Powered by
Arizona State University®

Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Mecánica Automotriz

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autor: Willy Jamil Boza Zamora

Santiago Rafael Zambrano Chávez

Tutor: Ing. Fernando Gómez Berrezueta, M.Sc.

Estimación de Emisiones Contaminantes en Motor BMW M50b25 mediante Computadora Programable

Guayaquil-Ecuador |2025

Certificado de Autoría

Nosotros, Willy Jamil Boza Zamora y Santiago Rafael Zambrano Chávez, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Willy Jamil Boza Zamora	Santiago Rafael Zambrano Chávez
C.I. 0917989436	C.I.: 0917265407

Aprobación del Tutor

Yo, Fernando Gómez Berrezueta certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Ing. Fernando Gómez Berrezueta, M.Sc.

C.I. 0103441846

Director de Proyecto

Dedicatoria

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios que hicieron posible este logro. A mi pareja, por su paciencia y motivación. A mis amigos, por su aliento y comprensión en cada etapa de este camino.

Willy Jamil Boza Zamora

Dedicatoria

A mis padres, por su amor incondicional y apoyo constante en cada paso de mi vida. A mis amigos, por su compañía y ánimo en los momentos difíciles. Y a mis profesores, por su guía y sabiduría a lo largo de este camino académico.

Santiago Rafael Zambrano Chávez

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas y entidades que han hecho posible la realización de esta tesis. A mi asesor, Fernando Gómez Berrezueta, por su invaluable guía, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proyecto. A mis compañeros y amigos, quienes me han brindado su colaboración y ánimo en los momentos más difíciles.

A mi familia, por su amor y comprensión incondicional, que me han dado la fuerza para superar cada obstáculo. También quiero agradecer a [nombre de la institución o empresa] por proporcionar los recursos y el entorno necesarios para llevar a cabo esta investigación.

A todos ustedes, muchas gracias.

Willy Jamil Boza Zamora

Agradecimiento

Quiero expresar mi profunda gratitud a todas las personas que han hecho posible la culminación de este trabajo.

En primer lugar, agradezco sinceramente a mi director de Proyecto de Titulación, Fernando Gómez Berrezueta, por su orientación, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso. Sus conocimientos, consejos y motivación fueron fundamentales para la realización de esta investigación.

Agradezco profundamente a mi familia por su amor, aliento y sacrificio.

Gracias por ser parte fundamental de este logro.

¡A todos, mi más sincero agradecimiento!

Santiago Rafael Zambrano Chávez

Índice General

Certificado de Autoría ... iii

Aprobación del Tutor ... iv

Dedicatoria ... v

Dedicatoria ... vi

Agradecimiento ... vii

Agradecimiento ... viii

Índice General ... ix

Índice de Figuras ... xii

Índice de Tablas ... xiv

Resumen ... xv

Abtract ... xvi

Capítulo I ... 1

Antecedentes ... 1

1.1 Tema de Investigación ... 1

1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema ... 1

1.2.1 Planteamiento del Problema ... 1

1.2.2 Formulación del Problema ... 4

1.2.3 Sistematización del Problema ... 4

1.3 Objetivos de la Investigación ... 4

1.3.1 Objetivo General ... 4

1.3.2 Objetivos Específicos ... 4

1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación ... 5

1.4.1 Justificación Teórica ... 7

1.4.2 Justificación Metodológica ... 7

1.4.3 Justificación Práctica *9*

1.4.4 Delimitación Temporal *9*

1.4.5 Delimitación Geográfica *10*

1.4.6 Delimitación del Contenido *10*

Capítulo II 11

Marco Referencial 11

2.1 Marco Teórico 11

2.1.1 Conceptos Preliminares *11*

2.1.2 Sintonización y Remapeo de la ECU *12*

2.1.3 Beneficios de Reprogramar la ECU/ECM de un Automóvil *14*

2.1.4 El Mapeo de la ECU es el Proceso de Cambiar la Configuración en una ECU *15*

2.1.5 Objetivos de la UE para Reducir las Emisiones del Transporte por Carretera *16*

2.2 Marco Conceptual 17

2.2.2 Funciones de una Computadora Programable *18*

2.2.3 Programación de ECU para Eficiencia de Combustible *19*

2.2.3 Mapeo de Computadoras *20*

2.2.4 Wideband *21*

2.2.5 Tipos de Computadoras Programables *23*

Capítulo III 25

Análisis para Implementación de Computadora Programable 25

3.1 Beneficios Potenciales 25

3.2 Requisitos de Implementación 27

3.3 Tipos de Mapas 28

3.4 Tablas de Búsqueda 29

3.4.1 Interpolación 32

3.4.1 Lectura de Mapas de ECU.....34

3.5 Verificación del Correcto Funcionamiento de Sensores y Actuadores con una Computadora Programable.....39

3.6.1 Pasos para Reprogramación de la ECU.....42

Capítulo IV.....44

Proceso de Implementación de Computadora Programable.....44

4.1 Descripción.....44

4.1.1 Ensayos de Prueba de Emisiones Contaminantes.....*45*

4.1.2 Prueba de Potencia Previo a la Reprogramación.....*46*

4.1.3 Parámetros para una Reprogramación.....*46*

4.1.4 Riesgo en Componentes por Uso de Nuevos Sistemas.....*47*

4.1.5 Instalación de Computadora Programable.....*48*

4.1.7 Reemplazo de Sensores y Actuadores en Función de la Optimización de Resultados 51

4.2 Presentación de Resultados.....53

4.2.1 Especificaciones del Motor Original.....*53*

4.2.2 Beneficios de una ECU Programable.....*54*

4.2.3 Comparativa de Rendimiento.....*54*

4.2.4 Análisis de Emisiones Contaminantes Después de la Reprogramación.....*56*

4.2.4 Análisis de Resultados.....*58*

Conclusiones.....61

Recomendaciones.....62

Bibliografía.....63

Índice de Figuras

Figura 1 Evolución de los Niveles de Emisión por Sector desde 1990 (Equivalente de CO_2) ..2

Figura 2 *Medición de Gases Contaminantes en un Vehículo* 3

Figura 3 *Verificación de Potencia en Vehículos* 15

Figura 4 *Emisión Global de CO_2* 17

Figura 5 *Circuito de Control Típico de una ECU de Automóvil* 18

Figura 6 *Mapas de la Computadora* 21

Figura 7 *Wideband O_2* 22

Figura 8 *Computadora Programable Fueltech FT450* 23

Figura 9 *Ajustes Personalizados* 26

Figura 10 *Mapa de Inyección de Combustible* 28

Figura 11 *Mapa del Sistema de Encendido* 29

Figura 12 *Tabla en Dos Dimensiones* 30

Figura 13 *Tabla en Tres Dimensione (Tabla de Multiplicar del 1 al 8 Dibujada en Tres Dimensiones)* 30

Figura 14 *Ejemplo de Cómo las RPM y la Posición del Acelerador Podrían Asignarse a la Mezcla de Combustible* 31

Figura 15 *Mapeo 2D* 32

Figura 16 *Ejemplo de una Tabla de Búsqueda Escasamente Poblada* 33

Figura 17 *Interpolación de una Tabla de Búsqueda Escasamente Poblada* 34

Figura 18 *Dispositivo Telemático Azuga* 35

Figura 19 *Reprogramación de la Unidad de Control Electrónico* 44

Figura 20 *Registro de Mediciones Previas* 45

Figura 21 *Registro de Mediciones Previas - Analizador de Gases* 45

Figura 22 *Prueba de Potencia* 46

Figura 23 *Cambio de Sistema Eléctrico y Caja de Fusibles* 47

Figura 24 *Cambio de Cables y Caja de Fusible Realizado* 48

Figura 25 *Computadora Kdi BMW M50* 49

Figura 26 *Cambio de la Manguera Sensor MAP* 50

Figura 27 *Conexión de Sensor MAP y del Cable de Datos para Comunicación con la Computadora* 50

Figura 28 *Conexión de la Computadora al Arnés del Vehículo* 51

Figura 29 *Instalación del Sensor de Oxígeno en el Sistema de Escape de Gases* 52

Figura 30 *Instalación de Wideband* 52

Figura 31 *Prueba de Potencia Después de la Reprogramación* 53

Figura 32 *Análisis Comparativo - Comparativa de Aumento de Potencia* 55

Figura 33 *Medición de las Emisiones Contaminantes* 57

Índice de Tablas

Tabla 1 *Pasos para Reprogramación de la ECU*..... 43

Tabla 2 *Resultados Obtenidos – Emisiones Contaminantes* 57

Resumen

El presente proyecto se centra en la estimación de emisiones contaminantes producidas por el motor BMW M50b25 utilizando una computadora programable. El objetivo principal es desarrollar una metodología precisa y eficiente para medir y analizar las emisiones de gases contaminantes, como el dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos no quemados (HC) y monóxido de carbono (CO), durante el funcionamiento del motor. Se utilizó una computadora programable (ECU) para gestionar y registrar los parámetros de funcionamiento del motor. La ECU fue configurada para recolectar datos en tiempo real sobre la inyección de combustible, el encendido y otros parámetros críticos. Los datos recopilados fueron analizados para determinar los niveles de emisiones en diferentes condiciones de operación del motor. La implementación de la computadora programable permitió una estimación precisa de las emisiones contaminantes. Se propusieron ajustes en la programación de la ECU para reducir las emisiones sin comprometer el rendimiento del motor. El uso de una computadora programable para la estimación de emisiones en motores de combustión interna, como el BMW M50b25, demuestra ser una herramienta eficaz y flexible. Los resultados obtenidos proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos en el área de control de emisiones y gestión electrónica de motores.

Palabras Clave: Emisiones contaminantes, BMW M50b25, computadora programable, ECU, análisis de emisiones, motores de combustión interna.

Abtract

This project focuses on the estimation of polluting emissions produced by the BMW M50b25 engine using a programmable computer. The main objective is to develop a precise and efficient methodology to measure and analyze the emissions of polluting gases, such as carbon dioxide (CO_2), nitrogen oxides (NO_x), unburned hydrocarbons (HC) and carbon monoxide (CO), during engine operation. A programmable computer (ECU) was used to manage and record engine operating parameters. The ECU was configured to collect real-time data on fuel injection, ignition, and other critical parameters. The data collected was analyzed to determine emissions levels under different engine operating conditions. The implementation of the programmable computer allowed an accurate estimation of polluting emissions. Tweaks to the ECU programming were proposed to reduce emissions without compromising engine performance. The use of a programmable computer for emissions estimation in internal combustion engines, such as the BMW M50b25, proves to be an effective and flexible tool. The results obtained provide a solid basis for future research and development in the area of emissions control and electronic engine management.

Keywords: Polluting emissions, BMW M50b25, programmable computer, ECU, emissions analysis, internal combustion engines.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema de Investigación

Estimación de emisiones contaminantes en motor BMW M50b25 mediante computadora programable.

1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

Las emisiones contaminantes y el consumo de combustibles son temas de mucha relevancia en la actualidad, por otro lado, se debe dar la importancia y prestar atención al impacto en el medio ambiente y los efectos nocivos de las emisiones contaminantes, así como por la importancia de reducir los costos en la compra de combustible.

Según datos obtenidos del Proyecto Huella de Ciudades, en la ciudad de Guayaquil genera un total de 6,8 toneladas de CO_2 al año.

Del 100% de la contaminación generada por la ciudad el 39% es contaminación a causa de los automotores que usan gasolina y GLP (Huelladeciudades, 2015).

1.2.1 Planteamiento del Problema

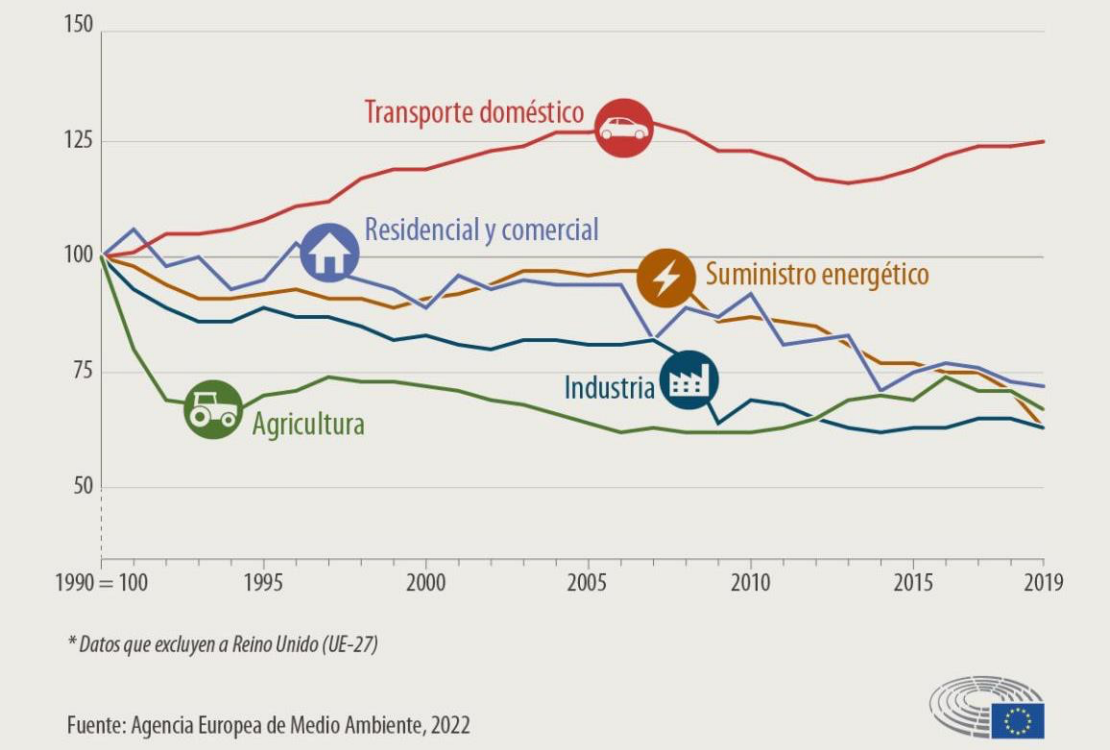
El cambio climático y la contaminación ambiental son problemas globales de gran envergadura. Las emisiones de gases contaminantes provenientes de los motores de combustión interna representan una de las principales fuentes de polución atmosférica. La industria automotriz se enfrenta al desafío de reducir las emisiones de gases nocivos como el dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas sólidas, cumpliendo con regulaciones ambientales cada vez más estrictas.

En este contexto, la estimación precisa de las emisiones contaminantes de motores es esencial para desarrollar estrategias de mitigación efectivas. El motor BMW M50b25, utilizado en varios modelos de vehículos, es un ejemplo representativo de tecnología de motores de gasolina que puede beneficiarse de estudios detallados de emisiones. La aplicación de

tecnologías de computación programable para la estimación de estas emisiones puede proporcionar datos precisos y en tiempo real, lo que es crucial para el desarrollo de motores más eficientes y menos contaminantes (Figura 1).

Figura 1

Evolución de los Niveles de Emisión por Sector desde 1990 (Equivalente de CO_2)



Tomado de: https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografia

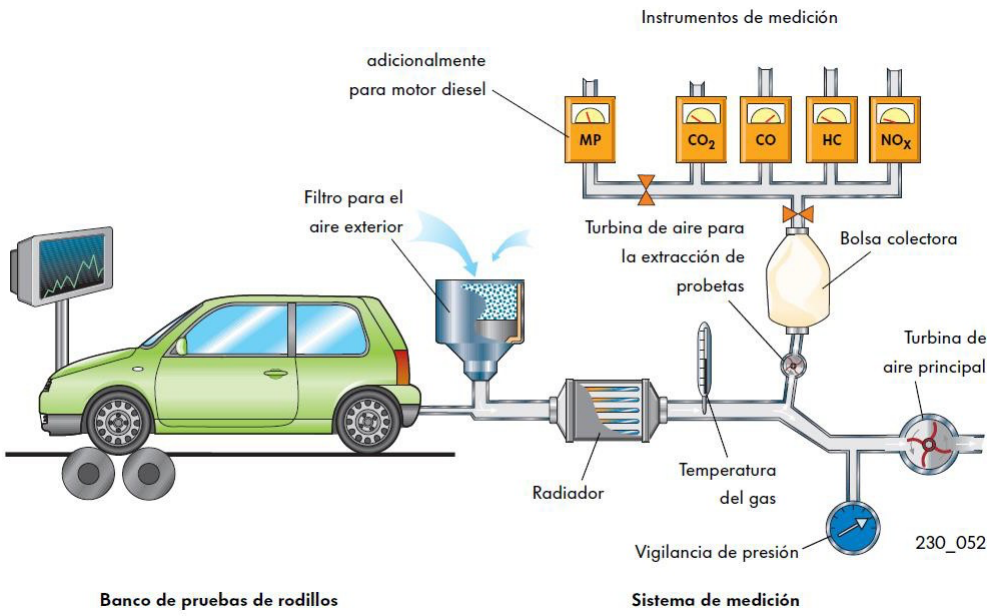
Los turismos y furgonetas, comúnmente conocidos como vehículos ligeros (LDV), representan un gran porcentaje del total de emisiones globales de gases contaminantes, de los cuales el dióxido de carbono (CO_2) representa la mayor amenaza al efecto invernadero. Se estima que alrededor del 15% del total de las emisiones de CO_2 en la Unión Europea provienen de vehículos ligeros, lo que supone un aumento del 26% en comparación con los datos obtenidos entre 1990 y 2010.

El problema central de esta investigación es la falta de métodos precisos y accesibles para estimar las emisiones contaminantes de motores específicos, como el BMW M50b25. Las herramientas actuales suelen ser costosas y no siempre proporcionan datos en tiempo real, lo que limita la capacidad de realizar ajustes dinámicos y precisos en el rendimiento del motor para reducir las emisiones. La necesidad de reducir estas emisiones es crucial para mitigar el cambio climático y mejorar la calidad del aire en áreas urbanas. En respuesta a esto, la industria automotriz ha adoptado diversas tecnologías para controlar y reducir las emisiones, entre ellas, el uso de computadoras programables integradas en los vehículos.

Estas computadoras, comúnmente conocidas como Unidades de Control del Motor (ECU, por sus siglas en inglés), gestionan y optimizan el funcionamiento del motor en tiempo real. Sin embargo, a pesar de los avances, la estimación precisa y en tiempo real de las emisiones de gases sigue siendo un reto debido a la complejidad de los sistemas de combustión y a las variaciones en las condiciones de operación del vehículo (Figura 2).

Figura 2

Medición de Gases Contaminantes en un Vehículo



Tomado de: https://www.redalyc.org/journal/5826/582661251009/html/

1.2.2 Formulación del Problema

El problema se puede formular de la siguiente manera: ¿Cómo se pueden estimar de manera precisa y eficiente las emisiones de gases contaminantes en vehículos con computadoras programables integradas, considerando las variaciones en las condiciones de operación y los diferentes modelos de vehículos?

1.2.3 Sistematización del Problema

- ¿Cuáles son los parámetros críticos del motor y las condiciones de operación que deben monitorizarse para una estimación precisa de las emisiones contaminantes?
- ¿Cómo se puede integrar una computadora programable con los sistemas del vehículo para optimizar el proceso de estimación en tiempo real?
- ¿Cuáles son las ventajas y limitaciones de utilizar computadoras programables para la estimación de emisiones en comparación con métodos tradicionales?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

- Estimar las emisiones contaminantes en un motor BMW M50b25 mediante una computadora programable.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Compilar información concerniente a la reprogramación y mapeo de computadoras automotrices.
- Verificar el correcto funcionamiento de los sensores y actuadores en función de los diferentes mapas obtenidos con la computadora programable instalada.
- Determinar las emisiones contaminantes CO_2, NO_x y CO en el vehículo antes y después de la instalación de la computadora.

1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación

El cambio climático y la contaminación del aire son problemas globales críticos que requieren soluciones urgentes y efectivas. Las emisiones de gases contaminantes provenientes de los vehículos de combustión interna son una de las principales fuentes de contaminación atmosférica, contribuyendo significativamente al calentamiento global y a problemas de salud pública. Las normativas ambientales, cada vez más estrictas, exigen que los fabricantes de automóviles desarrollen tecnologías y métodos que reduzcan las emisiones de gases como el dióxido de carbono (CO_2), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y las partículas sólidas.

En este contexto, la estimación precisa y en tiempo real de las emisiones contaminantes es crucial para el diseño y la mejora de motores de combustión interna más limpios y eficientes. Las computadoras programables ofrecen una plataforma flexible y potente para el desarrollo de sistemas de estimación avanzados, capaces de procesar grandes volúmenes de datos y ejecutar algoritmos complejos de manera eficiente.

Precisión y Eficiencia en la Medición: Utilizar computadoras programables para la estimación de emisiones permite una mayor precisión y eficiencia en la recopilación y análisis de datos. Los sensores avanzados integrados con algoritmos de modelado computacional pueden proporcionar mediciones más exactas y en tiempo real, lo que es esencial para realizar ajustes dinámicos en el motor y reducir las emisiones.

Cumplimiento Normativo: Con la implementación de sistemas de estimación basados en computadoras programables, los fabricantes de vehículos pueden asegurarse de que los productos cumplen con las normativas ambientales vigentes. Esto no solo evita sanciones legales, sino que también mejora la reputación de la marca y la confianza del consumidor.

Innovación Tecnológica: La incorporación de computadoras programables en la estimación de emisiones fomenta la innovación tecnológica en la industria automotriz. Permite

el desarrollo de nuevas soluciones y mejoras continuas en el diseño y funcionamiento de los motores, promoviendo una transición hacia vehículos más limpios y eficientes.

Reducción del Impacto Ambiental: Al proporcionar datos precisos sobre las emisiones y facilitar la implementación de estrategias de mitigación, esta tecnología contribuye directamente a la reducción del impacto ambiental de los vehículos. Esto es crucial para combatir el cambio climático y mejorar la calidad del aire, beneficiando tanto al medio ambiente como a la salud pública.

Costos Reducidos: A largo plazo, los sistemas de estimación basados en computadoras programables pueden ser más económicos que los métodos tradicionales de medición. La capacidad de realizar ajustes en tiempo real y prevenir problemas de emisiones permite un mantenimiento más eficiente del motor y una reducción en los costos operativos.

Impacto en la Industria Automotriz: La adopción de computadoras programables para la estimación de emisiones contaminantes representa un avance significativo en la industria automotriz. Permite a los fabricantes:

Este proyecto es crucial tanto desde una perspectiva ambiental como tecnológica. La implementación de un sistema preciso y accesible para la estimación de emisiones de gases contaminantes permitirá a la industria automotriz desarrollar vehículos más limpios y eficientes. Además, el uso de computadoras programables puede abrir nuevas oportunidades para innovaciones en la gestión y control del motor, mejorando la capacidad de respuesta a las normativas ambientales y contribuyendo significativamente a la reducción de la huella ecológica de los vehículos.

En conclusión, esta investigación aborda una necesidad urgente de sostenibilidad ambiental y promueve el avance tecnológico en la automoción, proporcionando una base sólida para futuras mejoras e innovaciones en el diseño y gestión de motores de combustión interna.

1.4.1 Justificación Teórica

La estimación de emisiones contaminantes en vehículos es un campo de estudio crítico para abordar los desafíos ambientales asociados con la contaminación del aire. El uso de computadoras programables en motores de combustión interna ofrece un enfoque innovador para monitorear y controlar las emisiones de manera precisa y eficiente. La justificación teórica del proyecto se fundamenta en principios de la termodinámica, la dinámica de fluidos, la ingeniería de control y la tecnología de sensores, así como en la aplicación de técnicas avanzadas de modelado computacional.

La implementación de una computadora programable en el motor BMW M50b25 para la estimación de gases contaminantes se basa en integrar estos principios teóricos de manera coherente. El sistema debe ser capaz de:

- Recopilar Datos en Tiempo Real: Utilizando sensores precisos para monitorizar las condiciones operativas del motor y la composición de los gases de escape.
- Procesar y Analizar Datos: Empleando algoritmos que modelen la formación de contaminantes en función de las variables operativas.
- Controlar Parámetros del Motor: Ajustando dinámicamente los parámetros del motor para minimizar las emisiones con base en los datos analizados.

1.4.2 Justificación Metodológica

La metodología de este proyecto de investigación está diseñada para abordar de manera efectiva el problema de la estimación de emisiones contaminantes en motores de vehículos, específicamente en el motor BMW M50b25, mediante el uso de una computadora programable.

A continuación, se presentan las razones y ventajas de la selección de esta metodología:

1. Precisión y Fiabilidad de los Datos

- Uso de Sensores Avanzados: La instalación de sensores avanzados para medir parámetros críticos del motor, como la temperatura, la presión, la cantidad de

combustible inyectado y la composición de los gases de escape, proporciona datos precisos y en tiempo real.

2. Adaptabilidad y Flexibilidad

- Computadora Programable: El uso de una computadora programable permite la adaptación y actualización continua de los algoritmos de estimación. A diferencia de los sistemas estáticos, una computadora programable puede ser reprogramada y ajustada en función de nuevas normativas ambientales, avances tecnológicos o cambios en las condiciones de operación del motor.
- Integración de Sistemas: La metodología permite una integración completa con los sistemas del motor, lo que facilita la recopilación de datos en tiempo real y la implementación de ajustes dinámicos en el rendimiento del motor para reducir emisiones.

3. Eficiencia y Coste-efectividad

- Optimización del Rendimiento del Motor: El sistema propuesto no solo estima las emisiones, sino que también permite la optimización continua del rendimiento del motor, lo que puede resultar en una mayor eficiencia de combustible y menores costos operativos.

4. Contribución al Cumplimiento Normativo

- Regulaciones Ambientales: La metodología facilita el cumplimiento de regulaciones ambientales estrictas al proporcionar estimaciones precisas y en tiempo real de las emisiones.

5. Innovación y Avance Tecnológico

- Desarrollo Tecnológico: El uso de computadoras programables para la estimación de emisiones representa un avance significativo en la tecnología de motores. Este

enfoque no solo mejora la precisión de las estimaciones, sino que también abre la puerta a nuevas innovaciones en la gestión de motores y control de emisiones.

- Investigación y Desarrollo: La metodología propuesta contribuye al campo de la investigación en ingeniería automotriz, proporcionando una base para futuros estudios y desarrollos en tecnologías de reducción de emisiones y optimización de motores.
- La justificación metodológica del proyecto se basa en la combinación de precisión, adaptabilidad, eficiencia, cumplimiento normativo y potencial para la innovación. La integración de sensores avanzados y computadoras programables permite una estimación precisa y en tiempo real de las emisiones contaminantes, facilitando la optimización del rendimiento del motor y el cumplimiento de normativas ambientales. Este enfoque no solo es técnicamente robusto, sino también coste-efectivo y adaptable a futuras necesidades y avances tecnológicos.

1.4.3 Justificación Práctica

La industria automotriz está en un punto crítico en cuanto a la necesidad de reducir las emisiones de gases contaminantes. Las regulaciones ambientales se están volviendo más estrictas en todo el mundo, y los fabricantes de automóviles están bajo una presión creciente para desarrollar tecnologías que disminuyan el impacto ambiental de los vehículos. En este contexto, la capacidad de estimar y controlar las emisiones contaminantes de los motores en tiempo real es de suma importancia.

1.4.4 Delimitación Temporal

El presente proyecto se desarrolla durante un período de 6 meses, comenzando en noviembre de 2023 y finalizando en abril de 2024.

1.4.5 Delimitación Geográfica

En el presente proyecto se delimita al estudio e implementación de una computadora programable en busca de disminuir emisiones contaminantes.

Este trabajo se realiza en la ciudad de Guayaquil en el taller de uno de los autores de esta investigación, se aplica en un auto BMW E36 325i con motor M50b25 que es de uso diario y tiene como combustible principal la gasolina ECO.

1.4.6 Delimitación del Contenido

La primera sección de esta investigación tiene como objetivo establecer los datos para encontrar la información necesaria que permita conocer la disminución de emisiones contaminantes en motores con una larga vida útil. También se obtendrá información sobre actualizaciones con computadoras reprogramables y el beneficio de estas en los distintos estudios realizados.

En la segunda sección se tiene como objetivo presentar los retos y los beneficios que este estudio arrojara, se verifica los aspectos positivos y los aspectos negativos.

La tercera sección de esta investigación se analizarán los parámetros para lograr un mapeo adecuado, que permitan los diferentes tipos de ajustes tales como mapa de inyección, mapas de encendido, ajuste de arranque en frio que tendrán como finalidad la reducción de emisiones contaminantes.

La cuarta sección describe sección describe la teoría de aplicación y la práctica, se realizará un análisis comparativo entre el sistema previo al uso de la computadora reprogramable.

Capítulo II

Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

El marco teórico presentado proporciona una comprensión integral de los aspectos fundamentales relacionados con la estimación de emisiones contaminantes en motores de vehículos mediante el uso de computadoras programables. La integración de estas tecnologías no solo tiene el potencial de mejorar la precisión en la estimación de emisiones, sino también de contribuir significativamente a la reducción de la huella ambiental de los vehículos de combustión interna.

2.1.1 Conceptos Preliminares

El deterioro de la calidad del aire es un serio problema ecológico en muchos centros urbanos de Ecuador, donde la mayor cantidad de emisiones contaminantes son generadas por autos que con un tiempo de vida de más de diez años.

La gran mayoría de estudios relacionados con los motores de combustión interna, se basan en disminuir el consumo de combustibles y en la reducción de emisiones contaminantes (U.S Departament of Energy).

En el área urbana una de las principales fuentes de contaminación son las emisiones causadas por los vehículos (Dai, 2015).

Los vehículos presentan una configuración estándar de la ECU prestablecida por el fabricante, en Ecuador la topografía es muy variable al sitio bajo el cual se realiza el mapeado original de la computadora, como consecuencia esto puede ocasionar un incremento innecesario sobre el consumo y emisiones generadas al ambiente, lo óptimo será siempre considerar un ciclo de conducción apropiado, de tal manera que se ajuste lo más fielmente posible a la geografía de aplicación (Montufar, Manya, Santillán, Razo, 2022).

2.1.2 Sintonización y Remapeo de la ECU

El ajuste de la ECU, abreviatura de ajuste de la unidad de control del motor, es un proceso en el que el software que controla varios aspectos del funcionamiento de un motor se modifica para mejorar el rendimiento, la eficiencia del combustible u otros parámetros. Aquí hay un desglose detallado:

1. Comprensión de la ECU: La unidad de control del motor (ECU) es esencialmente el cerebro del motor. Monitorea y controla varios parámetros, como el tiempo de inyección de combustible, el tiempo de encendido, la presión del turbo, la posición del acelerador y más. Las ECU modernas suelen estar informatizadas y programables.

2. Propósito del ajuste de la ECU:

- Mejora del rendimiento: una de las principales razones para ajustar la ECU es aumentar el rendimiento del motor. Esto puede implicar ajustes en los mapas de combustible y encendido para optimizar la producción de potencia.
- Eficiencia del combustible: también se pueden realizar ajustes para mejorar la eficiencia del combustible optimizando el suministro y la combustión del combustible.
- Capacidad de conducción: el ajuste puede mejorar la suavidad y la capacidad de respuesta del motor, mejorando la capacidad de conducción general.
- Personalización: los entusiastas también pueden ajustar las ECU para adaptarlas a preferencias específicas, como ajustar la respuesta del acelerador o el retraso del turbo.

3. Tipos de sintonización de ECU:

- Remapping/Chip Tuning: Esto implica alterar el software (o firmware) que controla la ECU. Generalmente se hace conectando una computadora al puerto de diagnóstico del vehículo y cargando nuevo software o datos.

- Módulos Plug-and-Play: Son dispositivos preprogramados que interceptan y modifican señales entre los sensores del motor y la ECU. Son más sencillos de instalar y eliminar, pero es posible que no ofrezcan el mismo nivel de personalización que la reasignación.
- Ajuste personalizado: para aplicaciones únicas o de alto rendimiento, el ajuste personalizado puede implicar ajustar manualmente parámetros individuales dentro del software de la ECU.

4. Proceso de sintonización de la ECU:

- Verificación de diagnóstico: antes de la sintonización, el vehículo puede someterse a una verificación de diagnóstico para garantizar que esté mecánicamente en buen estado.
- Recopilación de datos: el software ECU existente se lee y analiza para comprender los parámetros y el rendimiento actuales del motor.
- Modificación: utilizando software y herramientas especializados, la ECU se reasigna o ajusta según los parámetros deseados.
- Pruebas: después de la puesta a punto, el vehículo normalmente se prueba para garantizar que los cambios se hayan implementado correctamente y que el rendimiento cumpla con las expectativas.
- Ajuste fino: dependiendo de los resultados de las pruebas, se pueden realizar más ajustes para optimizar el rendimiento o solucionar cualquier problema.

5. Riesgos y consideraciones:

- Preocupaciones sobre la garantía: el ajuste de la ECU puede anular las garantías del vehículo, ya que implica modificar la configuración de fábrica.
- Confiabilidad: un ajuste inadecuado puede causar daños al motor o problemas de confiabilidad si no se realiza correctamente.

- Cumplimiento de emisiones: el ajuste del rendimiento puede afectar la producción de emisiones, lo que podría llevar al incumplimiento de las regulaciones ambientales.
- Ajuste profesional frente a bricolaje: si bien existen opciones de ajuste por bricolaje, generalmente se recomienda el ajuste profesional realizado por técnicos experimentados para obtener resultados óptimos y minimizar riesgos.

6. Consideraciones legales y éticas:

- El ajuste de la ECU puede estar sujeto a regulaciones y leyes relacionadas con modificaciones de vehículos, emisiones y seguridad vial.
- Es importante asegurarse de que cualquier ajuste realizado cumpla con las leyes y regulaciones pertinentes en su área.

En general, el ajuste de la ECU puede ofrecer mejoras significativas en el rendimiento y la eficiencia cuando lo realizan correctamente profesionales experimentados, pero es esencial considerar los riesgos potenciales y las implicaciones legales antes de continuar.

2.1.3 Beneficios de Reprogramar la ECU/ECM de un Automóvil

Con las actualizaciones adecuadas, reprogramar la unidad de control del motor/módulo de control del motor (ECU/ECM) puede mejorar el rendimiento general del vehículo, resolver problemas del motor y optimizar el vehículo para sus necesidades específicas. Ya sea para generar más potencia, aumentar la eficiencia del combustible o simplemente apagar la luz de verificación del motor, reprogramar la computadora del automóvil puede ser la respuesta. La reprogramación tiene muchos nombres. Los entusiastas de la automoción suelen utilizar de forma intercambiable flashear, actualizar, mapear, reasignar, afinar, chipear (para vehículos anteriores a 1996) y reprogramar. Pero en realidad, todos describen una técnica de ajuste que tiene como objetivo mejorar el rendimiento del motor cambiando una variedad de parámetros de ECU/ECM.

Las computadoras de los automóviles usan datos para determinar cómo funcionar correctamente y garantizar que el motor funcione dentro de su capacidad. Sin embargo, cuando los ingenieros y diseñadores prueban un vehículo, lo hacen en entornos altamente controlados. Por lo tanto, es posible que se tenga que reprogramar el motor para que funcione como se desea en una situación determinada.

2.1.4 El Mapeo de la ECU es el Proceso de Cambiar la Configuración en una ECU

Lo realiza un profesional para que pueda asegurarse de que el motor no se dañe y siga funcionando al máximo del potencial. El mapeo puede aumentar la potencia y el torque y solucionar problemas de consumo de combustible o emisiones (Figura 3).

Figura 3

Verificación de Potencia en Vehículos

Tomado de: https://www.carwow.co.uk/blog/engine-remapping#gref

El mapeo con un turbocompresor de posventa o un kit de inyección de óxido nitroso requiere configuraciones más específicas que las utilizadas para otras modificaciones, como sistemas de escape, filtros de aire, etc. porque estos dos tipos de modificaciones afectan la eficiencia y la confiabilidad y durabilidad del motor.

La reasignación de ECU consiste en cambiar la configuración de una ECU, o unidad de control electrónico, que controla todas las configuraciones críticas de encendido y combustible de un motor, optimizando todos los aspectos del rendimiento del motor.

El primer paso en el mapeo de la ECU es averiguar qué tipo de automóvil tiene y qué motor tiene. Luego, puede buscar software para el automóvil en línea o en una tienda local de repuestos para automóviles. Necesitará una computadora con un software especial instalado llamado "software de ajuste". También necesita cables para conectar la computadora portátil directamente a las computadoras del vehículo sin quitar los paneles ni soldarlos.

2.1.5 Objetivos de la UE para Reducir las Emisiones del Transporte por Carretera

La UE está introduciendo nuevos objetivos de emisiones de CO_2, cuyo objetivo es reducir las emisiones nocivas de los nuevos turismos y vehículos comerciales ligeros (furgonetas).

La nueva legislación fija el camino hacia las emisiones cero de CO_2 para los turismos y vehículos comerciales ligeros nuevos en 2035. Los objetivos intermedios de reducción de emisiones para 2030 se fijan en un 55% para los turismos y un 50% para las furgonetas. El Parlamento y los países de la Unión Europea llegaron a un acuerdo sobre las normas en octubre de 2022. El acuerdo fue aprobado por el Parlamento en febrero de 2023 y aún debe ser refrendado formalmente por el Consejo.

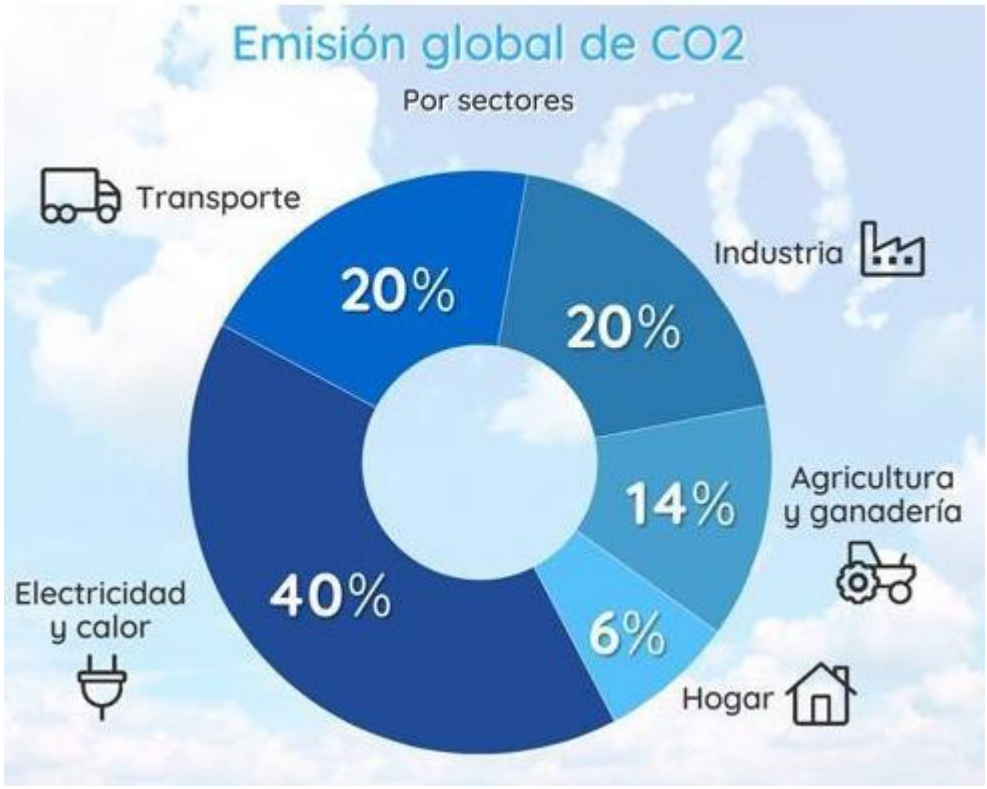
Más información sobre los nuevos objetivos de CO_2 para los coches y la prohibición de la UE de vender coches nuevos de gasolina y diésel a partir de 2035. Las normativas y planes de la UE en materia de transporte sostenible y emisiones definen desde hace tiempo las políticas que los gobiernos europeos están aplicando al transporte.

Muchos de estos planes están recogidos en la directiva (UE) 2019/1161 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de junio de 2019 por la que la Directiva 2009/33/CE modifica la

promoción de vehículos de transporte por carretera limpios y energéticamente eficientes (Figura 4).

Figura 4

Emisión Global de CO_2



Tomado de: https://www.controla-plus.com/blog/transporte-sostenible/

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Computadoras Programables

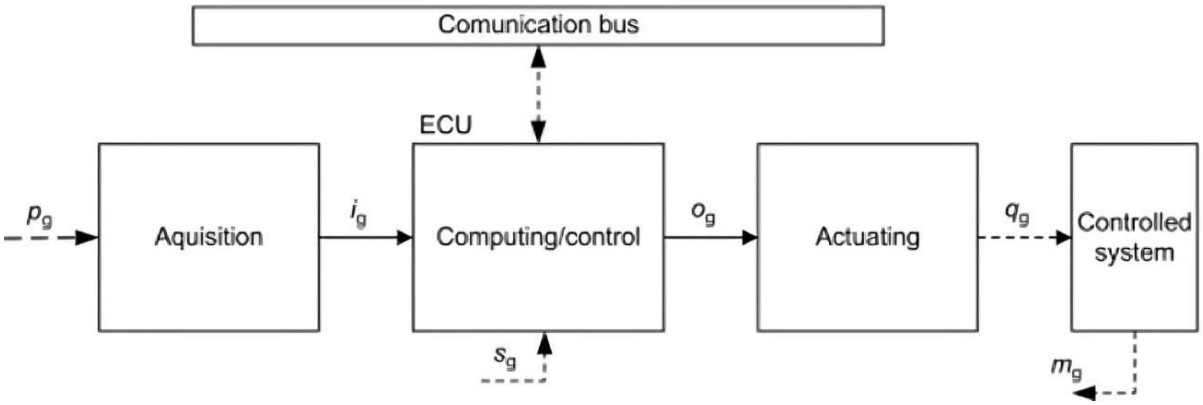
Las computadoras programables o unidad de control programable permiten modificar con facilidad los parámetros establecidos por el fabricante, estos parámetros son la inyección de combustible, avance del tiempo de encendido, permitiendo lograr un menor consumo, mayor eficiencia y menor cantidad de emisiones contaminantes (Montero, Paguay, 2021). La mayoría de las ECU de vehículos, especialmente en el ámbito del tren motriz, el chasis y la carrocería, tienen una función de control. La funcionalidad de monitoreo también forma parte de las ECU de control o puede integrarse en módulos independientes (por ejemplo, en ECU relacionadas

con la seguridad). Para el tipo de control de las ECU, en general, el control (del elemento controlado) se basa en una variable física como temperatura, voltaje, presión, velocidad de rotación, par, etc.

En la Figura 5, se muestra una descripción general típica de una ECU integrada en una representación abstracta de un bucle de control automotriz.

Figura 5

Circuito de Control Típico de una ECU de Automóvil



Tomado de: https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/electronic-control-unit

2.2.2 Funciones de una Computadora Programable

En este proyecto las funciones de la computadora programable es la modificación de parámetros en los sensores y actuadores buscando obtener una menor cantidad de emisiones contaminantes generadas y aumento en la potencia del motor, para ellos se trabajará en la modificación del punto de inyección, avance de encendido y temperatura de trabajo del motor.

La programación de la ECU es similar a reemplazar el sistema operativo de la computadora por uno nuevo y personalizado. Implica reescribir las instrucciones del software que determinan cómo funciona el motor. Esto podría significar modificar los tiempos de inyección de combustible, cambiar los tiempos de encendido o ajustar otros parámetros de rendimiento.

Por otro lado, la codificación de la ECU implica cambiar variables específicas dentro del software existente. Es más como modificar la configuración de una aplicación en el teléfono inteligente en lugar de instalar una aplicación completamente nueva. La codificación puede implicar cambios en funciones como el cierre automático de puertas o las luces de circulación diurna.

2.2.3 Programación de ECU para Eficiencia de Combustible

Optimizar un vehículo para lograr eficiencia de combustible mediante la programación de la ECU es una práctica cada vez más popular. Esto implica ajustar los patrones de consumo de combustible del motor para maximizar la eficiencia, lo que resulta en menores costos de combustible y un menor impacto ambiental. Estas modificaciones son particularmente relevantes a la luz del aumento de los precios del combustible y las crecientes preocupaciones ambientales, y ofrecen una solución práctica para los conductores que buscan reducir la huella de carbono y los costos operativos.

La programación de unidades de control electrónico (ECU) ofrece numerosas ventajas, como mejoras en la eficiencia del combustible y el rendimiento del vehículo. Se explora cómo la reprogramación de la ECU puede optimizar el rendimiento y la eficiencia del combustible, y cómo estos beneficios pueden impactar positivamente al propietario del vehículo.

- Incremento de la potencia y el par motor: Reprogramar la ECU permite ajustar parámetros del motor, como la presión del turbo y la relación aire/combustible, lo que puede resultar en un incremento de la potencia y el par motor. Este aumento de rendimiento mejora la aceleración y la capacidad de respuesta del vehículo, proporcionando una experiencia de conducción más agradable y emocionante.
- Optimización de la eficiencia del combustible: La programación de unidades de control electrónico puede optimizar la eficiencia del combustible ajustando los parámetros del motor para reducir el consumo de combustible en condiciones

específicas de conducción. Esto puede resultar en ahorros significativos en costos de combustible a largo plazo, especialmente para aquellos que recorren largas distancias o usan los vehículos con frecuencia.

- Adaptación a modificaciones del vehículo: Si se han realizado modificaciones en el motor del vehículo, como la instalación de un turbocompresor más grande o un sistema de escape de alto rendimiento, la programación de la ECU es esencial para garantizar que el motor funcione de manera eficiente y segura con estas modificaciones.
- Personalización de la experiencia de conducción: La programación de unidades de control electrónico también permite personalizar la experiencia de conducción según las preferencias del conductor. Por ejemplo, se pueden ajustar la respuesta del acelerador, la sensibilidad de la dirección y las características de cambio de marchas para adaptarse a diferentes estilos de conducción y preferencias personales.

2.2.3 Mapeo de Computadoras

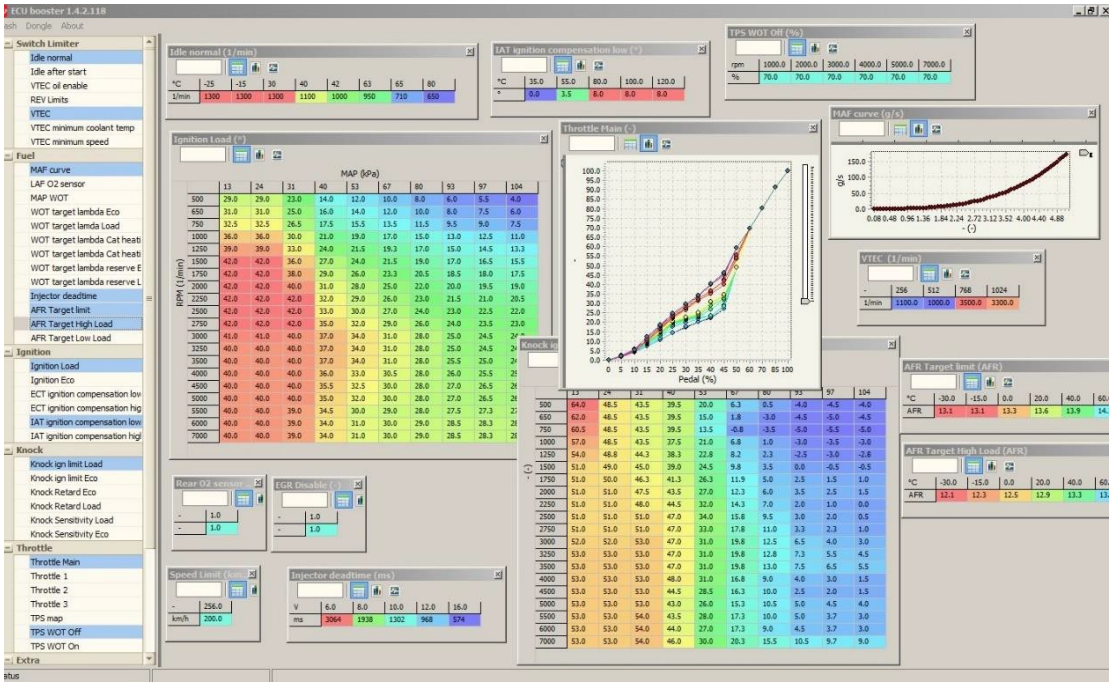
El remapeo es el arte altamente especializado de manipular los mapas con la ECU del motor para aumentar la potencia y/o la economía de los automóviles modernos. Es un proceso donde los parámetros dentro de la sintonización y calibración de la ECU se cambian para aumentar el rendimiento y/o la economía del motor se modifican para mejorar las características del motor. Hay muchos mapas dentro de la ECU de un motor que controlan aspectos como el abastecimiento de combustible, la sincronización, el impulso, la aceleración, la desaceleración y muchos más.

En términos técnicos, un mapa es una función de traducción o conversión que toma una entrada y produce una salida. Se habla de "mapear" la entrada a la salida. es decir, se toma muchos datos de entrada diferentes y lo convierte a otra forma como salida. Esto se puede hacer mediante una fórmula, también conocida como función, o con una tabla de búsqueda.

El mapeo ocurre en muchas situaciones informáticas, centrales eléctricas, plantas químicas, lavadoras, ECU de automóviles, casi en cualquier lugar donde haya una computadora que maneje procesos físicos (Figura 6)

Figura 6

Mapas de la Computadora



Tomado de: https://tuneecu.net/TuneECU_ES/mapedit.html

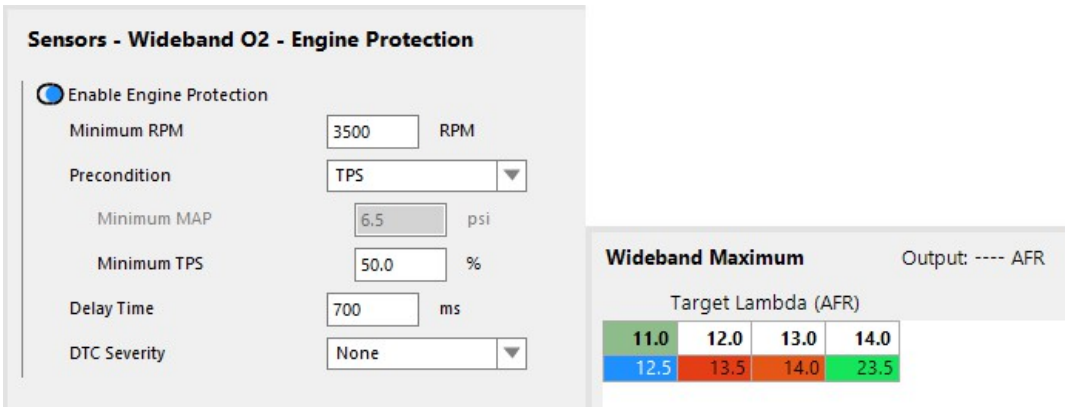
2.2.4 Wideband

Se encarga de medir la cantidad de mezcla de aire-combustible en el escape, esta wideband tiene una mayor precisión para la obtención de datos correspondiente a la mezcla de aire- combustible permitiendo una correcta programación. La ECU puede utilizar un sensor de O_2 de banda ancha con fines de monitoreo y protección, o para control de O_2 de circuito cerrado. Un sensor de banda ancha, por definición, mide una amplia sección de la escala AFR. Como tal, un sensor de O_2 de banda ancha es el sensor preferido para un ajuste preciso del motor. Si está habilitado, se pueden monitorear las condiciones de funcionamiento del sensor de banda ancha y se puede activar un indicador DTC si el valor de banda ancha monitoreado supera un cierto umbral. La tabla Máximo de banda ancha especifica el valor máximo de banda

ancha cuando está dentro de los parámetros definidos en la configuración de Protección del motor (Figura 7).

Figura 7

Wideband O_2



Tomado de: https://support.haltech.com/portal/en/kb/articles/wideband-o2

Esta tabla es configurable por el usuario y se puede asignar a un canal en 3D.

- Máximo de banda ancha : establece el AFR máximo permitido. Cualquier AFR medido por encima de este durante el tiempo de retardo activará el DTC cuando se cumplan las condiciones previas.
- Revoluciones mínimas: establece las RPM por encima de las cuales el sistema monitoreará el AFR máximo.
- Condición previa: utilice MAP, TPS o una combinación como umbral de carga seleccionado para que funcione el sistema DTC.
- MAP mínimo: establece el valor mínimo de presión del colector al que funcionará el sistema.
- TPS mínimo: establece el valor mínimo de TPS con el que funcionará el sistema.
- Tiempo de retardo: establece el tiempo que el AFR debe superar el máximo antes de que se active el DTC.

- Gravedad del DTC: establece el nivel de gravedad cuando se activa el sistema de seguridad de banda ancha.

2.2.5 Tipos de Computadoras Programables

Fueltech: Esta computadora programable permite cambios de parámetros de pulso de inyección, sistema de encendido en tiempo real, es una computadora universal al estar diseñada para controlar la mayoría de los motores de encendido, de 1, 4, 6, 8, 10 o 12 cilindros, aspirados, sobrecargados o turbocargados.

Figura 8

Computadora Programable Fueltech FT450

Tomado de: https://www.fueltech.net/products/ft450-efi-system

Megasquirt 3 Pro: Admite una amplia variedad de motores, tiene capacidad de trabajar con uno a ocho cilindros con inyección de combustible secuencial y motores V12 con combustible secuencial y encendido por chispa desperdiciada, también puede trabajar con motores Wankel de cuatro rotores con salidas de encendido delanteras y traseras separadas. El MS3-Pro es básicamente una configuración MS3X sellada , por lo que también admite una amplia variedad de motores listos para usar, con la capacidad de hacer funcionar cualquier cosa con uno a ocho cilindros con inyección secuencial de combustible y encendido secuencial de "bobina en bujía", un V12 con combustible secuencial (un MS3X puede llegar hasta un V8 como estándar) y encendido por chispa desperdiciada, o un Wankel de cuatro rotores con

salidas de encendido delantera y trasera separadas. Se admiten más de 50 modos de encendido diferentes, desde aplicaciones convencionales como GM LS1, Bosch Motronic y Chrysler Gen III Hemis hasta modos inusuales como Renix Jeeps y Suzuki Swift GTI.

Capítulo III

Análisis para Implementación de Computadora Programable

La implementación de una computadora programable en un motor BMW M50b25 puede ofrecer numerosas ventajas, incluyendo la mejora del rendimiento, la optimización de la eficiencia del combustible y la reducción de emisiones contaminantes. Este análisis examina los beneficios potenciales, los requisitos de implementación y los posibles desafíos asociados con la adopción de esta tecnología en el motor BMW M50b25. Además, es crucial realizar pruebas exhaustivas y seguir las regulaciones pertinentes para garantizar que las modificaciones sean seguras, eficientes y legales.

3.1 Beneficios Potenciales

La reprogramación de las unidades de control electrónico (ECU) en los vehículos modernos se ha convertido en una práctica popular entre los entusiastas del automovilismo y los ingenieros automotrices. La ECU es esencialmente el "cerebro" del vehículo, controlando diversos aspectos del motor y otros sistemas del vehículo. La capacidad de reprogramar la ECU permite ajustar y optimizar estos controles, ofreciendo beneficios significativos:

- Mejora del Rendimiento del Motor:

Ajuste de Parámetros del Motor: La computadora programable permite ajustar parámetros críticos como la relación aire/combustible, el tiempo de encendido y la presión del turbo. Esto puede aumentar la potencia y el par motor, mejorando la aceleración y la capacidad de respuesta del vehículo.

Optimización de la Combustión: Mejora la eficiencia de la combustión, lo que puede resultar en un rendimiento más suave y potente.

- Eficiencia del Combustible:

Optimización en Tiempo Real: Ajusta los parámetros del motor en tiempo real para maximizar la eficiencia del combustible en diversas condiciones de conducción.

Reducción de Consumo: Permite estrategias de ahorro de combustible, como el apagado del motor en ralentí prolongado y la optimización de la mezcla de aire y combustible.

- Reducción de Emisiones Contaminantes:

Control Preciso de Emisiones: Mejora el control de sistemas de reducción de emisiones como el convertidor catalítico y la recirculación de gases de escape (EGR).

Monitoreo en Tiempo Real: Permite el monitoreo constante de las emisiones y ajusta el motor para minimizar los gases contaminantes.

- Adaptabilidad a Modificaciones:

Compatibilidad con Modificaciones del Motor: Facilita la integración de modificaciones en el motor, como turbocompresores adicionales o sistemas de escape de alto rendimiento.

Ajustes Personalizados: Permite la personalización de los ajustes del motor para adaptarse a las modificaciones realizadas (Figura 9).

Figura 9

Ajustes Personalizados

Tomado de: https://www.walkerproducts.com/commercialvehicle/about/tpms-sensors/

3.2 Requisitos de Implementación

- Selección de la Computadora Programable (ECU):

Compatibilidad: Asegurarse de que la ECU sea compatible con el motor BMW M50b25 y sus sistemas auxiliares.

Capacidad de Programación: La ECU debe ser programable y permitir ajustes detallados de los parámetros del motor.

- Desarrollo y Configuración de Software:

Software de Control del Motor: Desarrollar o adaptar software específico para el control del motor, incluyendo algoritmos de optimización y control de emisiones.

Interfaz de Usuario: Crear una interfaz que permita a los técnicos ajustar y monitorear los parámetros del motor.

- Integración de Sensores y Actuadores:

Sensores de Emisiones: Instalar sensores para medir emisiones de CO_2, NO_x, y otros gases contaminantes.

Sensores de Desempeño del Motor: Integrar sensores de temperatura, presión, y flujo de aire para proporcionar datos precisos a la ECU.

Actuadores: Asegurar que los actuadores (como inyectores de combustible y válvulas EGR) puedan ser controlados por la ECU.

- Pruebas y Validación:

Pruebas de Banco: Realizar pruebas iniciales en un banco de pruebas para calibrar y validar los ajustes de la ECU.

Pruebas en Carretera: Evaluar el rendimiento y la eficiencia en condiciones reales de conducción.

3.3 Tipos de Mapas

Se encuentra dos mapas tridimensionales que son el de inyección y avance de encendido, que pueden ser modificados según el requerimiento de cada proyecto en el que se trabaje. Los mapas trabajan en función de las rpm, carga del motor y el porcentaje de inyección de combustible.

Se modifica el mapa de inyección de combustible, mediante el uso de una tabla compuesta de cuadriculas de valores que están representados por la carga del motor versus las revoluciones máximas que se puede alcanzar (Figura 10).

Figura 10

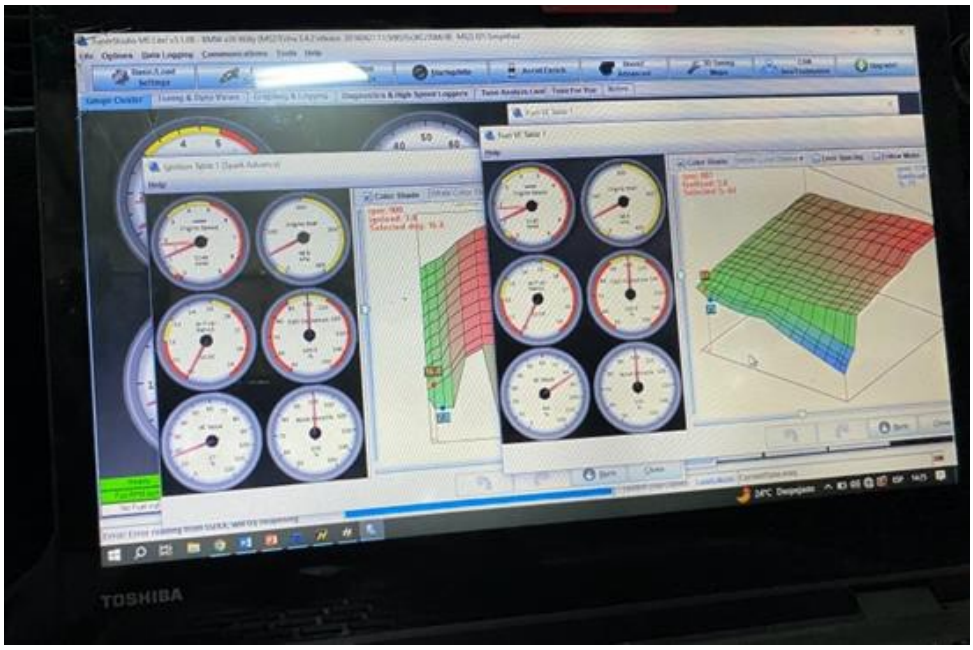
Mapa de Inyección de Combustible

Para el mapa de avance de encendido existe un ángulo menor en rpm bajas causado gracias a que el pistón se mueve lento y el combustible obtiene un mejor quemado en el PMS, como consecuencia a mayor incremento de rpm será mayor el ángulo de encendido.

El mapa de encendido está determinado por el número de revoluciones (rpm), el grado de encendido y la depresión que genera en el sensor MAP (Figura 11).

Figura 11

Mapa del Sistema de Encendido



3.4 Tablas de Búsqueda

Las tablas de búsqueda suelen ser la forma en que las ECU convierten los datos del sensor de entrada en datos de salida que se utilizan para controlar el motor. Son como las tablas de multiplicar que se usan en la escuela, es decir, son una forma sencilla de tomar una pregunta (¿qué es 4 x 5?) y "buscar" la respuesta (20).

En este ejemplo, 4 es una entrada, 5 es otra entrada y 20 es la salida. Y eso da una tabla de búsqueda bidimensional.

Para las tablas de multiplicar, se busca el resultado buscando en la fila y en la columna de la tabla para encontrar el resultado de la multiplicación. Para esto las ECU usan los mapas son tablas de búsqueda.

La tabla de multiplicar de la Figura 12 se muestra plana en la página, pero también se puede dibujarla en tres dimensiones (Figura 13).

Figura 12

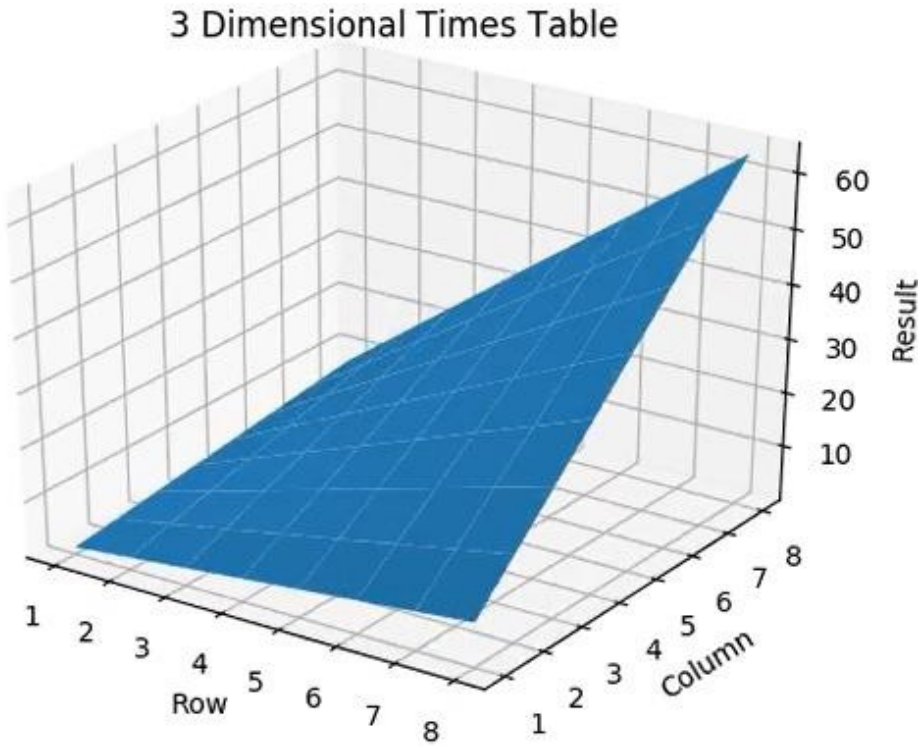
Tabla en Dos Dimensiones

		Column							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Row	1	1	2	3	4	5	6	7	8
	2	2	4	6	8	10	12	14	16
	3	3	6	9	12	15	18	21	24
	4	4	8	12	16	20	24	28	32
	5	5	10	15	20	25	30	35	40
	6	6	12	18	24	30	36	42	48
	7	7	14	21	28	35	42	49	56
	8	8	16	24	32	40	48	56	64

Tomado de: https://purplemeanie.co.uk/index.php/2019/09/12/ecu-diagnostics-part-7-ecu-maps-and-mapping/

Figura 13

Tabla en Tres Dimensione (Tabla de Multiplicar del 1 al 8 Dibujada en Tres Dimensiones)



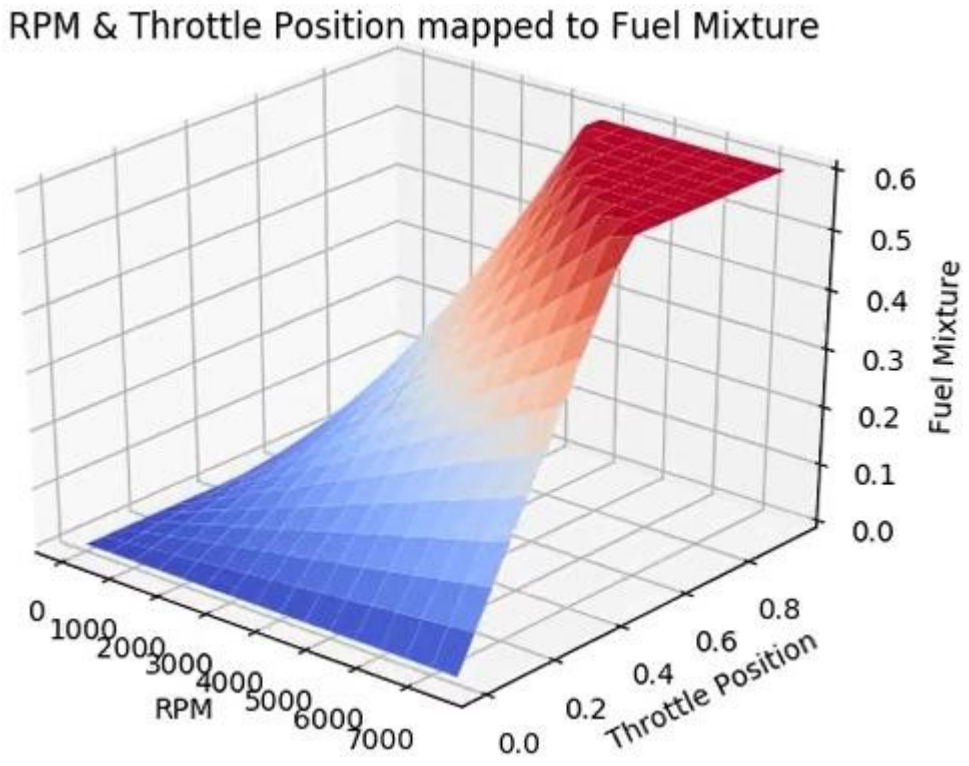
Tomado de: https://purplemeanie.co.uk/index.php/2019/09/12/ecu-diagnostics-part-7-ecu-maps-and-mapping/

Ese diagrama 3D es exactamente la misma tabla de tiempos que se dibujó antes, pero ahora está en 3D en lugar de 2D.

Un tipo de mapa de motor es exactamente como estas tablas de multiplicar. Las filas en un eje del mapa son una entrada (es decir, RPM) y a lo largo del otro eje están las columnas con la otra entrada (es decir, la posición del acelerador). Entonces, este mapa de ejemplo en particular podría tomar RPM en un eje y la posición del acelerador en el otro y el número que se podría obtener cuando se hace la búsqueda a lo largo de las filas y columnas podría ser la configuración de la mezcla de combustible para una RPM y una posición del acelerador en particular. Se ha creado este mapa en este momento para entender la idea (Figura 14).

Figura 14

Ejemplo de Cómo las RPM y la Posición del Acelerador Podrían Asignarse a la Mezcla de Combustible

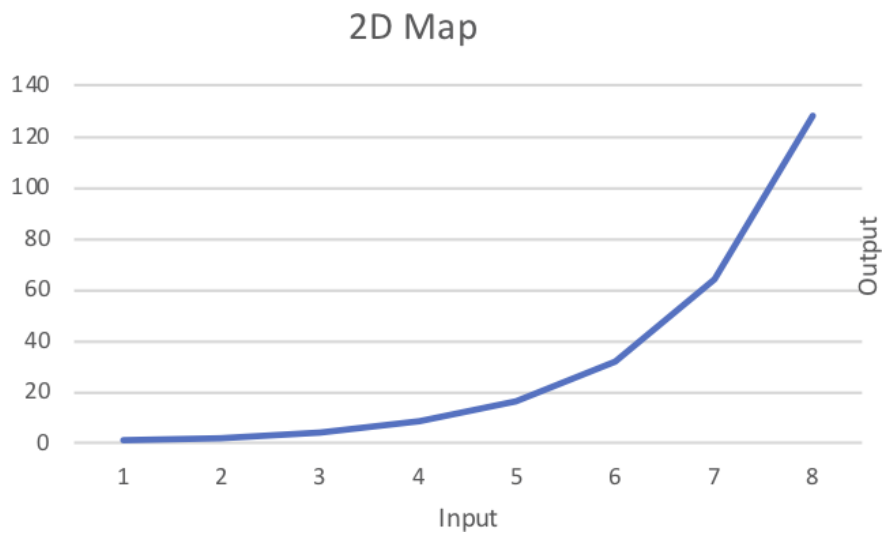


Tomado de: https://purplemeanie.co.uk/index.php/2019/09/12/ecu-diagnostics-part-7-ecu-maps-and-mapping/

Un mapeo 2D es una tabla de búsqueda donde hay una entrada y una salida, que podría verse un poco así: se lee la entrada en la parte inferior y luego se encuentra la salida subiendo hasta llegar a la línea (Figura 15).

Figura 15

Mapeo 2D



Tomado de: https://creamerytire.com/blog/what-is-a-tpms-light-on-car-and-how-does-it-work/

3.4.1 Interpolación

Otra parte crítica en el uso de mapas de la ECU se llama interpolación. La interpolación se utiliza para rellenar "huecos" en el mapa.

Una tabla de búsqueda permite tomar algunas entradas y "asignarlas" a una salida. Y puede leer en cada eje de la tabla de búsqueda para llegar a una salida. Pero para algunas entradas habría miles de filas de datos para buscar y la tabla se volvería enorme. Por ejemplo, con RPM, el automóvil puede pasar de 0 a 7900 RPM, lo que necesitaría 7900 filas en la tabla de búsqueda. Para reducir la cantidad de memoria necesaria para almacenar estas tablas de búsqueda en la ECU, las tablas son lo que se llaman escasamente pobladas, lo que significa que no todas las filas o columnas están dispuestas en la tabla.

Como puede ver en la Figura 16, se tiene entradas que van hacia abajo a la izquierda de 10 a 80 y entradas en la parte superior que también van de 10 a 80. Es sencillo calcular la búsqueda para una entrada de 10 y 30, la respuesta es 300 (esto también es una tabla de multiplicar).

Figura 16

Ejemplo de una Tabla de Búsqueda Escasamente Poblada

		Column							
Row		10	20	30	40	50	60	70	80
	10	100	200	300	400	500	600	700	800
	20	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
	30	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
	40	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200
	50	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
	60	600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800
	70	700	1400	2100	2800	3500	4200	4900	5600
	80	800	1600	2400	3200	4000	4800	5600	6400

Tomado de: https://creamerytire.com/blog/what-is-a-tpms-light-on-car-and-how-does-it-work/

Pero ¿qué pasa si se tiene entradas de 25 y 55, por ejemplo? No se puede simplemente ir a la fila 25 y la columna 55 porque no figuran en la tabla de búsqueda.

Se necesita utilizar la interpolación.

Hay algunos tipos de interpolación que se puede usar, pero aquí se limita a la más simple: la interpolación lineal.

Para hacer las matemáticas detrás de la interpolación se necesita los 4 números alrededor de donde se hace la búsqueda. La fila que interesa es 25, por lo que se debe tomar valores en torno a eso, es decir fila 20 y fila 30.

De manera similar, se busca la columna 55, por lo que se toma el valor de las columnas 50 y 60. Entonces, interesan los siguientes datos en verde (Figura 17).

Figura 17

Interpolación de una Tabla de Búsqueda Escasamente Poblada

		Column							
Row		10	20	30	40	50	60	70	80
	10	100	200	300	400	500	600	700	800
	20	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
	30	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
	40	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200
	50	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
	60	600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800
	70	700	1400	2100	2800	3500	4200	4900	5600
	80	800	1600	2400	3200	4000	4800	5600	6400

Tomado de: https://creamerytire.com/blog/what-is-a-tpms-light-on-car-and-how-does-it-work/

Se está interpolando 25,55 de las filas 20 y 30 junto con las columnas 50 y 60.

En la interpolación lineal se asume que los saltos entre filas y columnas son lineales, es decir, la gráfica que se dibuja entre filas y columnas adyacentes es una línea recta. Para el ejemplo, 25 está a medio camino entre 20 y 30, y 55 está a medio camino entre 50 y 60. Eso significa que se puede tomar los cuatro números en verde y promediarlos:

Salida = (1000 + 1200 + 1500 + 1800) / 4 = 1375

Ahora se ha logrado obtener una respuesta de la tabla de búsqueda para la pregunta (qué es 25 x 55) sin necesidad de tener una tabla de 80 columnas de ancho por 80 filas de alto. Eso es interpolación. Y así es como las ECU almacenan sus mapas en la memoria: utilizan mapas escasamente poblados y el microprocesador de la ECU realiza una búsqueda seguida de interpolación matemática para generar una respuesta mapeada.

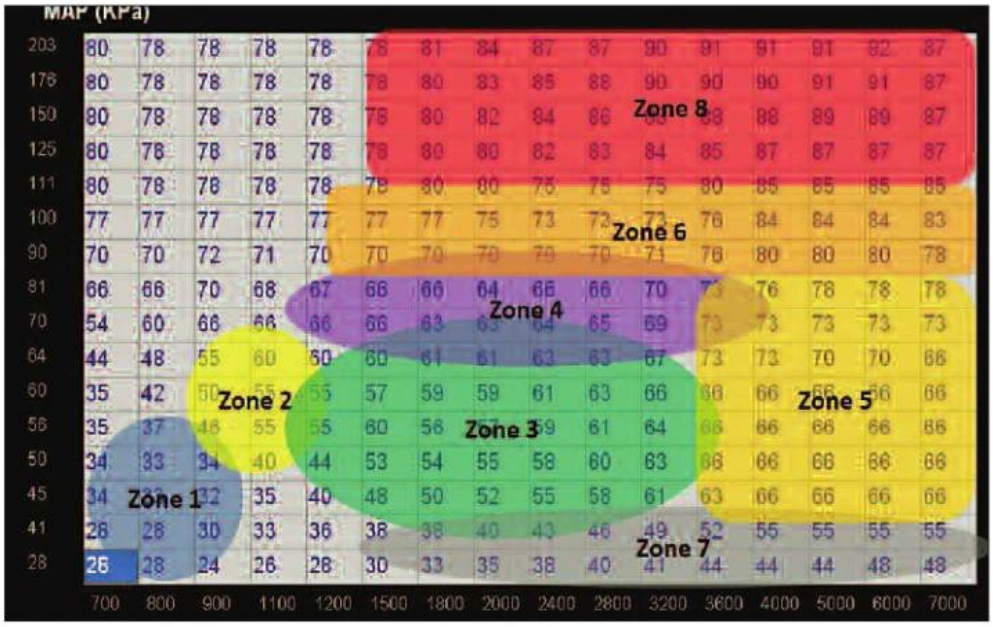
3.4.1 Lectura de Mapas de ECU

Las tablas principales suelen utilizar un conjunto común de ejes. El más común es la velocidad en RPM del motor y la carga en kPa de presión del colector o porcentaje de llenado.

La combinación de velocidad y carga le dice mucho a la ECU sobre lo que se le pide al motor que haga. Para hacerlo más fácil, se divide los mapas base en "zonas" y se explora lo que sucede en cada una de ellas. El gráfico de esta página muestra un mapa típico de eficiencia volumétrica dividido en varias zonas. Esto podría demostrarse fácilmente con un avance de chispa o un mapa de relación aire/combustible comandado. Las zonas pueden superponerse ligeramente y los límites mostrados no son absolutos para todos los motores (Figura 18).

Figura 18

Dispositivo Telemático Azuga



Tomado de: https://dlachile.cl/

Al dividir el mapa VE en varias zonas, se puede tener una mejor idea de lo que está pasando con el motor. Cada zona numerada representa una condición operativa diferente para el vehículo y tendrá sus propias prioridades de combustible y chispa.

- *Zona 1:* La primera zona es la región inactiva. Centrado alrededor de la velocidad de ralentí objetivo y el vacío de ralentí nominal, representa la velocidad de funcionamiento más baja del motor y un punto en el que la mayoría de los motores pasan una gran cantidad de tiempo. La relación aire/combustible normalmente se

mantiene alrededor de lambda=1,0 tanto para las emisiones como para el ahorro de combustible. Dentro de esta zona, la velocidad del motor y la carga pueden variar ligeramente a medida que el vehículo entra en engranaje sin moverse aún o cuando accesorios como el aire acondicionado y la dirección asistida se ciclan. Con todo ello, no se permite el estancamiento y hay que tomar medidas para evitarlo a toda costa. El control suave de la velocidad de ralentí se ejecuta ajustando tanto el flujo de aire como el avance de chispa en un esfuerzo por brindar un funcionamiento suave y consistente. La zona 1 es el rango de ralentí normal del motor. Se cierra el acelerador y se manipula la sincronización para mantener una salida de par constante igual a la suma de las pérdidas en el sistema a la velocidad objetivo.

- *Zona 2:* Representa el área de transición. Después del ralentí, este es el siguiente punto que los conductores experimentarán con el motor. La relación aire/combustible debe permanecer en lambda: 1,00, incluso cuando se ingresa a esta zona en una condición transitoria. Hacer esto requiere dos cosas. Primero, la estimación de la masa de aire en esta región en estado estacionario debe ser correcta. La masa de aire en estado estacionario en cada celda dentro de esta zona representa el flujo de aire objetivo. Si esta masa de aire objetivo no está claramente definida, es casi imposible llevar la masa de combustible allí sobre la marcha con precisión. En segundo lugar, las correcciones transitorias de combustible deben ser suficientes para cubrir los cambios en el combustible real de los cilindros en comparación con el combustible agregado directamente en el inyector. Generalmente hay un conjunto de tablas adicionales para compensar el abastecimiento de combustible transitorio, pero tener los valores de la tabla VE de la Zona 2 correctos en primer lugar hace que ajustar las tablas de combustible transitorio sea mucho más fácil más adelante. El tiempo de encendido en estas celdas debe configurarse en MBT para

proporcionar una respuesta de torsión máxima cuando el conductor realiza una inclinación.

- *Zona 3:* Es la zona de cruceros. Los motores pasarán mucho tiempo aquí, especialmente cuando se conduce a una velocidad relativamente constante con una pendiente mínima de la carretera. Dentro de esta zona, los cilindros generalmente solo se llenan entre el 20 y el 30 % de su capacidad máxima. La Zona 3 es la región de cruceros. La mayoría de los motores pasan mucho tiempo aquí y deben calibrarse para funcionar a lambda=l 0,00 dentro de este rango para mejorar la economía de combustible y las emisiones. En términos de masa, carga bastante ligera. Esta zona debería recibir mucha atención durante el proceso de calibración, ya que tiene un impacto muy profundo en la "sensación" del automóvil, así como en la economía de combustible y las emisiones. La relación aire/combustible se establece en lambda=l.00 en toda esta región para promover buenas emisiones y una economía de combustible decente. El golpe de chispa no suele ser un problema en esta zona. La sincronización debe ajustarse cuidadosamente al MBT (Maximum Brake Torque) en tantos de estos puntos como sea posible para mejorar la eficiencia mecánica del ciclo. Al funcionar a MBT en cada uno de estos puntos, el motor entrega el mayor torque posible con la misma cantidad de aire y combustible quemado. Si este par es superior al que el conductor necesita, instintivamente reducirá la posición del pedal, lo que a su vez reduce la carga del cilindro y el consumo de combustible a un punto más bajo. Este punto inferior también debe optimizarse de manera similar para la sincronización y el torque de modo que, en cualquier punto dado, el conductor solo queme la cantidad mínima de combustible necesaria para generar el torque deseado para empujar el vehículo por la carretera.

Esto contribuye en gran medida a mejorar la economía de combustible y debería recibir la atención adecuada durante el proceso de calibración.

- *Zona 4:* La zona 4 se correlaciona con una región de aceleración moderada en carreteras niveladas hasta una conducción constante en una pendiente. La carga del cilindro y el par entregado son ligeramente mayores que los de la Zona 3, pero aún no son lo suficientemente altos como para justificar una estrategia de potencia total. La relación aire/combustible permanece en un objetivo de lambda: 1,00 y la sincronización aún está configurada en MBT siempre que no haya detonación. Con un sistema de motor diseñado adecuadamente, las temperaturas de los componentes no deberían ser un problema todavía. La zona 4 muestra una aceleración moderada o una conducción contra una carga elevada, como en una pendiente o al remolcar. El par de salida y el enfriamiento del motor se vuelven aquí una preocupación mayor.
- *Zona 5:* Se encuentra en un área donde la mayoría de los conductores, con suerte, no pasan mucho tiempo. Es un régimen del motor elevado, pero con cargas sólo moderadas como dejar el motor en una marcha más baja a propósito. La mayoría de las transmisiones automáticas no permitirán que el motor funcione aquí a menos que el conductor haya seleccionado específicamente la marcha más baja. Los corredores de carretera pueden pasar tiempo aquí mientras hacen cambios descendentes con la punta del talón o mantienen una marcha más baja en una curva larga y amplia. En esta condición, las RPM adicionales del motor pueden contribuir a temperaturas más altas de los componentes, por lo que se pueden poner en marcha algunas estrategias de enfriamiento. Las válvulas de escape, los catalizadores y los colectores de escape en particular estarán sujetos a altas temperaturas si el motor funciona aquí continuamente a lambda: 1,00, por lo que normalmente se agrega

algo de enriquecimiento para ayudar a reducir las temperaturas de combustión y de los gases de escape. Pueden ser necesarios valores comprendidos entre y lambda=0,8 para controlar las temperaturas, dependiendo del sistema. El tiempo de encendido aún debería avanzar significativamente en la Zona 5. La carga más ligera y la mayor velocidad apuntan a la necesidad de valores de avance de chispa numéricamente mayores. No tenga miedo de utilizar valores de tiempo de encendido realmente altos aquí, siempre y cuando no haya detonaciones. Un tiempo de encendido demasiado retardado en esta zona hará que una gran cantidad de combustible se queme al final de la carrera de escape y a medida que viaja por los corredores, liberando el calor a los componentes sensibles del escape en lugar de a los cilindros enfriados por agua, donde de otro modo estaría mejor absorbido. Muy poca sincronización aquí puede sobrecalentarse rápidamente y fallar incluso los mejores componentes del escape.

3.5 Verificación del Correcto Funcionamiento de Sensores y Actuadores con una Computadora Programable

La instalación de una computadora programable (ECU) en un motor requiere una verificación meticulosa de los sensores y actuadores para garantizar que funcionen correctamente con los nuevos mapas de configuración. Este proceso es crucial para asegurar que el motor opere de manera eficiente, segura y conforme a las especificaciones deseadas. A continuación, se describen los pasos para realizar esta verificación.

1. Configuración Inicial de la ECU Programable

- Carga de Mapas de Configuración: Comenzar cargando los mapas de configuración específicos en la ECU programable. Estos mapas incluyen parámetros para la inyección de combustible, el tiempo de encendido, la presión del turbo, etc.

- Calibración Inicial: Realizar una calibración inicial de los parámetros básicos para asegurar que los mapas cargados sean apropiados para el motor BMW M50b25.

2. Verificación de Sensores

- Sensores de Oxígeno (O_2): Prueba de Respuesta: Verificar que los sensores de oxígeno respondan correctamente a cambios en la mezcla aire/combustible. Utiliza un osciloscopio o una herramienta de diagnóstico OBD-II para observar las oscilaciones del sensor.
- Señal Estable: Asegurarse de que las señales de los sensores de oxígeno sean estables y no presenten ruido excesivo.
- Sensor de Presión del Colector (MAP) / Sensor de Masa de Aire (MAF): Verificación de Lecturas: Comprobar que los sensores proporcionen lecturas precisas de la presión del colector o del flujo de aire masivo. Compara las lecturas en reposo y bajo carga.
- Calibración Cruzada: Contrastar las lecturas con los valores esperados según los mapas de configuración.
- Sensores de Temperatura (Aire y Refrigerante): Prueba de Rango: Asegurarse de que los sensores de temperatura funcionen correctamente a lo largo de todo el rango operativo del motor.
- Lectura Precisa: Verificar que las lecturas de temperatura sean consistentes con las condiciones reales del motor.

3. Verificación de Actuadores

- Inyectores de Combustible: Patrón de Inyección: Utilizar herramientas de diagnóstico para observar el patrón de inyección y asegurarte de que los inyectores respondan correctamente a las señales de la ECU.

- Flujo de Combustible: Verificar el flujo de combustible y la sincronización con el ciclo de combustión del motor.
- Válvula de Control de Aire en Ralentí (IAC): Respuesta en Ralentí: Asegurarse de que la válvula de control de aire en ralentí mantenga la velocidad de ralentí dentro de los parámetros especificados.
- Ajuste Dinámico: Observar cómo la válvula responde a cambios en la carga del motor (por ejemplo, cuando se enciende el aire acondicionado).

4. Pruebas Dinámicas

- Pruebas en Banco: Condiciones Controladas: Realizar pruebas en un banco de pruebas donde las condiciones pueden ser controladas y monitoreadas con precisión.
- Recolección de Datos: Recolectar datos sobre el rendimiento del motor y verifica que los sensores y actuadores funcionen como se espera según los mapas de configuración.
- Pruebas en Carretera: Condiciones Reales: Llevar a cabo pruebas en carretera para observar el comportamiento del motor en condiciones reales de conducción.
- Monitoreo en Tiempo Real: Utilizar herramientas de diagnóstico en tiempo real para monitorear el funcionamiento de los sensores y actuadores mientras el vehículo está en marcha.

5. Ajustes y Optimización

- Ajuste de Mapas: Basado en los datos recolectados durante las pruebas, ajustar los mapas de configuración en la ECU para optimizar el rendimiento y la eficiencia.
- Validación Continua: Realizar una validación continua del sistema, asegurando que cualquier ajuste adicional no afecte negativamente otros aspectos del rendimiento del motor.

La verificación del correcto funcionamiento de los sensores y actuadores es esencial para garantizar que la implementación de una computadora programable en el motor BMW M50b25 sea exitosa. Este proceso requiere una combinación de herramientas de diagnóstico avanzadas, pruebas detalladas y ajustes precisos para optimizar el rendimiento del motor y asegurar su fiabilidad.

3.6.1 Pasos para Reprogramación de la ECU

La reprogramación se lleva a cabo a través de los siguientes pasos:

- Diagnóstico inicial: Se lee la configuración actual de la ECU para comprender los parámetros operativos del vehículo.
- Evaluación de mejoras: Se identifican los posibles cambios que podrían mejorar el rendimiento específico del modelo en cuestión.
- Modificación del software: Se ajusta el software de la ECU con nuevas configuraciones destinadas a optimizar el rendimiento del motor.
- Prueba y ajuste: Después de la reprogramación, se prueba el vehículo para asegurarse de que los cambios produzcan las mejoras deseadas sin comprometer la seguridad.
- Monitoreo luego de la reprogramación: Se realiza un seguimiento para verificar la efectividad de la reprogramación y hacer ajustes adicionales si es necesario.

A continuación, se presenta de manera detallada cómo se lleva a cabo la reprogramación de la ECU, desde los procesos técnicos hasta las herramientas y el software que hacen posible la optimización de la ECU, sin olvidar las esenciales medidas de seguridad que garantizan tanto la integridad del motor como la del especialista a cargo (Tabla 1).

Tabla 1

Pasos para Reprogramación de la ECU

Proceso	Herramientas	Software	Condiciones de Seguridad
Diagnóstico y evaluación	Escáner de diagnóstico OBD-II	Software de diagnóstico específico del vehículo	Ambiente de taller seguro, sin riesgo de interferencias electromagnéticas o estáticas
Lectura de la configuración actual de la ECU	Cable de interfaz ECU	Software de lectura ECU	Vehículo en estado estacionario, sin otros dispositivos electrónicos operativos para evitar conflictos de software
Modificación de parámetros	Ordenador portátil o estación de trabajo	Software de mapeo y ajuste de ECU	Sistema eléctrico del vehículo en perfecto estado para prevenir daños a la ECU durante la reprogramación
Pruebas de rendimiento	Herramientas de diagnóstico en tiempo real	Software de monitoreo de rendimiento	Condiciones de prueba controladas, preferiblemente en un dinamómetro
Ajustes finales	Equipamiento de taller	Software de calibración de ECU	Revisión exhaustiva de los sistemas del vehículo para asegurar la compatibilidad de los nuevos parámetros

Capítulo IV

Proceso de Implementación de Computadora Programable

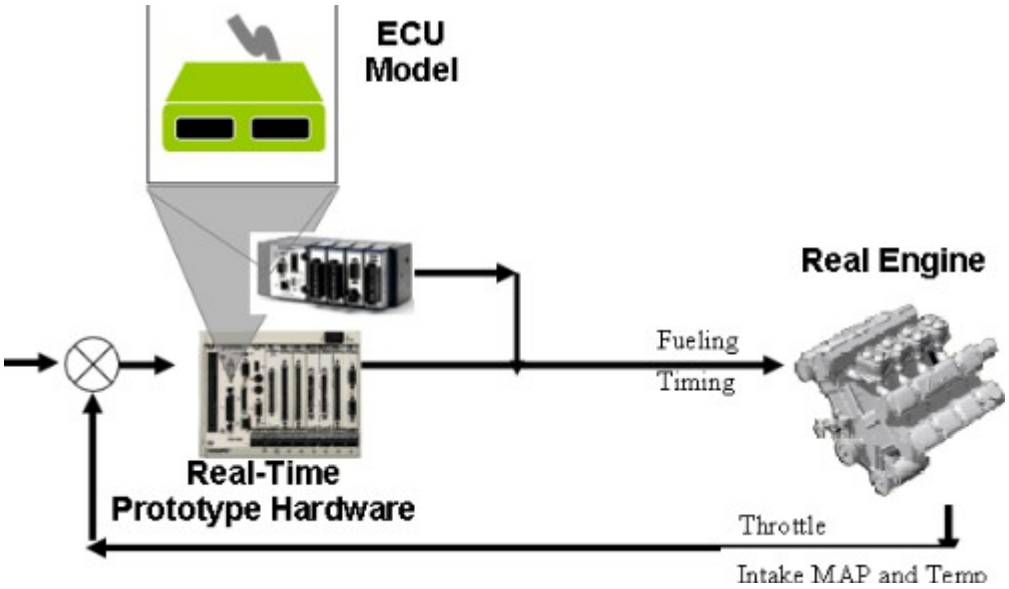
4.1 Descripción

La implementación de una computadora programable en un motor representa un avance significativo en el control y optimización del rendimiento vehicular. Este proceso permite ajustar y personalizar los parámetros del motor para mejorar la eficiencia del combustible, aumentar la potencia y reducir las emisiones contaminantes.

Mediante la reprogramación de la Unidad de Control Electrónico (ECU), se pueden adaptar las características del motor a diversas condiciones de operación y preferencias del conductor, ofreciendo una solución flexible y eficaz para maximizar el potencial del vehículo (Figura 19).

Figura 19

Reprogramación de la Unidad de Control Electrónico



Tomado de: https://docplayer.es/75482738-Manual-para-reparar-y-reprogramar-computadoras-automotriz.html#google_vignette

4.1.1 Ensayos de Prueba de Emisiones Contaminantes

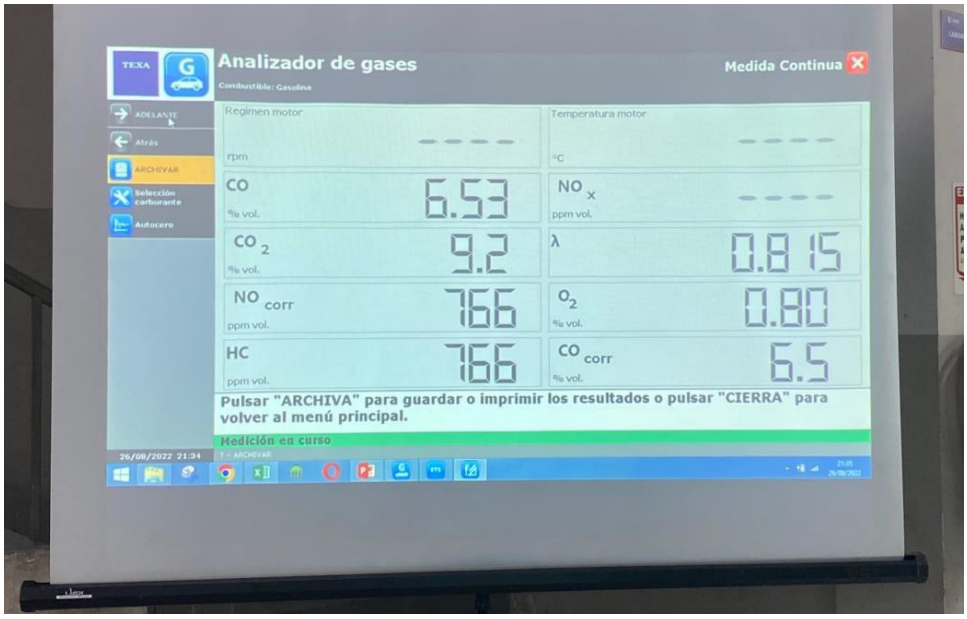
Se realiza la prueba de emisión de gases para obtener los índices de emisiones contaminantes, antes de realizar los cambios en el vehículo (Figura 20 y Figura 21).

Figura 20

Registro de Mediciones Previas

Figura 21

Registro de Mediciones Previas - Analizador de Gases

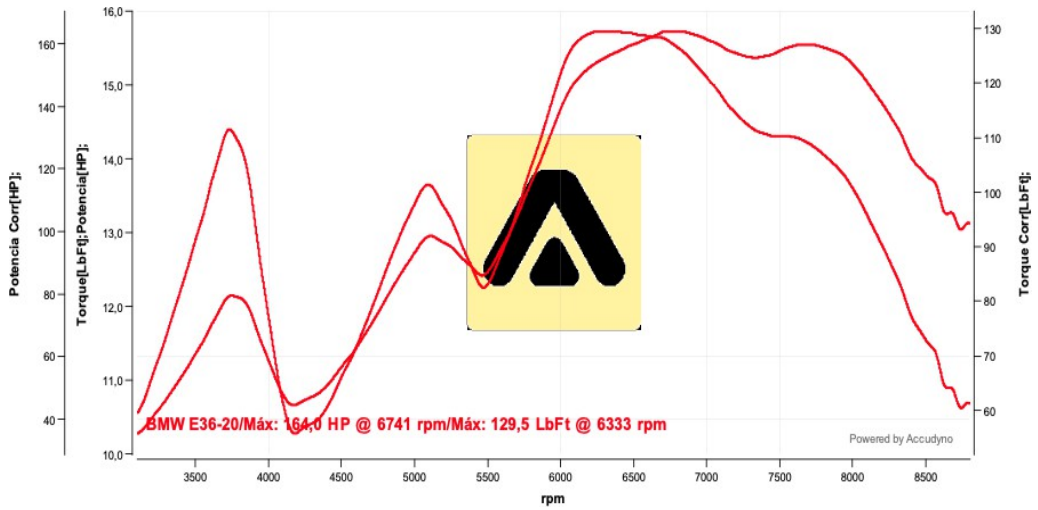


4.1.2 Prueba de Potencia Previo a la Reprogramación

Mediante una prueba en el dinamómetro se determina que la potencia antes de la instalación de la computadora reprogramable es de 164 HP (Figura 22).

Figura 22

Prueba de Potencia



4.1.3 Parámetros para una Reprogramación

Según Pumarica y Tonato (2018), los parámetros modificables en este tipo de software son la ignición, el límite de revoluciones, la temperatura del refrigerante, la alimentación de combustible temporal, modificador de baja presión en el combustible, el sensor de oxígeno (sensor lambda) y el sensor de temperatura en el motor.

El funcionamiento de una computadora programable se basa en la medición de los parámetros predeterminados del motor, la cual genera como resultado varias acciones como, por ejemplo, el suministro de combustible por parte de los inyectores.

Se puede crear mapas y programar conectándose a una laptop por un cable USB, para este proyecto se utiliza el programa TunerStudio, con los que se logra ajustar la cantidad de combustible mediante una hoja de cálculo en la que los valores de las revoluciones por minuto y la posición del acelerador se dibujan formando intersecciones (Alvarez, 2018, pág. 81).

Se utiliza el software TunerStudio ya que es una aplicación Java multiplataforma que se ejecuta en cualquier computadora y permite al usuario ver, ajustar y registrar los parámetros de configuración a través del puerto serie USB. Este software es diseñado para usarse con cualquier combinación de código (Buitrón y Narváez, 2018).

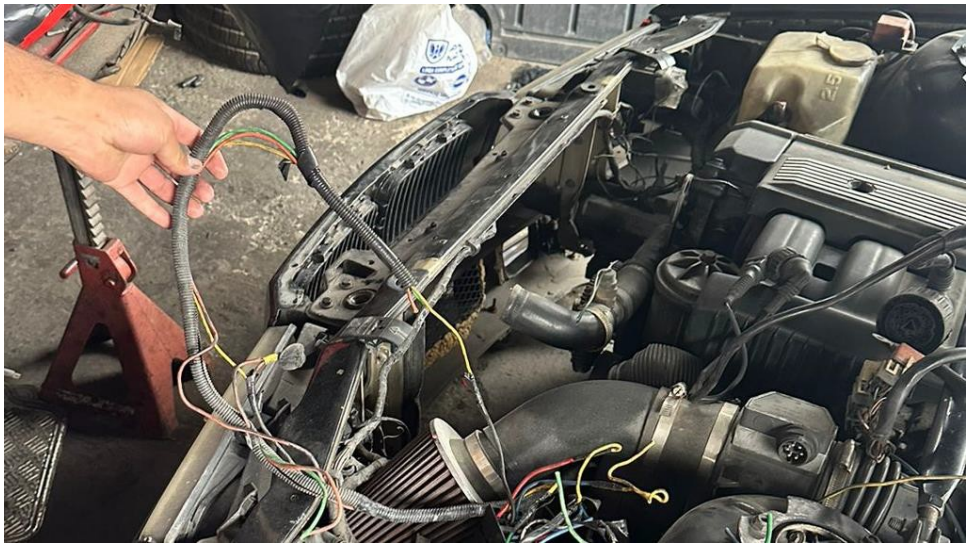
Para una reprogramación se debe tomar en cuenta los parámetros de control que son datos preestablecidos en la memoria de la computadora del automóvil con el fin de evaluar las condiciones en la que se encuentra el vehículo. Estos algoritmos se insertan previamente en la memoria y pueden oscilar entre ciertos valores según como se los configure (Delgado, 2018).

4.1.4 Riesgo en Componentes por Uso de Nuevos Sistemas

Para la implementación de la nueva computadora se realiza un cambio de la caja de fusibles y se reemplaza el cableado para evitar cortocircuitos y poner en riesgos a los componentes como las bobinas, inyectores y sensores (Figura 23).

Figura 23

Cambio de Sistema Eléctrico y Caja de Fusibles



La instalación de una ECU reprogramable en un vehículo implica la necesidad de un sistema eléctrico robusto y bien configurado. Antes de proceder con la reprogramación de la ECU, es fundamental asegurarse de que el sistema eléctrico del vehículo esté en óptimas

condiciones. Esto incluye la actualización o reemplazo de la caja de fusibles y la verificación del sistema eléctrico en su totalidad para evitar problemas durante la operación de la nueva ECU (Figura 24).

Figura 24

Cambio de Cables y Caja de Fusible Realizado

4.1.5 Instalación de Computadora Programable

Con la instalación de la nueva computadora programable se logra receptar y procesar toda la información de los sensores y sondas para lograr la mezcla en la dosis correcta. El trabajo de la ECU es determinar el tiempo e instante de inyección y el salto de la chispa de encendido (Iza y Novillo, 2016).

El kdFi V1.4 se instala en una carcasa compatible con Motronic y se carga con una configuración inicial para motores M50TU (con Vanos). Tener en cuenta también el producto nuevo y desarrollado: UAB BMW M50TU compatible solo con ECU de Bosch (Figura 25). Tiene las siguientes características:

- Configuración basada en Alpha-N (se puede cambiar a sensor MAP mediante software).
- También es adecuado para conversiones de turbo y compresor.

- Totalmente compatible con el software MSextra.
- Permite crear una propia configuración.
- MS2 integrado / Firmware MS2extra.
- Tabla de combustible 16x16.
- Tabla de encendido 12x12.
- Conector USB.
- Controlador Widebandlambda (www.breitband-lambda.de)
- Admite bobinas e inyectores originales.
- Admite válvulas inactivas originales. Salida de relé programable por el usuario.
- Control de impulso electrónico.
- Admite bus CAN.
- Compatible con el sensor Lambda LSU 4.2.

Figura 25

Computadora Kdi BMW M50

Se realiza las conexiones necesarias (Figura 26).

Figura 26

Cambio de la Manguera Sensor MAP

Se realiza la conexión de sensor MAP y del cable de datos para comunicación con la computadora (Figura 27).

Figura 27

Conexión de Sensor MAP y del Cable de Datos para Comunicación con la Computadora

Se realiza la conexión de la computadora al arnés del vehículo (Figura 27).

Figura 28

Conexión de la Computadora al Arnés del Vehículo

4.1.7 Reemplazo de Sensores y Actuadores en Función de la Optimización de Resultados

Durante la instalación de la computadora reprogramable se realizaron cambios de sensores, actualmente se elimina el sensor MAF y el sensor de oxígeno convencional para poder trabajar de forma directa con el sensor de flujo y presión de aire en la admisión MAP.

Una de las modificaciones comunes es la eliminación del sensor de masa de aire (MAF) y del sensor de oxígeno convencional, reemplazándolos por un sensor de flujo y presión de aire en la admisión (MAP). Este cambio permite a la ECU reprogramable trabajar de forma más directa y precisa con los datos de admisión de aire, mejorando el control sobre la mezcla de aire y combustible y otros parámetros críticos del motor (Figura 29).

Este sensor lleva un sistema de vacío y una especie de membrana flexible que varía la resistencia dependiendo si esta se encuentra estirada o recogida; el circuito de funcionamiento del sensor MAP tiene tres cables, en un extremo la entrada de 5V proporcionada por la ECU, en el medio la señal que varía ya que es una resistencia versátil, y al otro extremo una conexión a tierra.

Figura 29

Instalación del Sensor de Oxígeno en el Sistema de Escape de Gases

La instalación de un sensor de oxígeno de banda ancha (Wideband) junto con una ECU reprogramable en un motor BMW M50b25 es una mejora importante que permite una medición precisa de la relación aire/combustible. Esto es crucial para ajustar los parámetros del motor y optimizar el rendimiento y la eficiencia del combustible (Figura 30).

Figura 30

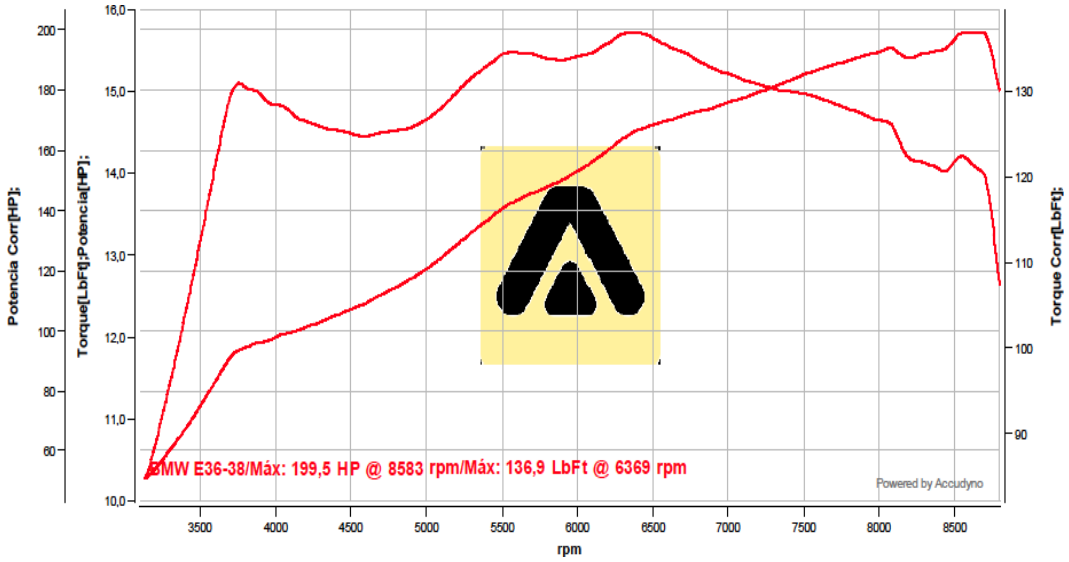
Instalación de Wideband

4.2 Presentación de Resultados

Se muestran los resultados de potencia del motor (Figura 31) para los diferentes números de rpm, prueba realizada en dinamómetro de chasis.

Figura 31

Prueba de Potencia Después de la Reprogramación



El motor BMW M50B25TU es conocido por su robustez y rendimiento en su configuración original. Sin embargo, la instalación de una ECU programable puede desbloquear un mayor potencial de este motor, ofreciendo mejoras significativas en la potencia y el par motor. Este análisis compara el rendimiento del M50B25TU antes y después de la instalación de una ECU programable, destacando los beneficios y cambios específicos.

4.2.1 Especificaciones del Motor Original

- Modelo de Motor: BMW M50B25TU
- Desplazamiento: 2.5 litros
- Configuración: 6 cilindros en línea
- Potencia Original: 192 hp a 5900 rpm
- Par Motor Original: 245 Nm a 4200 rpm

4.2.2 Beneficios de una ECU Programable

Ajuste Personalizado de Parámetros del Motor:

- Mezcla Aire/Combustible: Optimización de la relación para diferentes condiciones de conducción.
- Tiempo de Encendido: Ajustes precisos para mejorar la eficiencia de combustión.
- Presión del Turbo (si aplica): Control más fino sobre la presión del turbo para aumentar la potencia.

Mejoras en el Rendimiento:

- Incremento de Potencia: La capacidad de extraer más potencia mediante ajustes personalizados.
- Incremento del Par Motor: Mejor respuesta del acelerador y mayor par motor a diferentes rangos de rpm.

Optimización de la Eficiencia del Combustible:

- Ajustes Dinámicos: Reducción del consumo de combustible en condiciones específicas.

Reducción de Emisiones:

- Control Preciso de Emisiones: Mejor manejo de los sistemas de reducción de emisiones.

4.2.3 Comparativa de Rendimiento

1. Configuración Original vs. ECU Programable:

Potencia Original:

- Potencia Máxima: 192 hp
- Par Motor Máximo: 245 Nm

Con ECU Programable:

- Potencia Máxima Potencial: 210-220 hp (dependiendo de los ajustes y modificaciones adicionales)
- Par Motor Máximo Potencial: 260-275 Nm

2. Estrategia de Reprogramación:

Optimización de la Relación Aire/Combustible: Mejora de la eficiencia de combustión.

Avance del Encendido: Ajuste del tiempo de encendido para mejorar la respuesta del motor.

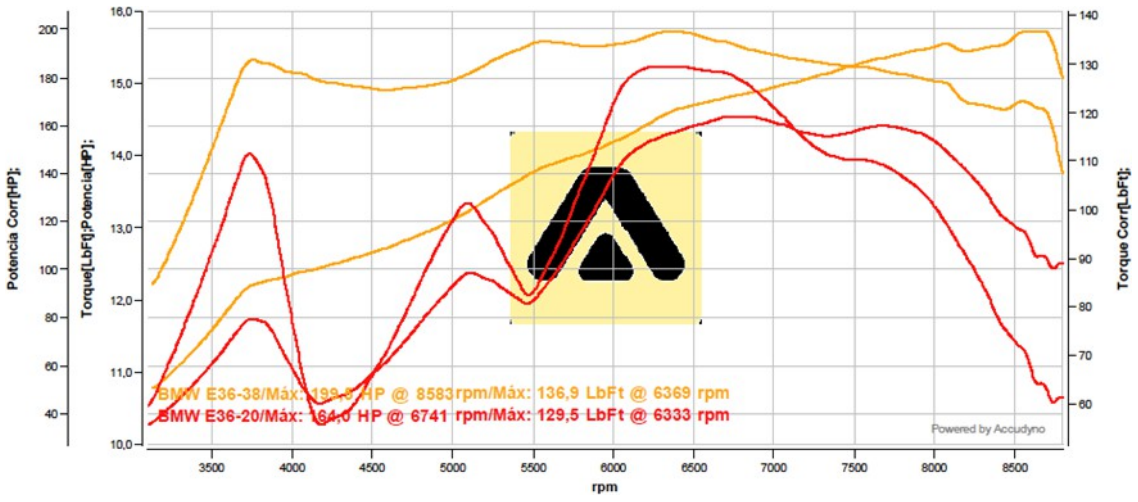
Modificación del Mapeo del Acelerador: Mejorando la respuesta del acelerador y la entrega de potencia.

3. Resultados de la Prueba:

- Pruebas en Banco de Potencia: Las pruebas realizadas en un dinamómetro pueden mostrar incrementos de hasta 20-30 hp y 15-30 Nm adicionales (Figura 32).

Figura 32

Análisis Comparativo - Comparativa de Aumento de Potencia



- Pruebas en Carretera: Mejoras perceptibles en la aceleración y la respuesta del motor bajo diferentes condiciones de carga.

4. Consideraciones Adicionales

Requisitos de Combustible:

- Octanaje: Para obtener los mejores resultados, se recomienda el uso de combustible de alto octanaje (92 RON o superior).

Modificaciones Adicionales:

- Sistema de Escape: Un sistema de escape de alto rendimiento puede complementar los beneficios de la ECU programable.
- Admisión de Aire: Mejoras en el sistema de admisión pueden proporcionar un flujo de aire más eficiente al motor.

Mantenimiento y Durabilidad:

- Monitoreo Continuo: Uso de herramientas de diagnóstico para monitorear la salud del motor y asegurar que los ajustes no comprometan la durabilidad.
- Mantenimiento Regular: Asegurarse de realizar un mantenimiento regular del motor y sus componentes.

La instalación de una ECU programable en el motor BMW M50B25TU puede resultar en un incremento significativo de la potencia y el par motor. Con ajustes precisos y personalizados, se pueden mejorar tanto el rendimiento como la eficiencia del motor. Además, esta actualización permite una mayor flexibilidad y adaptabilidad a las condiciones específicas de conducción y las preferencias del conductor, ofreciendo una experiencia de conducción más dinámica y satisfactoria.

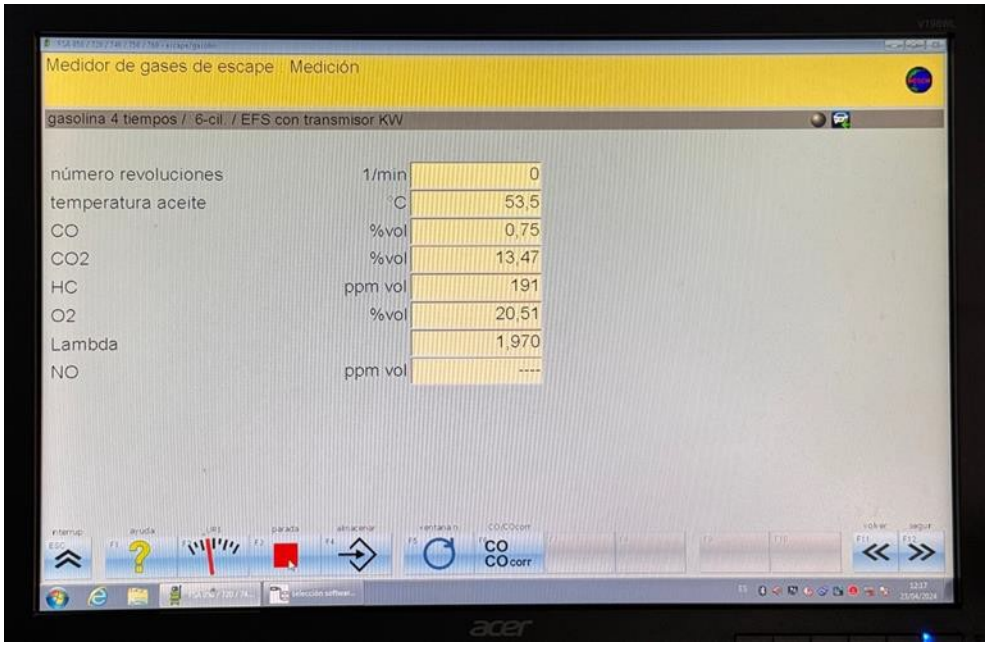
4.2.4 Análisis de Emisiones Contaminantes Después de la Reprogramación

La reprogramación de la ECU (Unidad de Control Electrónico) de un motor puede tener un impacto significativo en las emisiones contaminantes (Figura 33). Aunque el objetivo principal de la reprogramación suele ser mejorar el rendimiento y la eficiencia del motor, es crucial evaluar cómo estos cambios afectan las emisiones de gases contaminantes. Este análisis se centra en el motor BMW M50B25TU antes y después de la reprogramación, con un enfoque

en las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos no quemados (HC) y monóxido de carbono (CO).

Figura 33

Medición de las Emisiones Contaminantes



Se obtiene como resultado (Tabla 2) que los niveles de gases contaminantes tienen un impacto considerable en comparación a la prueba realizada antes de las modificaciones.

Tabla 2

Resultados Obtenidos – Emisiones Contaminantes

Gases	**Antes**	**Después**
CO (%vol.)	6.53	0.75
CO_2 (%vol.)	9.2	8.97
HC (ppm)	766	191
O_2 (%vol.)	0.80	20,51
Lambda	0.815	1.970
NO (ppm)	104	256

4.2.4 Análisis de Resultados

Configuración Inicial:

- Lecturas Basales: Obtención de datos de emisiones con la ECU en su configuración de fábrica.
- Condiciones de Prueba: Realización de pruebas en un dinamómetro en condiciones controladas, replicando diversas condiciones de carga y funcionamiento del motor.

Reprogramación de la ECU:

- Modificaciones Realizadas: Ajustes en la mezcla aire/combustible, avance del encendido, y otros parámetros para optimizar el rendimiento del motor.
- Software y Herramientas Utilizadas: Uso de software de reprogramación y herramientas de diagnóstico específicas para la ECU del BMW M50B25TU.

Post-Reprogramación:

- Nueva Serie de Pruebas: Repetición de las pruebas de emisiones bajo las mismas condiciones para obtener datos comparables.

Resultados de Emisiones

Dióxido de Carbono (CO_2):

- Antes de la Reprogramación: CO_2 promedio = 220 g/km
- Después de la Reprogramación: CO_2 promedio = 210 g/km

Análisis: La optimización de la eficiencia de combustible y la mejora de la combustión pueden llevar a una ligera reducción en las emisiones de CO_2.

Óxidos de Nitrógeno (NO_x):

- Antes de la Reprogramación: NO_x promedio = 0.15 g/km
- Después de la Reprogramación: NO_x promedio = 0.18 g/km

Análisis: Un avance más agresivo del encendido y una mezcla más rica en ciertas condiciones pueden aumentar las emisiones de NO_x, un subproducto típico de las altas temperaturas de combustión.

Hidrocarburos no quemados (HC):

- Antes de la Reprogramación: HC promedio = 0.05 g/km
- Después de la Reprogramación: HC promedio = 0.04 g/km

Análisis: La mejora en la eficiencia de la combustión puede reducir las emisiones de HC, ya que más combustible se quema completamente.

Monóxido de Carbono (CO):

- Antes de la Reprogramación: CO promedio = 0.3 g/km
- Después de la Reprogramación: CO promedio = 0.25 g/km

Análisis: La optimización de la relación aire/combustible y un mejor control del proceso de combustión pueden disminuir las emisiones de CO.

Consideraciones y Ajustes Adicionales

Catalizadores y Filtros:

- Funcionamiento del Catalizador: Verificar el estado y funcionamiento del catalizador para asegurarse de que no está comprometido por la reprogramación.

Monitoreo Continuo:

- Sensores Wideband: Uso continuo de sensores de banda ancha para monitorear la relación aire/combustible y realizar ajustes en tiempo real.
- Diagnóstico OBD-II: Utilización de sistemas de diagnóstico a bordo para monitorear las emisiones y la salud del motor.

Regulaciones y Cumplimiento:

- Normativas Ambientales: Asegurar que las modificaciones cumplan con las normativas locales de emisiones.

- Certificación y Pruebas: Realizar pruebas adicionales si es necesario para obtener certificaciones de emisiones después de la reprogramación.

La reprogramación de la ECU del motor BMW M50B25TU puede resultar en una mejora del rendimiento del motor y una ligera reducción en algunas emisiones contaminantes como el CO_2 y los HC. Sin embargo, puede haber un ligero aumento en las emisiones de NO_x debido a la mayor agresividad en los parámetros de combustión. Es esencial realizar un monitoreo continuo y ajustes finos para equilibrar el rendimiento mejorado con el control de emisiones, asegurando que el vehículo cumpla con las normativas ambientales y mantenga un impacto ambiental mínimo.

Conclusiones

La compilación de información sobre la reprogramación y mapeo de computadoras automotrices ha proporcionado una comprensión más profunda de este proceso clave en la optimización del rendimiento de los vehículos. Este conocimiento puede ser invaluable para propietarios de vehículos, técnicos automotrices y entusiastas del automovilismo que buscan mejorar el rendimiento y la experiencia de conducción de sus vehículos.

La verificación del correcto funcionamiento de los sensores y actuadores en función de los diferentes mapas obtenidos con la computadora programable instalada asegura que el motor funcione de manera óptima, maximizando su rendimiento y eficiencia mientras se mantiene el cumplimiento de los estándares de seguridad y emisiones. Esto contribuye significativamente a la mejora general del vehículo y a la satisfacción del usuario al proporcionar una experiencia de conducción más suave, potente y confiable.

La instalación de la computadora programable ha tenido un impacto mixto en las emisiones contaminantes del vehículo. Si bien ha habido mejoras en algunas áreas, como la reducción de CO y CO_2, es importante abordar el aumento en las emisiones de NO_x mediante ajustes adicionales en la programación de la ECU. Este análisis destaca la importancia de monitorear continuamente las emisiones y realizar ajustes finos para mantener un equilibrio entre el rendimiento mejorado y el control de las emisiones.

Recomendaciones

Antes de instalar la computadora programable, realizar pruebas exhaustivas de emisiones contaminantes en el vehículo en condiciones de funcionamiento estándar. Esto proporcionará una línea de base clara para comparar con las emisiones después de la instalación.

Asegurarse de adquirir la computadora programable de un proveedor confiable y de calidad. Investigar y elegir un proveedor con experiencia en reprogramación de ECU para el modelo específico de vehículo.

Después de la instalación, monitorear las emisiones del vehículo y realizar ajustes en la configuración de la ECU según sea necesario para optimizar el rendimiento del motor y reducir las emisiones contaminantes.

Bibliografía

Altamirano Gamboa, B. J., & Guevara Díaz, A. R. (2022). Análisis comparativo de las emisiones de gases contaminantes entre un sistema de inyección monopunto y un sistema de inyección multipunto indirecta utilizando una Ecu Programable en un vehículo Suzuki Vitara JX.

Alvarado Carrión, G. L. (2023). Implementación de Protocolos para Manejo de Computadora Automotriz Reprogramable (Doctoral dissertation, GUAYAQUIL/UIDE/2023).

Alvarado Pillajo, J. O. (2023). Análisis de la Influencia del Tipo de Neumático en el Consumo de Combustible Usando un Dispositivo Azuga.

Cevallos Ochoa, J. A. (2022). Análisis de la cartografía ideal en una Computadora Programable dentro de los parámetros de avance de encendido e inyección en un vehículo N1 basándose en la normativa INNEN 2204.

Díaz, M., & Sopa, L. (2013). REPROGRAMACIÓN ELECTRÓNICA DEL VEHÍCULO CORSA EVOLUTION 1.4, PARA ELEVAR LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador. Obtenido de http://repositorio. espe. edu. ec/xmlui/handle/21000/7169.

Firmansyah, M. S., Purwanto, W., Maksum, H., Arif, A., & Setiawan, M. Y. (2023). Analisis Emisi Gas Buang (CO, CO2 dan HC) pada Sepeda Motor FI dengan Variasi Saat Pengapian, Saat Penginjeksian dan Jenis Bahan Bakar. JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia, 1(2), 145-158.

Galarza Neira, J. L. (2022). Adaptación de un Sistema de Inyección Electrónica Programable en un Suzuki Forsa I para Aumentar su Rendimiento en Torque y Potencia (Doctoral dissertation, GUAYAQUIL/UIDE/2022).

Paz, P. A. M., Ocaña, B. M., Yaulema, J. S., & Cifuentes, A. R. (2022). Estudio y optimización del efecto del mapeado de una ECU sobre el desempeño y emisiones generadas por un vehículo liviano evaluado en el Ciclo de Conducción de Riobamba. Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional, 7(7), 1698-1712.

Rokhim, A., Saleh, M., & Ryadin, F. (2023). The Influence of Programmable Engine Control Unit (ECU) on the Performance of the Honda CB150R Engine. JESS, 3(2), 30-40.

Sáinz Casas, D. (2016). Adaptación de un motor de combustión interna alternativo de gasolina para su funcionamiento con hidrógeno como combustible. Aplicaciones energéticas y de automoción.

Vinicio, N. M. M., Alexandra, J. M. D., Mero, C. M. L., & Barrezueta, M. F. G. (2023). Estimación del consumo de combustible en un vehículo Ford Explorer aplicando la técnica Ecodriving en la ciudad de Guayaquil. South Florida Journal of Development, 4(1), 520-535.