UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS CARTOGRÁFICOS DE INYECCIÓN Y ENCENDIDO UTILIZANDO UNA ECU PROGRAMABLE EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO CON CUERPO DE ACELERACIÓN ELECTRÓNICO.

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Automotriz

AUTOR: JOSUE TIBERIO RONQUILLO CASTRO

EDDI SANTIAGO CHANCAY VERA

TUTOR: ING. MARCELO XAVIER ESTRELLA GUAYASAMIN, PHD.

Guayaquil – Ecuador

2024

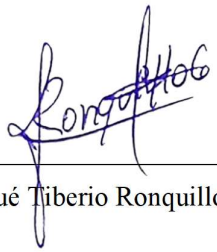
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Josué Tiberio Ronquillo Castro con documento de identificación N° 0953704699 y Eddi Santiago Chancay Vera con documento de identificación N° 0922161732; 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, 10 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Josué Tiberio Ronquillo Castro

0953704699

Eddi Santiago Chancay Vera

0922161732

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

Nosotros, Josué Tiberio Ronquillo Castro con documento de identificación No. 0953704699 y Eddi Santiago Chancay Vera con documento de identificación No. 0922161732, 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: "Desarrollo de una Metodología para la Generación de Mapas Cartográficos de Inyección y Encendido Utilizando una ECU Programable en Motores de Encendido Provocado con Cuerpo de Aceleración Electrónico"; 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, 10 de septiembre del año 2024

Atentamente,

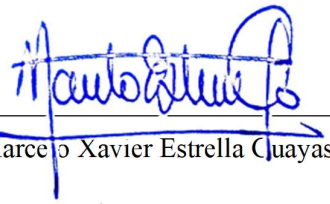
Josué Tiberio Ronquillo Castro	Eddi Santiago Chancay Vera
0953704699	0922161732

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marcelo Xavier Estrella Guayasamín con documento de identificación Nº 1714460761, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS CARTOGRÁFICOS DE INYECCIÓN Y ENCENDIDO UTILIZANDO UNA ECU PROGRAMABLE EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO CON CUERPO DE ACELERACIÓN ELECTRÓNICO, realizado por Josué Tiberio Ronquillo Castro con documento de identificación N° 0953704699 y por Eddi Santiago Chancay Vera con documento de identificación N° 0922161732, 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, 10 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Marcelo Xavier Estrella Guayasamín

1714460761

DEDICATORIA

Con infinito amor y gratitud, dedico esta obra a mi familia, que ha sido el pilar fundamental de mi vida

Hacia mis padres, arquitectos de mi vida, quienes con sus manos han forjado el camino, iluminándolo con su sabiduría.

A mis hermanos, que han sido mis compañeros de vida y mis más grandes aliados. Su aliento constante y su fe inquebrantable en mí han sido el empuje necesario para enfrentar cada desafío.

Ningún éxito hubiera sido posible sin el respaldo de mis tíos, su consejo y presencia han sido una guía constante a lo largo de este viaje.

Cada rincón de este trabajo está impregnado del amor y la dedicación que me han brindado. Este logro es una manifestación de la fe que han tenido en mí y el resultado de su apoyo mutuo.

Agradezco profundamente el papel que cada uno de ustedes ha jugado en mi vida.

Yo celebro este éxito no solo como un logro personal, sino como un tributo a la familia, planta docente y compañeros que ha hecho posible cada paso de esta travesía.

[Eddi Santiago Chancay Vera]

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis queridas hermanas, tías, tíos, primos, abuelos, vecinos y a todas las personas que me han brindado su amor y apoyo incondicional a lo largo de esta travesía. Cada gesto de aliento y cada palabra de ánimo han sido fundamentales para superar los desafíos y tropiezos que encontré en el camino.

[Josue Tiberio Ronquillo Castro]

AGRADECIMIENTO

En el ocaso de este viaje académico, siento una profunda gratitud hacia aquellos que han sido parte fundamental de este proceso. A mi familia, cuyo amor y apoyo han sido el sostén constante en cada etapa. A mi hija, que a través de su alegría se convirtió en un motivo para seguir adelante cada día hacia el profesionalismo.

Desde lo más profundo de mi ser, agradezco a los docentes y a mi tutor, quienes con su sabiduría y dedicación me han guiado a lo largo de este camino. Sus enseñanzas y orientación no solo han enriquecido mi conocimiento, sino que también han fortalecido mi determinación y sentido de propósito.

Durante este trayecto, mis compañeros emitieron un apoyo incondicional y que juntos hemos enfrentado los desafíos y celebrado los logros alcanzados. Su presencia ha sido una parte esencial de esta noble experiencia universitaria.

Inmensamente agradecido, reconozco que este logro es tanto mío como de ustedes. Gracias por su apoyo inquebrantable y su valiosa contribución en esta travesía.

[Eddi Santiago Chancay Vera]

AGRADECIMIENTO

Agradezco sinceramente a todos los profesores que han compartido sus conocimientos y guiado mi camino. Su dedicación y sabiduría han sido esenciales para alcanzar este logro. Esta tesis es un reflejo de la fe y de las enseñanzas que me han acompañado en cada paso.

[Josue Tiberio Ronquillo Castro]

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen: 1

1. Introducción 2

2. Materiales y Métodos 3

2.1. Montaje Experimental 3

2.2. Metodología 3

3. Resultados 5

4. Discusión 9

5. Conclusiones 10

Referencias 11

Artículo científico

Desarrollo de una Metodología para la Generación de Mapas Cartográficos de Inyección y Encendido Utilizando una ECU Programable en Motores de Encendido Provocado con Cuerpo de Aceleración Electrónico

Josué Ronquillo-Castro[1], Eddi Chancay-Vera [2] y Marcelo Estrella-Guayasamín [3]

[1] Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil; echancayv@est.ups.edu.ec
[2] Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil; jronquilloc@est.ups.edu.ec
[3] Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil; mestrellag@ups.edu.ec

Resumen:

Este estudio aborda la creciente preocupación por las emisiones de gases de efecto invernadero del sector del transporte y la necesidad de optimizar el rendimiento de los motores de combustión interna. El objetivo principal fue desarrollar una metodología para generar mapas cartográficos de inyección de combustible y encendido utilizando una unidad de control electrónico (ECU) programable en motores de encendido provocado con cuerpo de aceleración electrónico. La metodología empleada consistió en tres etapas principales: 1) caracterización del sistema de inyección del motor, incluyendo la identificación y parametrización de sensores y actuadores; 2) programación de mapas cartográficos de inyección y encendido utilizando el método de eficiencia volumétrica; y 3) validación experimental mediante pruebas en dinamómetro. Se utilizó un vehículo Kia Rio 1.4L equipado con una ECU programable Haltech Elite 1500. Los resultados mostraron una mejora en el rendimiento del motor tras la implementación de la ECU programable. Se logró un incremento del 4.41% en la potencia máxima (de 86.20 HP a 90 HP) y del 3.44% en el torque máximo (de 98.70 lb-ft a 102.10 lb-ft). Los mapas cartográficos generados permitieron optimizar la eficiencia volumétrica del motor entre el 50% y 90%, dependiendo del régimen y carga. Además, se implementó un control lambda objetivo para limitar el enriquecimiento excesivo de la mezcla y reducir emisiones. Este estudio demuestra el potencial de las ECU programables para mejorar el rendimiento y eficiencia de los motores de combustión interna, contribuyendo a la reducción de emisiones en el sector automotriz.

Palabras clave : ECU, EFI, mapas de inyección, mapas de encendido, motor de encendido provocado.

Citation: To be added by editorial staff during production.

Academic Editor: Marcelo Estrella

Received: 19/08/2024

Revised: 23/08/2024

Accepted: 23/08/2024

Published: 12/09/2024

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

Abstract: This study addresses the growing concern over greenhouse gas emissions from the transportation sector and the need to optimize internal combustion engine performance. The main objective was to develop a methodology for generating fuel injection and ignition cartographic maps using a programmable electronic control unit (ECU) in spark-ignition engines with electronic throttle bodies. The methodology employed consisted of three main stages: 1) characterization of the engine's injection system, including identification and parameterization of sensors and actuators; 2) programming of injection and ignition cartographic maps using the volumetric efficiency method; and 3) experimental validation through dynamometer testing. A Kia Rio 1.4L vehicle equipped with a Haltech Elite 1500 programmable ECU was used. Results showed improved engine performance after implementing the programmable ECU. A 4.41% increase in maximum power (from 86.20 HP to 90 HP) and a 3.44% increase in maximum torque (from 98.70 lb-ft to 102.10 lb-ft) were achieved. The generated cartographic maps allowed optimization of the engine's volumetric efficiency between 50% and 90%, depending on engine speed and load. Additionally, a target lambda control was implemented to limit excessive mixture enrichment and reduce emissions. This study demonstrates the potential of programmable ECUs to improve the performance and efficiency of internal combustion engines, contributing to emission reduction in the automotive sector.

Keywords: ECU, EFI, injection maps, ignition maps, engine spark ignition.

1. Introducción

Una de las mayores problemáticas a nivel mundial es el calentamiento global, el cual según varios estudios es producido principalmente por la quema de combustibles fósiles, esto aunado con la creciente demanda de vehículos impulsado por el constante , incrementado así el consumo de combustibles fósiles y por consiguiente las emisiones de contaminantes generadas por ellos [1]. Varios estudios señalan que uno de los principales sectores que contribuyen con la generación de CO2 es el sector del transporte [2, 3] y se espera que estas emisiones aumenten un 5,2% para el año fiscal 2025 [4, 5], por lo que es esencial evaluar sus efectos en el medio ambiente con el fin de identificar oportunidades de mejora en la gestión y la calidad del aire [6]. Por tal razón los gobiernos de las naciones han implementado políticas ambientales y regulaciones cada vez más estrictas con el fin de mitigar estos efectos [7].

Esto ha obligado a la industria automotriz a buscar nuevas líneas de investigación que contribuyan a la reducción del consumo de combustible y por ende a la reducción de gases contaminantes, todo esto sin comprometer el desempeño de los vehículos [8]. Entre las innovaciones adoptadas se encuentran las mejoras aerodinámicas de los vehículos [9], el desarrollo de nuevos materiales [10] y sistemas de sobrealimentación que permiten el uso de motores más pequeños y eficientes [10, 11], el desarrollo tecnológico de nuevos componentes de monitoreo y control de sistemas de inyección electrónica [12, 13], así como también el desarrollo de nuevos catalizadores para los sistemas de escape[14] y el uso de combustibles alternativos [15]. Estas mejoras tecnológicas necesitan ser gestionadas de manera óptima a través de una unidad de control electrónico (ECU por sus siglas en ingles) que dosifique la mezcla de aire y combustible necesario para adaptarse a las nuevas demandas de los motores y el vehículo en general [10].

En la actualidad, los sistemas electrónicos de control (ECU) se han convertido en un componente fundamental en la industria automotriz, encontrándose en prácticamente todos los automotores modernos, cada una de estas unidades se encargan de realizar funciones específicas y dedicadas que va desde la gestión del motor hasta el sistema de entretenimiento y las asistencias al conductor [16, 17]

Estudios recientes han abordado estudios sobre las ventajas de la implementación de cuerpos de aceleración electrónica, debido a las mejoras en el rendimiento del vehículo que su uso desprende, como son: Primero, el sistema permite un control más preciso de la posición del acelerador en comparación con las conexiones mecánicas tradicionales, mejorando la gestión de la admisión de aire, que afecta directamente a la potencia, la aceleración del motor y por consiguiente las emisiones[15]. Segundo, una mejor capacidad de respuesta, ya que el acelerador puede responder más rápidamente a las órdenes del conductor, traduciéndose en una aceleración y deceleración más suaves[18, 19], mejorando la experiencia general de conducción. Por último, el uso de controles de bucle cerrado que supervisan y ajustan continuamente la posición del acelerador, garantizando que se mantenga la apertura deseada del acelerador [20, 21].

La elección de una metodología adecuada para el mapeo de los tiempos de inyección de combustible y encendido influye significativamente en el rendimiento y la eficiencia de los motores de encendido provocado (MEP), mejorando notablemente la potencia del motor, el par, el consumo de combustible y sus emisiones [22, 23].

Se han implementado diversas metodologías para el ajuste de combustible en motores de combustión interna, siendo las más comunes las basadas en la carga del motor y en el flujo másico de aire. Estas metodologías se diferencian principalmente por el parámetro empleado para estimar la cantidad de aire que ingresa al motor. La estrategia basada en el flujo másico de aire (MAF), por sus siglas en inglés) mide directamente el aire entrante para calcular la cantidad de combustible requerida, mientras que la metodología basada en la presión del colector de admisión (MAP), por sus siglas en inglés) utiliza dicha presión para estimar la carga del motor y ajustar el suministro de combustible [24, 25]. Recientemente, la metodología de ajuste basada en la eficiencia volumétrica ha ganado relevancia. Esta técnica emplea modelos físicos combinados con parámetros calibrados, como tablas de eficiencia volumétrica, para optimizar el rendimiento del motor [26].

Cada metodología presenta ventajas y limitaciones, por lo que este estudio, basándose en un análisis exhaustivo de la literatura, tiene como objetivo desarrollar una metodología optimizada para la generación de mapas de inyección y encendido, adaptada específicamente a motores de encendido por chispa con cuerpos de aceleración electrónicos.

2. Materiales y Métodos

2.1. Montaje Experimental

En esta sección, se detalla el montaje experimental y la propuesta metodológica para la generación de mapas cartográficos de inyección y encendido utilizando una ECU programable en motores de encendido provocado con cuerpo de aceleración electrónico.

El vehículo utilizado, fue un KIA Rio 1.4 litros A/C el mismo que, cuenta con un motor de encendido provocado gestionado por un sistema de inyección de combustible indirecto, multipunto y encendido secuencial, cuyos componentes electrónicos como sensores, actuadores y módulos se muestran en la figura 1.

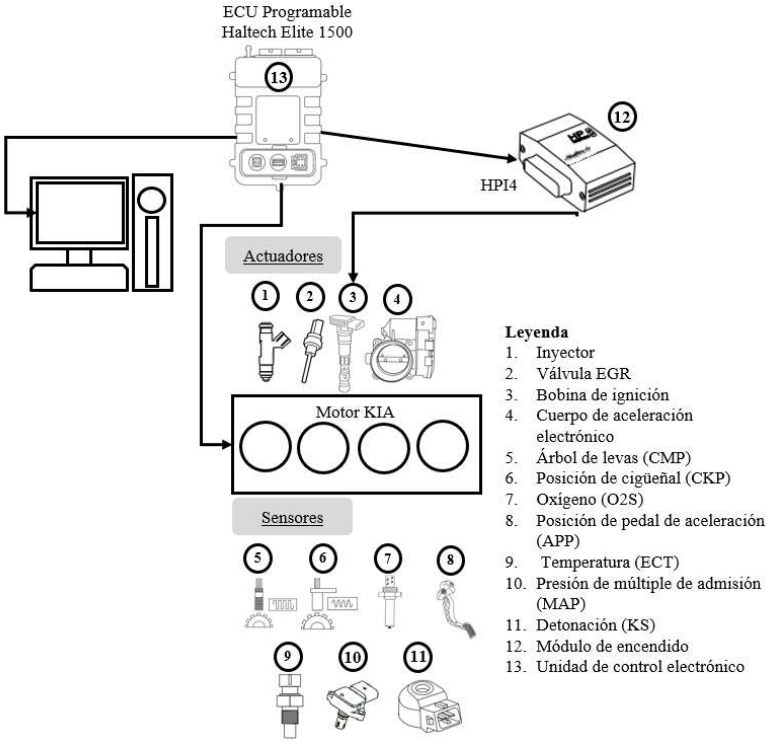


Figura 1. Montaje experimental para conexión de la unidad de control electrónica.

Para la generación de los mapas cartográficos de ajuste de inyección de combustible se utilizó un módulo de control programable Haltech modelo 1500 que es compatible con cuerpos de aceleración motorizados o electrónicos (ETB), para la activación de las bobinas de encendido independientes tipo Coil On Plug (COP) se utilizó el módulo HPI4.

2.2. Metodología

La metodología propuesta para este estudio se muestra en la figura 2 y está compuesta por tres etapas: primero, la caracterización del sistema de inyección que dispone el motor, segundo, la programación de los mapas cartográficos de inyección y encendido, y por último la validación experimental de los ajustes realizados.

La etapa de caracterización del sistema de inyección del motor consiste en la identificación del tipo de sistema de inyección electrónica disponible, la caracterización de cada uno de los sensores y actuadores del sistema, y la elaboración del arnés de conexión

eléctrica. Para este propósito, se empleó un multímetro automotriz marca OTC modelo 3940, un osciloscopio Hantek 1008c de 8 canales y un escáner automotriz GScan2.

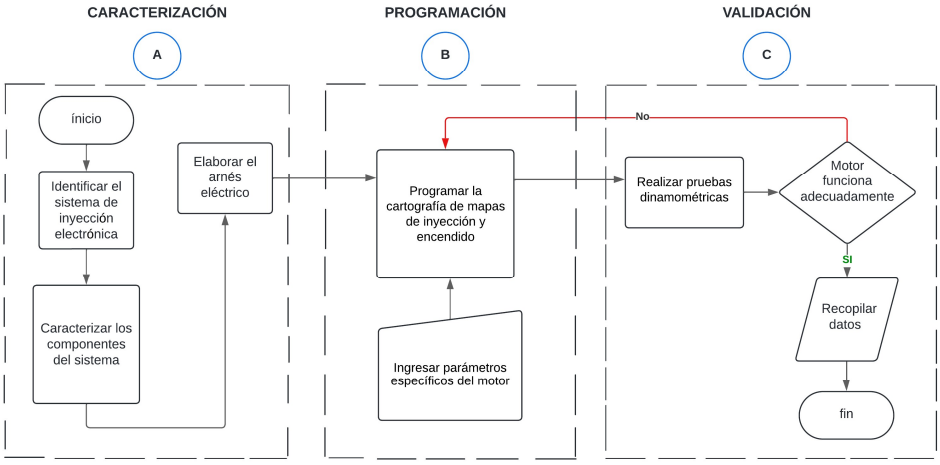


Figura 2. Flujograma para la elaboración de mapas cartográficos de inyección y encendido de un motor de encendido provocado con cuerpo de aceleración electrónico.

La segunda etapa, consiste en la configuración del módulo de control electrónico con base a la información obtenida en la etapa previa y las especificaciones del motor (Figura 3). Aquí se define la metodología de programación de los mapas cartográficos, para ello es indispensable definir correctamente el tipo de sistema de disparo al que está conectada la ECU, con el fin de conocer la posición del motor y RPM, y cuando los eventos de inyección de combustible y salto de chispa de encendido deben ocurrir. Además, se configura de tipo sistema de inyección de combustible y encendido que se implementará en el motor, pudiendo optar por simultánea, semisecuencial y secuencial. Así mismo, se informa a la ECU, el tipo de sensores que dispone el motor y sus parámetros característicos de funcionamiento. Esta información utiliza la ECU para realizar los ajustes de la cantidad de combustible inyectado en función de la presión y temperatura ambiente, así como la relación aire-combustible (A/F) objetivo.

Otro configuración crucial es definir el método base para el cálculo del combustible inyectado y la forma de estimación de la carga del motor. Los métodos más utilizados para determinar el tiempo de inyección son: el método de ajuste por flujo masico de aire, presión absoluta del aire en el colector y eficiencia volumétrica. Cada uno de utiliza un sensor de medición de aire distinto o incorpora restricciones al valor máximo de A/F permitido.

Para la configuración de mapa cartográfico de avance de encendido, se debe definir el tipo de sensor que se utilizará como entrada de carga primaria para el cálculo del ángulo de encendido, así como la correcciones al avance de encendido por temperatura y cada marcha del vehículo. Así mismo, se debe determinar las funciones adicionales que realizará la ECU, entre las cuales están: el tipo de cuerpo de aceleración disponible y el tipo de control de aire de ralentí, bomba de combustible y el método de corte de inyección.

La tercera etapa, en cambio trata de las pruebas de calibración y desempeño del vehículo, para ello se utilizó un dinamómetro de ruedas motrices 2WD de la marca Dynocom 5000 Series, con una capacidad de carga máxima de 5000 lb-ft y potencia máxima de 1500 Hp a una velocidad máxima de rotación de 8000 RPM. Un esquema del montaje en el dinamómetro se muestra en la figura 4. En esta etapa se define la relación entre el régimen del motor y la velocidad del vehículo para que la ECU pueda detectar la posición de la marcha. Es necesario cablear y calibrar un sensor de velocidad del vehículo antes de poder completar este proceso.

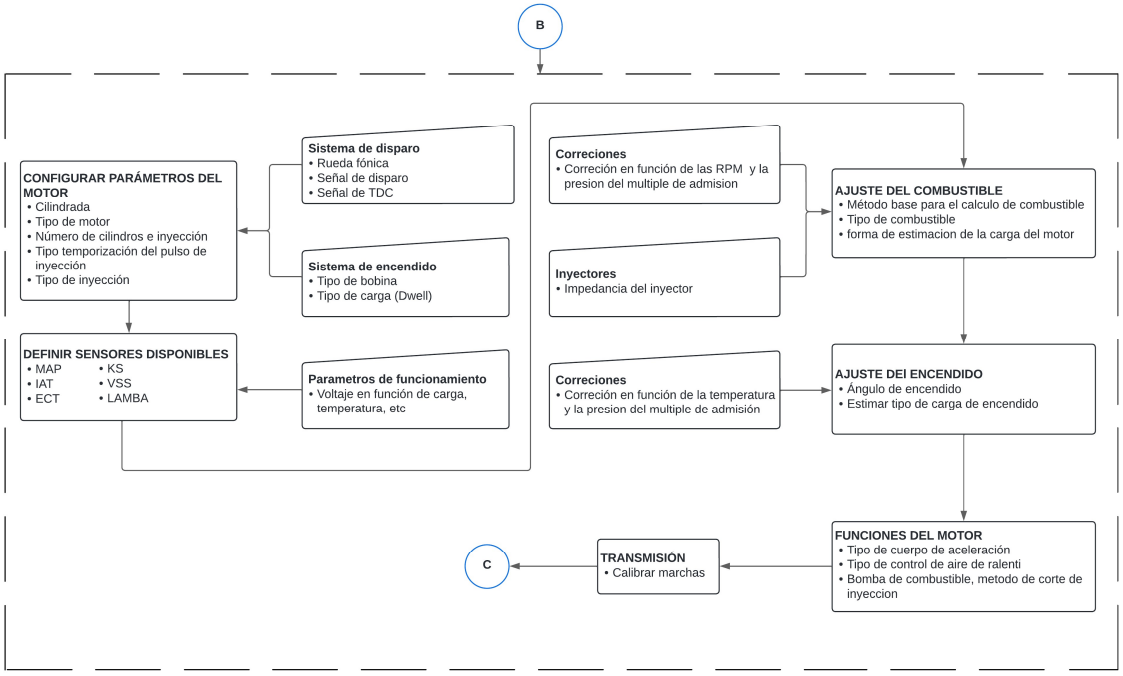


Figura 3. Flujograma para la programación del módulo de control electrónico de un motor de encendido provocado con cuerpo de aceleración electrónico.

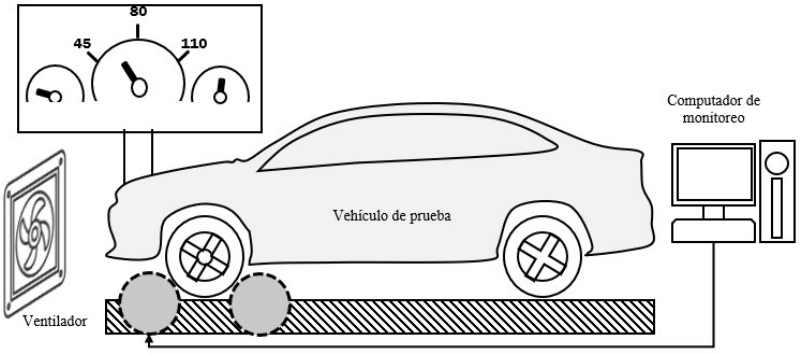


Figura 4. Esquema del montaje experimental en el dinamómetro para las pruebas de validación.

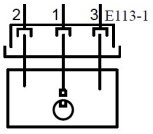
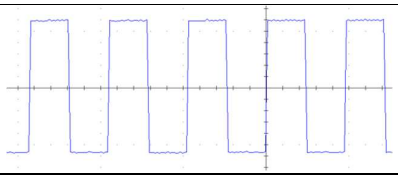
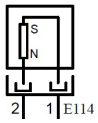
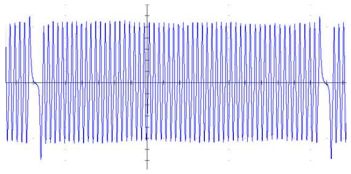
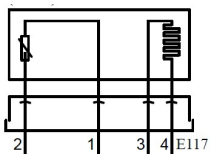
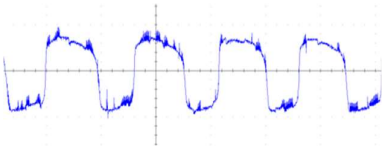
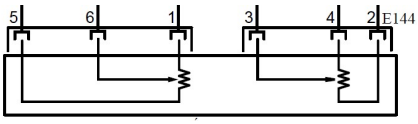
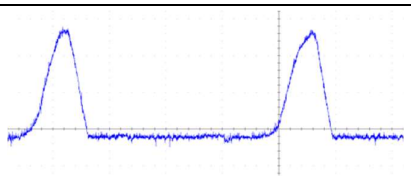
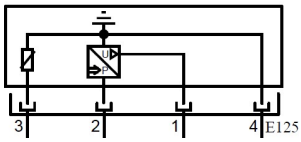
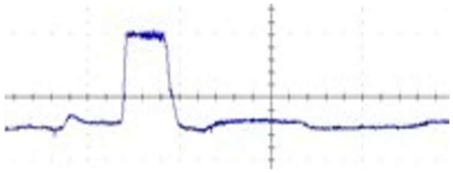
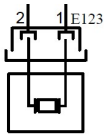
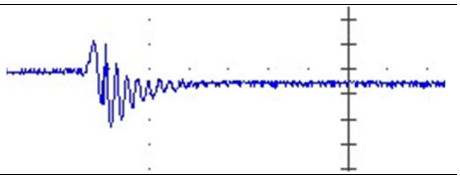
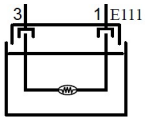
3. Resultados

Como resultado de la etapa de caracterización del sistema de inyección del motor de, se identificó el tipo de sensores y actuadores disponibles en el motor y sus respectivos parámetros de funcionamiento, los cuales se resumen en la tabla 1 y 2.

Se determinó que el motor cuenta con una rueda fónica en el cigüeñal de 60 dientes – 2, cuyo diente perdido está a 475° APMS, señal que es captada por un sensor de posición del cigüeñal (CKP) de tipo inductivo de dos terminales. Para determinar sincronización para el salto de chispa utiliza un sensor de fase (CMP) digital de 3 terminales, ubicado en cada uno de los árboles de levas.

Así mismo, para estimar la cantidad de aire que ingresa al motor, el sistema dispone de un sensor de presión absoluta (MAP) ubicado en el colector de admisión de tipo analógico, el cual incorpora en el un sensor de temperatura de aire; dispone de 4 terminales, 3 de ellos para el sensor MAP y el restante para la señal del sensor de temperatura. La señal de tierra es compartida por los dos sensores.

Tabla 1. Caracterización de los sensores disponibles en el motor del vehículo Kia Rio 1,4lt. con cuerpo de aceleración electrónica, obtenidas mediante instrumentación automotriz.

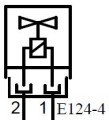
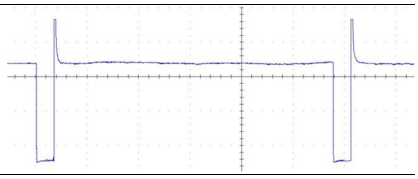
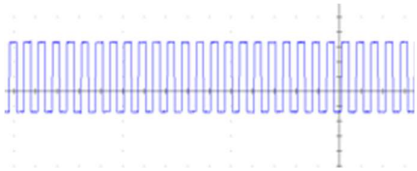
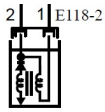
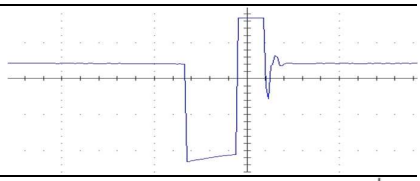
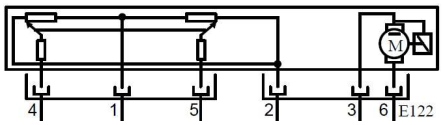
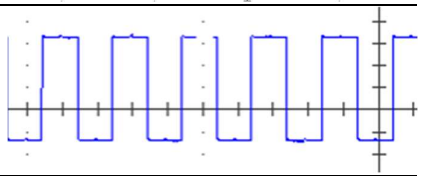
Sensor	Terminales	Valores Característicos	Oscilograma
Posición del árbol de levas (CMP)		1 → 5 V 2 → 0 y 5 V 3 → 2,6 mV	
Posición del cigüeñal (CKP)		1 → 1.6 V 2 → 1,6 V	
Oxígeno (O2S / λ)		1 → 2.6 mV 2 → 0,1 a 0,9 V 3 → 12 V 4 → 7,4 mV	
Posición del pedal de aceleración (APP)		1 → 2.6 mV 2 → 2.6 mV 3 → 0,5 A 4,5 V 4 → 5 V 5 → 5 V 6 → 0,5 A 4,5 V	
Presión del absoluta del múltiple de admisión (MAP)		1 → 5 V. 2 → 0,5 a 4,5V. 3 → 0,5 a 4,5V. 4 → 11.8 mV.	
Detonación / Knock (KS)		1 → 0,1 a 1 V 2 → 2.6 mV	
Temperatura (ECT)		1 → 2.6 mV 3 → 0,5 a 4,5 V	

La temperatura del motor es determinada por una termocupla tipo NTC (ECT) la cual cuenta con dos terminales. Por otra parte, la ECM para determinar la demanda del conductor, utiliza un sensor de posición del pedal del acelerador (APP), el cual está conformado por dos potenciómetros con el fin de asegurar la información enviada al módulo de control.

Para realizar los ajustes de avance por detonaciones no deseadas, el motor cuenta con un sensor piezoeléctrico tipo dona (KS), cuya señal análoga es enviada por medio de 2 terminales a la ECM.

En cuanto a actuadores el motor cuenta con 4 inyectores de combustible de conmutador saturado, 4 bobinas de encendido tipo COP, cuerpo de aceleración electrónico y una válvula de recirculación de gases de escape (EGR).

Tabla 2. Caracterización de los actuadores disponibles en el motor del vehículo Kia Rio 1,4lt. con cuerpo de aceleración electrónica, obtenidas mediante instrumentación automotriz.

Actuador	Terminales	Valores Característicos	Oscilograma
Inyector		1 → 0,1 V 2 → 12 V	
Válvula EGR		1 → 12 V 2 → 0,1V	
Bobina de ignición		1 → 0,1 V 2 → 12 V	
Cuerpo de aceleración electrónico (ETB)		1 → 0,1 V 2 → 5 V 3 → 12 V 4 → 0,5 a 4,5 V 5 → 0,5 a 4,5 V 6 → 0,1 V	

La programación de la ECM se configuró de acuerdo con los parámetros mostrados en la tabla 3:

Tabla 3. Parámetros de configuración de la Haltech Elite 1500 para un vehículo Kia Rio 1,4lt. con cuerpo de aceleración electrónica.

Parámetros de Motor	
Cilindrada	1400 cc
Tipo de motor	4 tiempos
# cilindros	4
Aspiración	Normal
Rpm máx. Arranque	380 rpm
Orden de encendido	1-3-4-2
Configuración de Disparo	
Tipo Disparo	Theta Gen
Sensor CKP	Reluctor
Sensor CMP	Efecto Hall
Sistema de Inyección	
Met. Temporización	Fin/inyección
# inyectores	4
Tipo de inyección	Secuencial
Sistema de Encendido	
Tipo de encendido	Directo
Tipo - Dwell	Carga constante

Ajuste de Combustible	
Método de ajuste	Eficiencia Volumet.
Tipo combustible	Gasolina
Tipo carga combustible	Estimar del MAP
Presión de combustible	300 KPa
Mapa Lambda Objetivo	
Lambda @ rpm, presión	
Mapa Combustible Base	
%Eficiencia motor @ rpm, presión	
Correcciones ajuste mapa base	
Temperatura del motor	
Temperatura de aire	
Marcha de transmisión	
Límite de Rpm	
Ajuste Combustible Aceleración	
Tipo Carga	Est. presión colector
Ajuste de Encendido	
Tipo carga / encendido	Est. presión colector

Mapa de Avance de Encendido Base	
Angulo de avance @ rpm, presión	
Correcciones Ajuste Mapa Base	
Temperatura del motor	
Marcha de transmisión	
Límite de Rpm	
Ajuste por detonación	
Funciones de Motor	
Cuerpo de aceleración	Electrónico
Bomba de combustible	Conmutada
Control Ralentí	Acel. electrónico

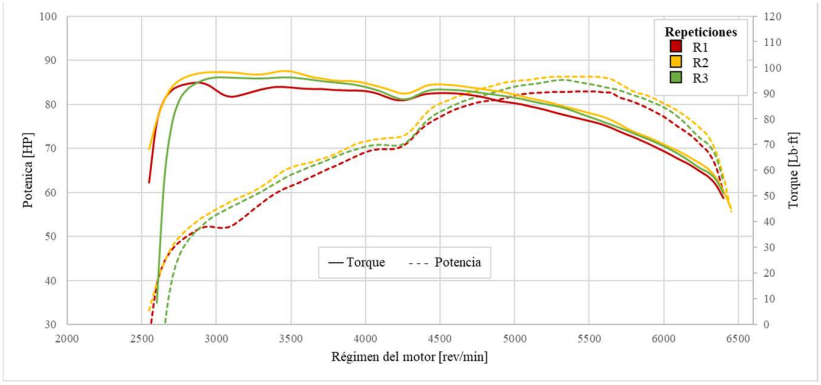
Para la tercera etapa, se realizó el montaje del vehículo en el dinamómetro marca Dynocom 5000 Series, según se evidencia en la figura 5. Se realizaron 3 pruebas para obtener las curvas de desempeño del vehículo para cada una de las condiciones: la primera con el módulo original de fábrica y la segunda con el módulo Haltech Elite 1500. Las pruebas se realizaron bajo la norma SAE J1349.

(a) (b)

Figura 5. Montaje del vehículo Kia Rio 1,4lt. en el dinamómetro marca Dynocom 5000 Series para las pruebas de calibración y validación de la programación del módulo de control electrónico Haltech Elite 1500.

En las figuras 5(a) y (b), se puede observar 3 repeticiones realizadas con el módulo original de fábrica y el módulo programable Haltech Elite 1500. De las cuales se obtuvo una potencia máxima de 86,20 [HP] a 5250 rpm y un torque máximo de 98,70 [lb-ft] a 3450 rpm utilizando el módulo original de fábrica y una potencia máxima de 90 [HP] a 5350 rpm y un Torque máximo de 102,10 [lb-ft] a 3300 rpm utilizando el módulo reprogramable.

(a)



(b)

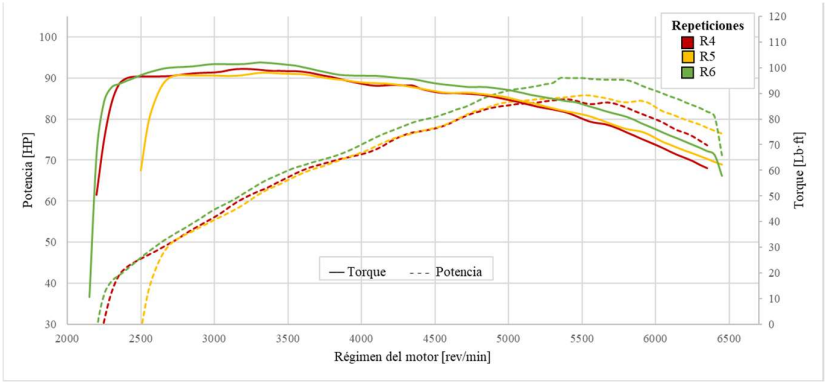


Figura 5. Curvas de Torque y Potencia del vehículo Kia Rio 1,4lt, con cuerpo de aceleración electrónica., obtenidas en el dinamómetro Dynocom 5000 , al utilizar : (a) el módulo original de fábrica y (b) módulo Haltech Elite 1500 reprogramado.

4. Discusión

El motor del vehículo de pruebas dispone de un sensor de presión absoluta en el múltiple de admisión que la ECM utiliza para la estimación de la cantidad de aire que ingresa al motor. Bajo esta consideración es factible la utilización de tres opciones para la generación del mapa de inyección de combustible: la primera es *Tiempo de Inyección*, esta permite ingresar una cantidad bruta de tiempo de inyección en la mapa cartográfico base de combustible, su unidad es milisegundos [ms].

La segunda opción es *Caudal de Combustible*, esta opción permite afinar el mapa cartográfico ingresando el caudal de combustible deseado en el mapa de combustible base. Esta función considera el número de cilindros, desplazamiento del motor y las características de flujo del inyector. Las unidades utilizadas son cm^3/min, gl/min y lb/h.

La tercera opción es *Eficiencia Volumétrica*, esta opción utiliza el cálculo de Eficiencia Volumétrica para la tabla base de combustible. Esta opción toma en cuenta el número de cilindros, desplazamiento del motor, carga del motor, temperatura del aire, densidad del combustible y las características de flujo del inyector. Los valores de la tabla de Combustible base reflejan la eficiencia del motor, pero son corregidos considerando la tabla de lambda objetivo. Esta última tabla permite limitar el enriquecimiento de la mezcla A/F para reducir emisiones. Es así que la opción utilizada para este estudio fue la Eficiencia Volumétrica. La figura 6 y 7 muestran los mapas cartográficos de inyección de combustible y lambda objetivo desarrollado en este estudio.

Régimen del motor [rpm] \ Combustible - Carga del motor [KPa]	-100	-91,3	-81,3	-71,3	-61,3	-51,3	-41,3	-36,3	-31,3	-26,3	-21,3	-16,3	-11,3	-6,3	-1,3
7000	68,5	69,3	70,2	70,4	72,1	72,7	73,2	74,4	75	75,3	75,7	76,2	76,7	77,1	77,6
6500	68,5	71	72	72,3	73,5	75,6	78,3	79,6	80,2	80,6	81	81,4	82	82,4	82,8
6000	68,5	71,9	73,3	73,3	75	78,6	82,4	83,9	84,5	84,8	85,2	85,7	86,2	86,6	87,1
5500	68,8	69,9	71,8	72,1	75,7	80,2	83,3	84,6	85,8	86,2	86,7	87,1	87,6	88,1	88,6
5000	67,6	68,9	70,9	72,1	74,9	80	84,9	86,1	87	87,8	88,2	88,7	89,2	89,7	90,1
4500	64,5	67	69,5	71,6	74,3	79	83,1	84,8	86	86,8	87,3	87,8	88,2	88,7	89,2
4000	64,1	66,3	68	70,2	73,1	78,3	84,3	85,8	86,9	87,9	89	89,7	90,4	91,1	91,8
3500	61	63,1	64,4	68,5	71,1	76,5	82,6	84,8	86,1	87,3	88,1	88,8	89,6	90,3	91
3250	60,8	63,3	63,3	66,1	70	74,3	82,3	84,9	86,4	87,6	88,6	89,3	90	90,8	91,5
3000	57,9	60,1	62,2	61	66,4	71,7	80,4	82,8	84,7	86,1	87,2	87,9	88,6	89,4	90,1
2500	52,7	53,4	55,5	56,5	61	69,3	79,4	82,5	85	86,5	87,2	87,9	88,6	89,4	90,1
2000	52,4	53	53,8	53,3	59,8	67,7	78,8	81,9	84,2	85,4	86	86,9	87,8	88,8	89,7
1500	55	55,3	50,7	50	59,4	67,6	78,1	81,2	83,3	84,4	85,8	86,7	87,8	88,7	89,7
1000	54,8	54,9	49,6	50	59,4	67,6	78,3	80,3	82,5	83,7	85	86	87	88	88,9
500	54,8	54,8	50,6	50	59,4	67,6	78,6	80,7	82,9	84,3	85,7	86,7	87,8	88,7	89,7
0	53,8	53,8	53,9	54	59,9	67,6	78,4	80,4	82,5	83,8	85,1	86,1	87,1	88,1	89

Figura 6. Mapa cartográfico de inyección de combustible basado en la eficiencia volumétrica del motor [%] del motor del Kia Rio 1,4 lt, con cuerpo de aceleración electrónica y modulo Haltech Elite 1500.

Régimen del motor [rpm] \ Combustible - Carga del motor [KPa]	-100	-91,3	-81,3	-71,3	-61,3	-51,3	-41,3	-31,3	-21,3	-11,3	-1,3
7000	0,89	0,89	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,86	0,86	0,86
6500	0,9	0,9	0,9	0,9	0,89	0,88	0,88	0,87	0,87	0,86	0,86
6000	0,92	0,92	0,92	0,91	0,91	0,9	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86
5500	0,93	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,9	0,89	0,88	0,87	0,86
5000	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,9	0,89	0,88	0,86
4500	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,9	0,88	0,87
4000	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,94	0,93	0,91	0,9	0,88	0,87
3500	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,95	0,93	0,92	0,9	0,89	0,87
3000	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87
2500	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,96	0,94	0,92	0,9	0,88
2000	1	1	1	1	1	0,98	0,97	0,95	0,92	0,9	0,88
1500	1	1	1	1	1	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89
1000	1	1	1	1	1	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89
500	1	1	1	1	1	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89
0	1	1	1	1	1	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89

Figura 7. Mapa cartográfico lambda objetivo basado en la eficiencia volumétrica [λ] del motor del Kia Rio 1,4 lt, con cuerpo de aceleración electrónica y modulo Haltech Elite 1500.

En la figura 6, se puede observar que para bajas revoluciones y bajo régimen de carga, la eficiencia volumétrica oscila entre el 50 al 58% , esto se debe a la baja velocidad del aire que ingresa al motor, sin embargo, a medida que se aumenta las revoluciones y la carga del motor este parámetro oscila entre el 70 y 90% de eficiencia. Por otra parte, esto se complementa con el mapa cartográfico lambda objetivo, la misma que determina como se regulará la mezcla A/F. en la figura 7 se puede ver que, para bajas revoluciones y baja carga, el objetivo de la dosificación va a ser la mezcla estequiométrica, reduciendo de esta manera la generación CO, y NOx. Sin embargo, a medida que aumenta las revoluciones y la carga, la mezcla se empieza a enriquecer hasta un 14% de defecto de aire. Permitiendo de esta manera proporcionar una mayor cantidad de energía suministrada al motor y mejorar su potencia final.

Así mismo, en la figura 8 se presenta el mapa cartográfico del avance de encendido en función de la carga y el régimen del motor, se puede observar que para bajas revoluciones el ángulo avance de encendido está definido a 12°, pero a medida que aumenta el régimen del motor el tiempo disponible para que se produzca la combustión completa de la mezcla se reduce, por tal razón se puede apreciar un incremento en el ángulo avance de encendido .

	Encendido - Carga del motor [KPa]													
Regimen del motor [rpm]	-100	-81,3	-71,3	-61,3	-51,3	-41,3	-36,3	-31,3	-26,3	-21,3	-16,3	-11,3	-6,3	-1,3
7000	34	40,5	40,4	38,5	36,6	34,8	33,8	32,9	32,1	31,3	30,4	29,5	28,6	27,8
6500	34	40,5	40,4	38,5	36,6	34,6	33,7	32,7	31,9	31,1	30,2	29,3	28,4	27,6
6000	34	40,5	40,4	38,6	36,8	34,8	33,9	32,9	32	31,1	30,1	29,2	28,3	27,5
5500	34	40,5	40,4	38,6	36,8	34,8	33,7	32,7	31,6	30,6	29,6	28,7	27,8	27
5000	34	40,5	40,4	38,6	36,8	34,6	33,6	32,5	31,3	30,1	29,1	28,2	27,3	26,5
4500	33,2	39,7	39,6	37,8	36	33,9	32,8	31,8	30,7	29,6	28,6	27,7	26,8	26
4000	32,4	39,8	39,4	37,2	35,2	33	32,1	31,2	30,3	29,4	28,4	27,5	26,6	25,8
3500	31,8	40,2	39,4	36,5	34,3	32,5	31,7	30,8	29,9	29,1	28,2	27,3	26,4	25,6
3000	31	39,4	38,6	35,9	33,2	31,8	31,1	30,2	29,2	28,5	27,8	27	26	24,9
2500	27,2	33,7	35,1	32,8	30,7	29,2	28,8	28,1	27,5	27,1	26,4	25,7	24,6	23,6
2000	23,2	28,6	27,8	26	25,1	24,8	24,6	24,5	24,2	23,6	23	22,4	21,8	21,2
1500	17,4	21,7	22,4	22	21,6	20,9	20,6	20,3	19,9	19,4	19	18,7	18	17,3
1000	15	15	15	15	15	15,9	15,8	15,8	15,8	15,7	15,5	15,4	15	14,6
500	12	12	12	12	12	12	11,4	10,8	10,1	9,5	8,9	8,2	7,6	7
0	12	12	12	12	12	12	11,4	10,8	10,1	9,5	8,9	8,2	7,6	7

Figura 8. Mapa cartográfico de avance de encendido [°] basado en la eficiencia volumétrica del motor del motor del Kia Rio 1,4 lt, con cuerpo de aceleración electrónica y modulo Haltech Elite 1500.

La metodología utilizada para la programación del módulo Haltech Elite 1500 permitió mejorar hasta un 4,41% en la potencia y 3,44% en el torque del motor, si bien es cierto el incremento no es significativo, este método permite limitar el enriquecimiento de la mezcla A/F con el fin de reducir al máximo las emisiones, sin reducir el desempeño del motor

5. Conclusiones

Este estudio presenta una metodología para la optimización de mapas cartográficos de inyección de combustible y encendido en motores de encendido provocado con cuerpo de aceleración electrónico, Se utilizó una unidad de control electrónico (ECU) programable Haltech Elite 1500. La investigación se centró en un motor Kia Rio 1.4L, caracterizando sus sensores y actuadores para establecer parámetros de operación para la reprogramación de la ECU.

El método de Eficiencia Volumétrica se implementó para determinar el suministro de combustible, incorporando parámetros geométricos del motor, carga, régimen, temperatura del aire y motor, densidad del combustible y características de flujo del inyector. Este enfoque integral se complementó con un mapa de Lambda objetivo para modular el enriquecimiento de la mezcla, buscando un equilibrio óptimo entre rendimiento y emisiones.

Las pruebas realizadas en el dinamómetro, después de la implementación de la ECU programable, demostraron que es posible mejorar el torque y la potencia. El análisis comparativo de las curvas características de torque y potencia del motor antes y después de la implementación de la ECU programable reveló mejoras en el rendimiento. El motor alcanzó un incremento del 4,41% y 3,44% en la potencia y torque del motor

Los resultados experimentales, validados mediante pruebas dinamométricas, demostraron mejoras significativas en el desempeño del motor. Se observó un incremento del 4.41% en potencia y 3.44% en torque, evidenciando la eficacia de la programación personalizada de la ECU en la optimización de los parámetros de inyección y encendido.

Estos hallazgos subrayan el potencial de las ECU programables para mejorar simultáneamente la eficiencia del motor y reducir las emisiones, un aspecto crucial en el contexto actual de regulaciones ambientales cada vez más estrictas. La metodología desarrollada no solo optimiza el rendimiento, sino que también proporciona un marco para el control preciso de la relación aire-combustible, fundamental para la gestión de emisiones.

Este estudio abre nuevas vías de investigación en el campo de la gestión electrónica de motores, sugiriendo la posibilidad de aplicar esta metodología a diversas configuraciones de motor y tipos de combustible. Futuros estudios podrían explorar la adaptabilidad de este enfoque a combustibles alternativos, contribuyendo así al avance continuo en eficiencia energética y sostenibilidad en la industria automotriz.

Referencias

1. Hertwich, E.G., Ali, S., Ciacci, L., Fishman, T., Heeren, N., Masanet, E., Asghari, F.N., Olivetti, E., Pauliuk, S., Tu, Q., Wolfram, P.: Material efficiency strategies to reducing greenhouse gas emissions associated with buildings, vehicles, and electronics—a review. Environmental Research Letters. 14, 043004 (2019). https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0fe3.

2. Jaroń, A., Borucka, A., Deliś, P., Sekrecka, A.: An Assessment of the Possibility of Using Unmanned Aerial Vehicles to Identify and Map Air Pollution from Infrastructure Emissions. Energies (Basel). 17, 577 (2024). https://doi.org/10.3390/en17030577.

3. IPCC: Nuestras decisiones de hoy repercutirán en todo el mundo durante cientos de años, https://porelclima.org/actua/ambicioncop/actualidad/5610-nuestras-decisiones-de-hoy-repercutiran-en-todo-el-mundo-durante-cientos-de-anos.

4. Ahmed, M., Huan, W., Ali, N., Shafi, A., Ehsan, M., Abdelrahman, K., Khan, A.A., Abbasi, S.S., Fnais, M.S.: The Effect of Energy Consumption, Income, and Population Growth on CO2 Emissions: Evidence from NARDL and Machine Learning Models. Sustainability. 15, 11956 (2023). https://doi.org/10.3390/su151511956.

5. Ziółkowski, A., Fuć, P., Lijewski, P., Jagielski, A., Bednarek, M., Kusiak, W.: Analysis of Exhaust Emissions from Heavy-Duty Vehicles on Different Applications. Energies (Basel). 15, 7886 (2022). https://doi.org/10.3390/en15217886.

6. Song, X., Hao, Y.: Emission characteristics and health effects of PM2.5 from vehicles in typical areas. Front Public Health. 12, (2024). https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1326659.

7. International Energy Agency: CO2 Emissions in 2022. (2022).

8. Rovai, F.F., Mady, C.E.: EXERGETIC ANALYSIS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE RUNNING ON E22 AND E100. Revista de Engenharia Térmica. 21, 43 (2022). https://doi.org/10.5380/reterm.v21i2.87921.

9. Barhm, M., Qasim, A.M., Karlen, G.: Analisi aerodinamica del treno ad alta velocità utilizzando la tecnica Fluidodinamica computazionale. INGEGNERIA FERROVIARIA. (2023). https://doi.org/10.57597/IF.09.2023.ART.1.

10. Alshammari, M., Alshammari, F., Pesyridis, A.: Electric Boosting and Energy Recovery Systems for Engine Downsizing. Energies (Basel). 12, 4636 (2019). https://doi.org/10.3390/en12244636.

11. Adelman, B., Singh, N., Charintranond, P., Manis, J.: Achieving Ultra-Low NOx Tailpipe Emissions with a High Efficiency Engine. Presented at the April 14 (2020). https://doi.org/10.4271/2020-01-1403.

12. Abonyi, E.S., Uche, U.I., Okafor, A.A.: Performance of Fuel Electronic Injection Engine Systems. International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD). Volume-2, 9 (2017). https://doi.org/10.31142/ijtsrd8211.

13. Shridhar Kuntoji, M., Medam, V., Devi S.V, V.: Design of UDS Protocol in an Automotive Electronic Control Unit. Presented at the January 9 (2023). https://doi.org/10.3233/ATDE221266.

14. Kritsanaviparkporn, E., Baena-Moreno, F.M., Reina, T.R.: Catalytic Converters for Vehicle Exhaust: Fundamental Aspects and Technology Overview for Newcomers to the Field. Chemistry (Easton). 3, 630–646 (2021). https://doi.org/10.3390/chemistry3020044.

15. Ashok, B., Usman, K.M., Vignesh, R., Umar, U.A.: Model-based injector control map development to improve CRDi engine performance and emissions for eucalyptus biofuel. Energy. 246, 123355 (2022). https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123355.

16. Canal, R., Riffel, F.K., Gracioli, G.: Driving Profile Analysis Using Machine Learning Techniques and ECU Data. In: 2023 IEEE 32nd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). pp. 1–6. IEEE (2023). https://doi.org/10.1109/ISIE51358.2023.10228139.

17. Burkacky, O., Deichmann, J.D., Stein, J.P.: Automotive software and electronics 2030: Mapping the sector's future landscape. McKinsey (2023).

18. Cherian, F., Ranjan, A., Bhowmick, P., Rammohan, A.: Model based design of electronic throttle control. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 263, 062063 (2017). https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/6/062063.

19. Ashok, B., Denis Ashok, S., Ramesh Kumar, C.: Trends and future perspectives of electronic throttle control system in a spark ignition engine. Annu Rev Control. 44, 97–115 (2017). https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2017.05.002.

20. Zulkifli, S.A., Asirvadam, V.S., Saad, N., Aziz, A.R.A., Mohideen, A.A.M.: Implementation of electronic throttle-by-wire for a hybrid electric vehicle using National Instruments' CompactRIO and LabVIEW Real-Time. 2014 5th International Conference on Intelligent and Advanced Systems: Technological Convergence for Sustainable Future, ICIAS 2014 - Proceedings. (2014). https://doi.org/10.1109/ICIAS.2014.6869555.

21. B, A., Denis Ashok, S., Kavitha, C.: Closed Loop Throttle Opening Angle Estimation Strategy by Considering Torque Demands from SI Engine. Presented at the July 9 (2018). https://doi.org/10.4271/2018-28-0079.

22. Arsie, I., Frasci, E., Irimescu, A., Merola, S.S.: Spark Timing Optimization through Co-Simulation Analysis in a Spark Ignition Engine. Energies (Basel). 17, 3695 (2024). https://doi.org/10.3390/en17153695.

23. Jassim, E.I., Jasem, B.I.: Contribution of Ignition Timing Variation to the Greenhouse Gas Emission and Coolant Performance in Spark Ignition Engine. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. 219, 012013 (2019). https://doi.org/10.1088/1755-1315/219/1/012013.

24. Chatlatanagulchai, W., Moonmangmee, I., Rhienprayoon, S., Wannatong, K.: Sliding Mode Control of Air Path in Diesel-Dual-Fuel Engine. Presented at the April 12 (2011). https://doi.org/10.4271/2011-01-0917.

25. Wu, Y.-Y., Chen, B.-C., Wu, C.-H., Tsai, H.-C.: New Charging Model Imparting the Valve Timing for Real-Time Simulation. In: ASME 2009 Internal Combustion Engine Division Spring Technical Conference. pp. 431–438. ASMEDC (2009). https://doi.org/10.1115/ICES2009-76028.

26. Xie, Y., Kistner, A., Bleile, T.: Optimal Automated Calibration of Model-Based ECU-Functions in Air System of Diesel Engines. Presented at the May 5 (2018). https://doi.org/10.4271/2018-01-5003.

27. Kurniawan, A., Sudarmanta, B., Yuvenda, D.: The Influence of Air Fuel Ratio on the Performances and Emissions of a SINJAI-150 Bioethanol Fueled Engines. The International Journal of Mechanical Engineering and Sciences. 2, 16 (2018). https://doi.org/10.12962/j25807471.v2i2.6396.

28. Al-Arkawazi, S.A.F.: Analyzing and predicting the relation between air–fuel ratio (AFR), lambda (λ) and the exhaust emissions percentages and values of gasoline-fueled vehicles using versatile and portable emissions measurement system tool. SN Appl Sci. 1, 1370 (2019). https://doi.org/10.1007/s42452-019-1392-5.