 con potenciador dieron como resultado una varianza de 1.2294 y una media
 303 de 8.2012 % vol, mientras que, sin potenciador tenemos una varianza de 0.1173 y una
 304 media de 7.804 % vol.

En cambio, a ralenti se obtuvo una varianza de 0.1481 y una media de 5.4025 % vol, sin embargo, sin potenciador se tuvo una varianza de 0.1288 y una media de 14.1593 % vol.

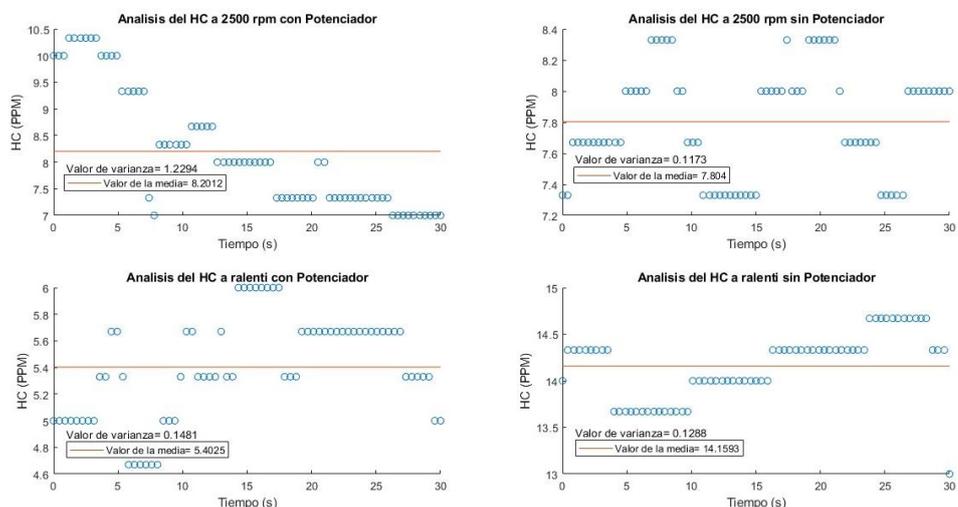


Figura 11. Análisis de resultados en función del tiempo y de las emisiones de HC

En la Figura 12 observamos las emisiones de O₂ generadas por la combustion. El análisis de gase del O₂ a 2500 rpm con potenciador nos da como resultado una varianza de 0.0502 y un valor de la media de 0.3962 % vol, mientras que, sin potenciador nos da una varianza de 2.0295E-04 y una media de 0.2341 % vol.

Sin embargo, a ralenti con potenciador nos da un valor de varianza de 6.5386E-05 y un valor de la media de 5.8437, mientras que, sin potenciador el valor de la varianza es de 2.5171E-04 y una media de 0.1854 % vol.

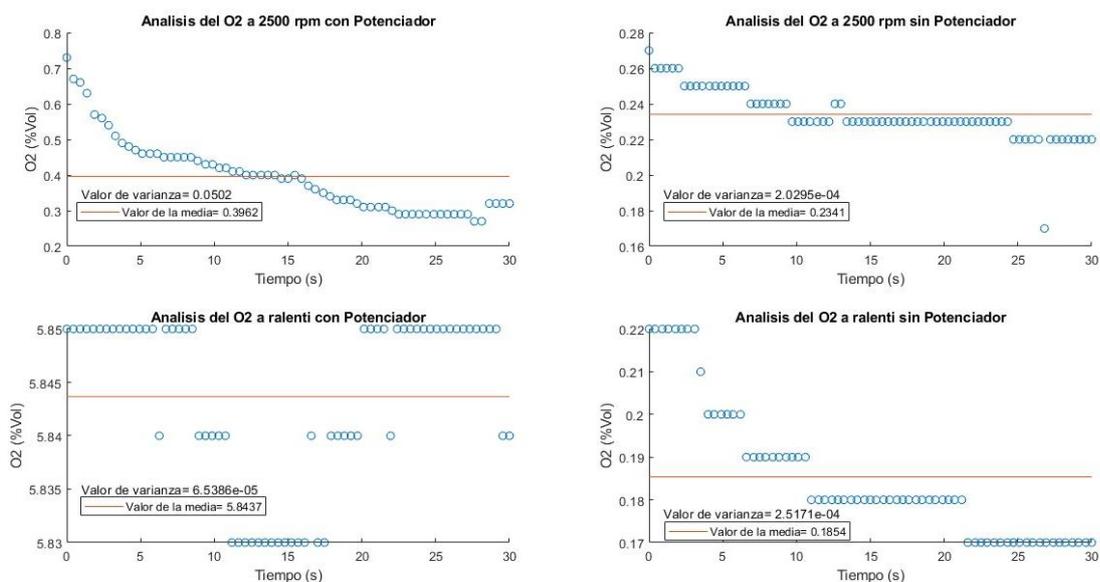


Figura 12. Análisis de resultados en función del tiempo y de las emisiones de O₂

4. Discusión

La comparación de los modelos de regresión con y sin el potenciador de respuesta en los sensores APP1 y APP2 reveló variaciones significativas en varios parámetros clave. Para el APP1 tuvimos una disminución en la pendiente de 2.44%, sugiriendo un ajuste leve en la señal base y una menor respuesta del sensor a los cambios en la posición del pedal. En caso del APP2 el valor de la pendiente aumentó 1.09%, lo que indica una mayor sensibilidad del sensor con el potenciador instalado. Esta información se la contrasta con [26] que indica “a una presión del 50 % del pedal del acelerador (medido por el sensor de efecto Hall) corresponde a una apertura del acelerador del 40 %, el chip tuning podría ajustar esto de modo que una presión del 50 % del pedal corresponda a una apertura del acelerador del 50 % o incluso del 60 %”. A mayor apertura de la aleta del acelerador tenemos más ingreso de aire viéndose reflejado con nuestros resultados del MAP que a 2500 rpm tenemos un aumento en la media de presión del 7.39% y una variabilidad de datos mayor al sistema sin el potenciador.

De acuerdo con [27] las cantidades de inyección de combustible se pueden controlar ajustando la duración del pulso de accionamiento, observamos el tiempo de inyección de un inyector de tipo GDI con un controlador de ancho de pulso. También nos indica que “las cantidades de inyección de combustible alimentadas por el voltaje de suministro del inyector de CC 40 V mostraron 9,314 g, 9,328 g y 9,952 g a 1200 rpm, 2400 rpm y 6000 rpm, respectivamente” En base a eso y los resultados, observamos el tiempo de inyección, en micras de segundo, que en régimen a ralentí el motor tiene una disminución del 29.73% y a 2500 rpm también presenta una disminución del 166.6%.

Los resultados de las emisiones obtenidos del CO, CO₂, HC y O₂ y comparando los resultados con investigaciones anteriores [29] mostraron un incremento con el uso del potenciador durante las pruebas en condición a ralentí y a 2500 rpm, lo que sugiere una combustión menos eficiente en esas condiciones debido a la rápida inyección de combustible. Por ejemplo, en las emisiones del CO a 2500 rpm la varianza disminuye y el % vol aumenta en un 6.38%, de la misma forma, a ralentí los valores de la varianza disminuyen y el valor de % vol aumenta en un 38.46%; las emisiones del CO₂ a 2500 rpm el valor de la varianza aumenta y el % vol disminuye en un 2.57%, en cambio, a ralentí el valor de la varianza aumenta y el % vol aumenta en un 15.92%; en las emisiones del HC a 2500 rpm el valor de la variación aumenta y el % vol también aumenta en un 4.84%, sin embargo, a ralentí la variabilidad aumenta y el % vol disminuye en un 162.09%; en las emisiones del O₂ a 2500 rpm la varianza aumenta y el % vol también aumenta en un 40.91%, mientras que, a ralentí la varianza disminuye y el % vol aumenta en un 96.83%. El aumento en las emisiones de HC, CO₂ y O₂ corresponde a una combustión incompleta debido a la rápida inyección de combustible que no permite una correcta mezcla aire-combustible. Mientras que la disminución del CO implica que, a pesar de la combustión incompleta, el exceso de oxígeno disponible está permitiendo que parte del carbono se oxide completamente a CO₂ en lugar de quedarse en forma de CO.

5. Conclusiones

El estudio demostró que la implementación del potenciador de respuesta del acelerador tiene un impacto en la tasa de inyección en un motor con sistema de inyección GDI. Esto es evidente especialmente en un régimen a 2500 rpm, donde se observa una disminución del 166.6%. Estos resultados sugieren que el potenciador altera el comportamiento del sistema de inyección bajo ciertas condiciones operativas, lo que podría tener implicaciones en la eficiencia del motor, el consumo de combustible y las emisiones.

A través del uso de la interfaz Konnwei, el osciloscopio y el multímetro, se logró una caracterización del sistema de inyección directa de gasolina en condición estándar. Se identificaron y analizaron las señales referenciales y los voltajes de alimentación de los sensores y actuadores, permitiendo obtener un perfil del comportamiento del sistema sin el potenciador. Esto sirvió como base para evaluar las modificaciones producidas posteriormente. De igual manera el analizador de gases nos permitió analizar las variaciones en

las emisiones de gases que sugieren un ajuste en la combustión relacionado con la modificación de la inyección de combustible. 372
373

La incidencia del potenciador de respuesta del acelerador se vio reflejado en las modificaciones de voltaje del sensor APP, cambios en la tasa de inyección y variaciones en las emisiones de gases contaminantes bajo regímenes ralenti y 2500 rpm. 374
375
376

Los resultados de las emisiones mostraron variaciones con el uso del potenciador. Durante las pruebas a ralenti y 2500 rpm, se observó un incremento en las emisiones estando el potenciador conectado, lo que sugiere una combustión menos eficiente debido a la rápida inyección de combustible. Este es el caso del CO que aumenta un 38.46% vol en condición a ralenti y del O₂ que también aumenta, pero a un régimen de 2500 rpm el % vol del 40.91%. 377
378
379
380
381
382

Referencias 384

1. Y. Long, C. Yao, D. Liu, and Y. Wang, "Continuous Non-singular Terminal Sliding Mode Control of Electronic Throttle with Disturbances," in *IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, IEEE, Oct. 2020, pp. 907–912. doi: 10.1109/IECON43393.2020.9254872. 386
387
388
2. Z. Wei, K. Feng, Y. Hu, and J. Gao, "The Electronic Throttle Controller Based on the Model Reference Adaptive Non-linear Triple-step Method," in *2019 3rd Conference on Vehicle Control and Intelligence (CVCI)*, IEEE, Sep. 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/CVCI47823.2019.8951650. 389
390
391
3. P. V. Kasab, N. B. Chopade, and S. Bhagat, "Implementation of Throttle Position Sensor for Angular movement in Automobiles," in *2019 5th International Conference On Computing, Communication, Control And Automation (ICCUBEA)*, IEEE, Sep. 2019, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICCUBEA47591.2019.9128507. 392
393
394
4. M. McHarek, T. Azib, M. Hammadi, C. Larouci, and J. Y. Choley, "Multiphysical design approach for automotive electronic throttle body," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 67, no. 8, pp. 6752–6761, Aug. 2020, doi: 10.1109/TIE.2019.2939999. 395
396
397
5. M. Song, S. Li, H. Du, and Z. Wang, "Chattering-Free Discrete-time Fast Terminal Sliding Mode Control of Automotive Electronic Throttle with Disturbances," in *2020 39th Chinese Control Conference (CCC)*, IEEE, Jul. 2020, pp. 2652–2657. doi: 10.23919/CCC50068.2020.9188863. 398
399
400
6. P. Sun, B. Xin, X. Wang, H. Zhang, L. Long, and Q. Wang, "Research on correction of flow characteristics in ballistic zone of GDI engine injector," in *2020 4th CAA International Conference on Vehicular Control and Intelligence, CVCI 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Dec. 2020, pp. 324–329. doi: 10.1109/CVCI51460.2020.9338643. 401
402
403
404
7. M. Aldhaidhawi, O. K. Obayes, and M. M. Aljuboury, "Effects of Ignition Timing and Compression Ratio on Performance of GDI Engines," in *2022 Muthanna International Conference on Engineering Science and Technology (MIC-EST)*, IEEE, Mar. 2022, pp. 31–36. doi: 10.1109/MICEST54286.2022.9790238. 405
406
407

-
8. B. Giechaskiel, A. Melas, G. Martini, and P. Dilara, "Overview of Vehicle Exhaust Particle Number Regulations," *Processes*, vol. 9, no. 12, p. 2216, Dec. 2021, doi: 10.3390/pr9122216. 408
409
 9. V. S. De Melo *et al.*, "Greenhouse Gas Emissions Estimation with Electric Vehicles Penetration in the Brazilian Power Grid," in *2023 15th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*, IEEE, Nov. 2023, pp. 254–410
411
261. doi: 10.1109/INDUSCON58041.2023.10374611. 412
 10. C. Tomozei, I. Furdu, and L. Mata, "Automotive sensors in classroom, guiding students for understanding complex architectures," in *2022 IEEE Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference, ZINC 2022*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022, pp. 73–76. doi: 10.1109/ZINC55034.2022.9840587. 413
414
415
 11. R. Gzam, H. Gharsallaoui, and M. Benrejeb, "On Electronic Throttle Valve Control System Based Observers," in *Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Advanced Systems and Emergent Technologies, IC_ASET 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023. doi: 10.1109/IC_ASET58101.2023.10151052. 416
417
418
 12. J. H. L. R. I. B. Juan E. Guarella, "Sensores y actuadores en motores ," 2011. 419
 13. L. Chen, Y. Wang, J. Zhao, S. Ding, J. Gao, and H. Chen, "A Novel Adaptive Control Scheme for Automotive Electronic Throttle Based on Extremum Seeking," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 70, no. 6, pp. 2599–2611, Jun. 2023, doi: 10.1109/TCSI.2023.3258465. 420
421
422
 14. G. Xin *et al.*, "Monitoring of hydrogen-fueled engine backfires using dual manifold absolute pressure sensors," *Int J Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 26, pp. 13134–13142, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.02.042. 423
424
 15. S. Nazari, R. J. Middleton, J. Martz, and A. G. Stefanopoulou, "The elusive consequences of slow engine response on drive cycle fuel efficiency," in *2017 American Control Conference (ACC)*, IEEE, May 2017, pp. 5379–5385. doi: 425
426
10.23919/ACC.2017.7963791. 427
 16. YOUNG-IL, *YESA 3111 Banco didáctico funcional de Motor Inyección directa Gasolina GDI, con sistema de aire acondicionado incorporado Manual del Usuario*. Korea: YES01 U Learning Engineering Institute, 2015. 428
429
 17. Drive Place, "Kia K7 2.4 - Especificaciones," https://kia.drive.place/lang/es/k7/group_sedan/484180. 430
 18. PEDAL FORCE, "Pedal Force." Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://pedal-force.com/es/> 431
 19. Mahle, "Analizador de los gases de escape ." Accessed: Jun. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.brainbee.mahle.com/brainbee/es/product-lines/emission/ags-688/> 432
433
 20. Globaltech, "Analizador de gases Brain Bee - Modelo AGS-688," <https://globaltech-car.com/tiendaonline/analizador-de-gases-brain-bee-modelo-ags-688/>. 434
435
 21. Global Latam, "GSCAN 2." Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.globaltechla.com/eBusiness/gscan/mail/mail-gscan.html> 436
437
 22. ToolBoom, "Osciloscopio digital portátil Micsig." Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://toolboom.com/es/tablet-digital-oscilloscope-micsig-to1072/> 438
439

-
23. K. Tingting, L. Yan, Z. Lei, and H. Yan, "Development of multi-channel automatic digital multimeter calibration device," in *2019 14th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI)*, IEEE, Nov. 2019, pp. 108–113. doi: 10.1109/ICEMI46757.2019.9101487.
24. Auto avance, "Multímetro Automotriz," <https://www.autoavance.co/equipos-diagnostico-automotriz/multimetro-automotriz-da-830/>.
25. Hengxin Technology, "KONNWEI ." Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.konnwei.com/product/index122.html>
26. K. Holenko, A. Dykha, and S. Posonskiy, "The Influence of The Hall Effect on the Performance of Electronic Accelerator Pedals," in *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, IEEE, Sep. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/MEES61502.2023.10402426.
27. W.-C. Tsai and T.-S. Zhan, "An Experimental Characterization for Injection Quantity of a High-pressure Injector in GDI Engines," *Journal of Low Power Electronics and Applications*, vol. 8, no. 4, p. 36, Oct. 2018, doi: 10.3390/jlpea8040036.
28. Vargas Arias Juan Sebastián, "Investigación y análisis de las repercusiones al sistema de aceleración electrónica con el uso del dispositivo Sprint Booster.," *UIDE*, 2021.
29. C. Farinango-Herrera, J. Zambrano-Ramón, and E. V. Rojas-Reinoso, "Thermographic Analysis of Exhaust Gas and Emissions by Varying Catalyst Behaviour and Injection Parameters," *Energies (Basel)*, vol. 17, no. 6, p. 1417, Mar. 2024, doi: 10.3390/en17061417.

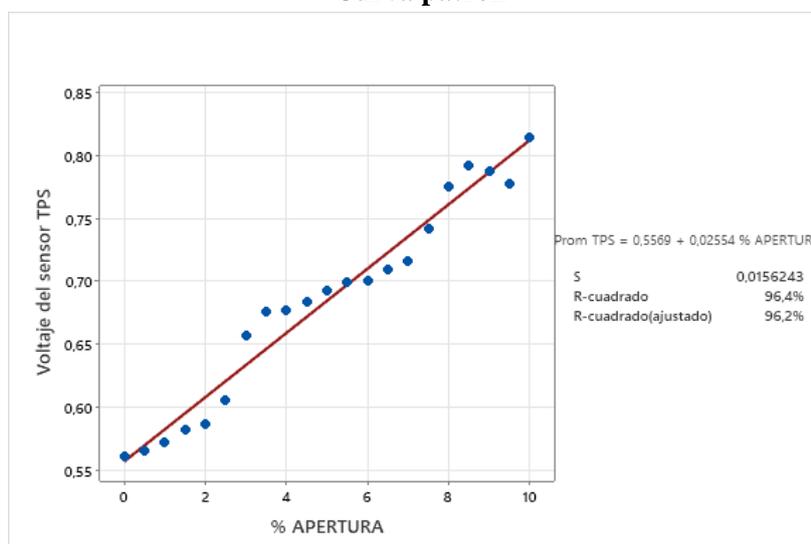
Apéndice A

Dentro del conjunto del cuerpo de aceleración encontramos el sensor TPS, este cuenta con 6 pines de conexión diferenciados por un color y voltaje diferente como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla A 1. Componentes del cuerpo de aceleración

Pin	Color	Función	Voltaje (v)	Observación
1	Amarillo	Señal referencial	0,55 a 4,75	Señal referencial y la tensión de funcionamiento con la que se activa y desactiva la bobina del motor, tomado con el motor apagado y el switch en contacto.
2	Verde rayado	Voltaje de alimentación	4,5 a 5	
3	Negro	Masa 1	-	
4	Verde	Masa 2	-	Voltaje de alimentación del motor de control de la apertura y cierre de la mariposa.
5	Café	Masa 3	-	
6	Blanco	Voltaje de alimentación	4,99	

Curva patrón

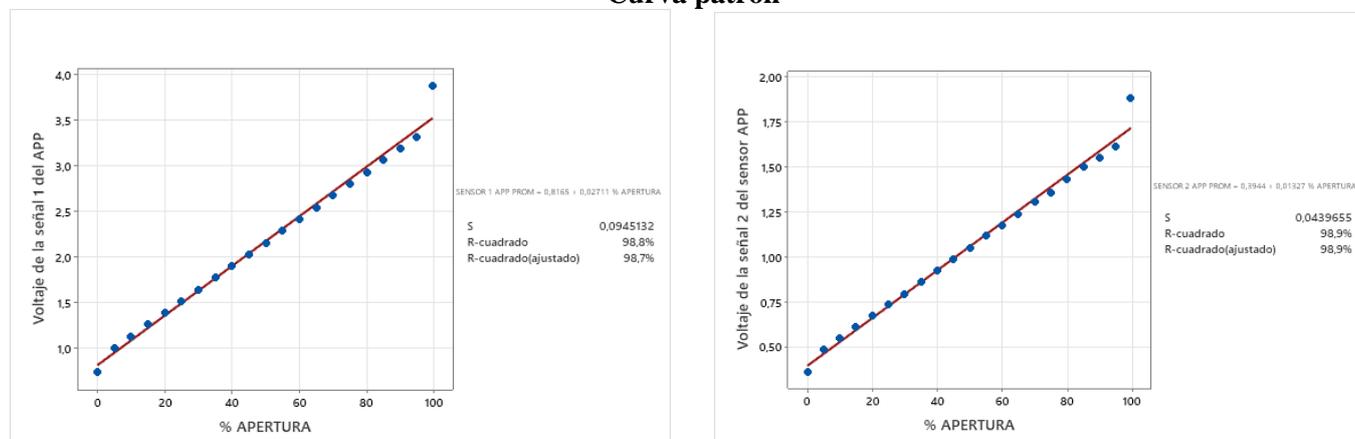


El APP transmite la posición del pedal del acelerador a la computadora. Cuenta con un sensor de seguridad que transmite la señal eléctrica al 50% en caso de que falle el sensor principal. El APP cuenta con 6 pines diferentes, con un color y voltaje diferente como se observa en la siguiente tabla.

Tabla A 2. Datos tomados del APP

Pin	Color	Función	Voltaje (v)	Observación
1	Rojo	Voltaje de alimentación	4,99	Señal 1 del APP. Datos tomados con el motor encendido. El voltaje aumenta conforme se va acelerando.
2	Azul	Señal referencial	0,73 a 3,86	
3	Negro	Masa 1	-	Señal 2 del APP. Datos tomados con el motor encendido. El voltaje aumenta conforme se va acelerando.
4	Amarillo	Voltaje de alimentación	4,99	
5	Verde	Señal referencial	0,36 a 1,89	
6	Negro	Masa 2	-	

Curva patrón



Una vez confirmada la homocedasticidad de los datos, se procedió a realizar el análisis de regresión. Sin embargo, al aplicar la prueba de normalidad se evidenció que los residuos no presentan una distribución normal. Los resultados obtenidos se presentan en las Tabla A 3 y Tabla A 4 adjuntas en los anexos.

Tabla A 3. Prueba de Bartlett del sensor APP sin potenciador de respuesta del acelerador

Ítem	APP					
	Grupo	Datos	SEÑAL APP1 (V)		SEÑAL APP2 (V)	
Media			Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	
	1	21	2,17471	0,84534	1,06062	0,41406
	2	21	2,1679	0,84491	1,05448	0,41287
	Combinado	42	2,17131	0,84513	1,05755	0,41347
	Estadística de Bartlett		0,00001		0,00016	
	Grados de Libertad		1		1	
	Valor P		0,9982		0,98983	
	Equipo utilizado		Multímetro automotriz Scanner automotriz			
	Condición		Sin presencia de Potenciador de Respuesta			

Tabla A 4. Prueba de Bartlett del sensor App con potenciador de respuesta del acelerador

Ítem	APP	
	APP1 (V)	APP2 (V)

Grupo	Datos	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
1	21	2,16905	0,85218	1,08914	0,42475
2	21	2,16962	0,85822	1,08652	0,42231
Combinado	42	2,16933	0,8552	1,08783	0,42353
Estadística de Bartlett		0,00097		0,00065	
Grados de Libertad		1		1	
Valor P		0,97511		0,97967	
Equipo utilizado		Multímetro automotriz Scanner automotriz			
Condición		Instalado Potenciador de Respuesta			

Tabla A 5. Modelo de regresión sin potenciador de respuesta del acelerador

Modelo de Re- gresión	$y=\beta_0+\beta_1X_1$							
Señal	APP1				APP2			
	Estima- ción	Error Están- dar (SE)	Estadís- tico t (tStat)	Valor P (pValue)	Estima- ción	Error Están- dar (SE)	Estadís- tico t (tStat)	Valor P (pValue)
β_0	0,81653	0,039837	20,497	2,04E-14	0,39436	0,018531	21,28	1,03E-14
β_1	0,027106	0,00068191	39,75	9,35E-20	0,013269	0,00031721	41,83	3,58E-20
Número de Ob- servaciones	21							
Grados de li- bertad del error:	19							
Raíz del Error Cuadrático Me- dio (RMSE)	0,0945				0,044			
R-cuadrado:	0,988				0,989			
R-cuadrado ajustado:	9,87E-01				0,989			
Valor P	9,35E-20				3,58E-20			
Normalidad de Jarque-Bera	0,001				0,001			
Condición	Sin Potenciador de Respuesta							

479

480

Tabla A 6. Modelo de regresión con potenciador de respuesta del acelerador

Modelo de Regresión	$y=\beta_0+\beta_1X_1$							
	Señal	APP1				APP2		
	Estimación	Error Estándar (SE)	Estadístico t (tStat)	Valor P (pValue)	Estimación	Error Estándar (SE)	Estadístico t (tStat)	Valor P (pValue)
β_0	0,80035	0,043724	18,304	1,58E-13	0,41004	0,022493	18,229	1,71E-13
β_1	0,02739	0,00074845	36,596	4,41E-19	0,013561	0,00038503	35,221	9,04E-19
Número de Observaciones	21							
Grados de libertad del error:	19							
Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)	0,104				0,0534			
R-cuadrado:	0,986,				0,985,			
R-cuadrado ajustado:	9,85E-01				0,984			
Valor P	4,41E-19				9,04E-19			
Normalidad de Jarque-Bera	0,001				0,001			
Condición	Instalado Potenciador de Respuesta							

Tabla A 7. Método de Cox-Box para el modelo de regresión sin potenciador de respuesta del acelerador

Modelo de Regresión	$y=\beta_0+\beta_1X_1$							
	Señal	APP1				APP2		
	Estimación	Error Estándar (SE)	Estadístico t (tStat)	Valor P (pValue)	Estimación	Error Estándar (SE)	Estadístico t (tStat)	Valor P (pValue)
β_0	-0,095148	0,030335	-3,1366	0,0054334	-0,63307	0,017934	-35,299	8,67E-19
β_1	0,021408	0,00051926	41,227	4,71E-20	0,013275	0,00030699	43,241	1,92E-20
Número de Observaciones	21							

Grados de libertad del error:	19	
Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)	0,072	0,0425
R-cuadrado:	0,989	0,99
R-cuadrado ajustado:	9,88E-01	0,989
Valor P	4,71E-20	1,92E-20
Normalidad de Jarque-Bera	0,105897	0,100351
Condición	Sin presencia de Potenciador de Respuesta Regresión después de aplicar método CoxBBox	

485

Tabla A 8. Método de Cox-Box para el modelo de regresión con potenciador de respuesta del acelerador

486

Modelo de Regresión	$y = \beta_0 + \beta_1 X_1$							
	Señal	APP1				APP2		
	Estimación	Error Estándar (SE)	Estadístico t (tStat)	Valor P (pValue)	Estimación	Error Estándar (SE)	Estadístico t (tStat)	
β_0	-0,096895	0,030201	-3,2084	0,0046264	-0,61337	0,020479	-29,952	1,87E-17
β_1	0,020897	0,00051696	40,422	6,82E-20	0,01342	0,00035055	38,282	1,89E-19
Número de Observaciones	21							
Grados de libertad del error:	19							
Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)	0,0717				0,0486			
R-cuadrado:	0,989				0,987			

R-cuadrado ajustado:	9,88E-01	0,987
Valor P	6,82E-20	1,89E-19
Normalidad de Jarque-Bera	0,417609	0,185051
Condición	Instalado Potenciador de Respuesta Regresión después de aplicar método CoxBox	
