



*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*

*Study and optimization of the mapping effect of an ECU on the performance and emissions generated by a light vehicle evaluated in the Riobamba Driving Cycle*

*Estudo e otimização do efeito de mapeamento de uma ECU sobre o desempenho e as emissões geradas por um veículo leve avaliado no Ciclo de Condução Riobamba*

Paul Montufar Paz <sup>I</sup>  
[paul.montufar@esPOCH.edu.ec](mailto:paul.montufar@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-9062-8704>

Bryan Manya Ocaña <sup>II</sup>  
[bryan.manya@hotmail.com](mailto:bryan.manya@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-2952-8090>

José Santillán Yaulema <sup>III</sup>  
[jose.santillan@hotmail.com](mailto:jose.santillan@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-8793-1777>

Andrea Razo Cifuentes <sup>IV</sup>  
[arazo.istt@gmail.com](mailto:arazo.istt@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-1533-2054>

**Correspondencia:** [paul.montufar@esPOCH.edu.ec](mailto:paul.montufar@esPOCH.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de mayo de 2022 \* **Aceptado:** 12 de junio de 2022 \* **Publicado:** 24 de julio de 2022

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- II. Investigador independiente, Ecuador.
- III. Investigador independiente, Ecuador.
- IV. Instituto Superior Tecnológico Tungurahua, Ambato, Ecuador.

## Resumen

El presente estudio busca dar solución al problema al que se enfrentan los vehículos cuando son enviados con una programación estándar de la ECU a lugares cuya topografía y demás aspectos ambientales son diferentes fuertemente al sitio bajo el cuál se realizó el mapeado original de la computadora, en vista de que 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. El objetivo de la investigación fue modificar los parámetros de la inyección de combustible en el motor implementando una unidad de control programable, con el fin de evitar el consumo excesivo de combustible, basándonos en que los fabricantes de automóviles no realizan estudios de la zona en la cual va a funcionar el vehículo. Esta modificación tuvo como soporte los datos recopilados del funcionamiento del motor en rutas previamente establecidas dentro de la ciudad de Riobamba, dentro de dicha trayectoria se recopiló los datos obtenidos mediante un analizador de gases tomando en cuenta diferentes estados del motor para de esta forma determinar cuáles etapas son eficientes y cuáles no, de esta manera se obtuvo curvas de torque y potencia tanto antes y después de la modificación de los mapas de funcionamiento de la inyección electrónica del motor, para de esta manera analizar los resultados obtenidos. La unidad de control electrónica programable seleccionada fue Megasquirt 2 Pro, misma que se acoplo a los diferentes sensores y actuadores del sistema de inyección del vehículo, se utilizó el software TunerStudio MS para la modificación de los diferentes parámetros de funcionamiento para lograr el objetivo de una optimización del combustible. Como resultado se obtuvo la disminución de consumo de combustible de 0,265 a 0,1786 galones en el trascurso de la ruta y una reducción del 8 % en la potencia del motor, los datos que se obtuvieron permitieron realizar nuevos mapas para disminuir el consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes.

**Palabras Clave:** Unidad de control programable; tunerstudio ms (software); gestión electrónica; análisis de gases; tacógen-eradores; tráfico vehicular; emisiones contaminantes.

## Abstract

The present study seeks to solve the problem that vehicles face when they are sent with a standard ECU programming to places whose topography and other environmental aspects are strongly

different from the site under which the original computer mapping was carried out. Given that this can cause an unnecessary increase in consumption and emissions generated into the environment, the optimal thing will always be to consider an appropriate driving cycle, in such a way that it adjusts as closely as possible to the geography of application. The objective of the research was to modify the parameters of fuel injection in the engine by implementing a programmable control unit, in order to avoid excessive fuel consumption, based on the fact that car manufacturers do not carry out studies of the area in which which vehicle will run. This modification was supported by the data collected from the operation of the engine on routes previously established within the city of Riobamba, within said trajectory the data obtained was collected by means of a gas analyzer taking into account different states of the engine in order to determine which stages are efficient and which are not, in this way torque and power curves were obtained both before and after the modification of the operation maps of the electronic injection of the engine, in order to analyze the results obtained. The selected programmable electronic control unit was Megasquirt 2 Pro, which was coupled to the different sensors and actuators of the vehicle's injection system, the TunerStudio MS software was used to modify the different operating parameters to achieve the objective of a fuel optimization. As a result, a decrease in fuel consumption was obtained from 0.265 to 0.1786 gallons in the course of the route and an 8% reduction in engine power, the data obtained allowed new maps to be made to reduce fuel consumption. and polluting gas emissions.

**Keywords:** Programmable control unit; tunerstudio ms (software); electronic management; gas analysis; tachogenerators; Vehicular traffic; polluting emissions.

## Resumo

O presente estudo busca solucionar o problema que os veículos enfrentam quando são enviados com uma programação padrão da ECU para locais cuja topografia e outros aspectos ambientais são muito diferentes do local em que foi realizado o mapeamento computadorizado original, visto que isso pode causar um aumento desnecessário de consumos e emissões geradas no meio ambiente, o ideal será sempre considerar um ciclo de condução adequado, de forma que se ajuste o mais próximo possível à geografia de aplicação. O objetivo da pesquisa foi modificar os parâmetros de injeção de combustível no motor implementando uma unidade de controle programável, a fim de evitar o consumo excessivo de combustível, baseado no fato de que as montadoras não realizam estudos da área em que o veículo correrá. Esta modificação foi suportada pelos dados coletados a

partir do funcionamento do motor em rotas previamente estabelecidas dentro da cidade de Riobamba, dentro da referida trajetória os dados obtidos foram coletados por meio de um analisador de gases levando em consideração diferentes estados do motor a fim de determinar quais etapas são eficientes e quais não são, desta forma foram obtidas curvas de torque e potência antes e depois da modificação dos mapas de funcionamento da injeção eletrônica do motor, a fim de analisar os resultados obtidos. A unidade de controle eletrônico programável selecionada foi o Megasquirt 2 Pro, que foi acoplado aos diferentes sensores e atuadores do sistema de injeção do veículo, o software TunerStudio MS foi usado para modificar os diferentes parâmetros operacionais para atingir o objetivo de otimização de combustível. Como resultado, obteve-se uma diminuição no consumo de combustível de 0,265 para 0,1786 galões no decorrer do percurso e uma redução de 8% na potência do motor, os dados obtidos permitiram que novos mapas fossem feitos para reduzir o consumo de combustível e as emissões de gases poluentes.

**Palavras-chave:** Unidade de controle programável; tunerstudio ms (software); gestão eletrônica; análise de gases; tacogeradores; Tráfego de veículos; emissões poluentes.

## Introducción

En el patio automotor se encuentran vehículos cuyos sistemas no permiten llevar a cabo variaciones en el software de la computadora. Esto con el propósito de optimizar el rendimiento del vehículo, ya sea en el área de la potenciación o en situaciones en donde la gasolina es reemplazada por combustibles alternos. Los responsables en diseñar y almanenar las programaciones en la ECU de un vehículo toman datos generales de una región teniendo en cuenta diversas condiciones ambientales, desde altas temperaturas situadas en zonas costeras a temperaturas de congelación, presión atmosférica sobre el nivel del mar o ciudades situadas a considerables alturas. El actual proyecto técnico se orienta a la reprogramación de ECUs para la creación de un mapa que permita obtener parámetros más eficientes para el funcionamiento de un vehículo en la ciudad de Riobamba. Este estudio tiene como objetivo sustituir la programación de fábrica incorporada en la unidad de control programable del vehículo para de esta manera incorporar un mapa que nos permita optimizar las acciones del motor en un lugar en específico.

## Metodología

### Materiales y métodos

La etapa previa de la investigación consistió en realizar la búsqueda de información acerca de estudios previos relacionados con el tema de emisiones de gases vehiculares y reprogramación de centralitas de vehículos, técnicas, estrategias y herramientas para realizar la medición de gases y conseguir los factores de emisión de los vehículos.

### **Prueba dinámica bordo**

Para la realización del proyecto se empleó el método de ensayo de la prueba dinámica transitoria a bordo, para conocer las emisiones contaminantes del vehículo implementado en la investigación mientras se encuentra en condiciones reales de funcionamiento dentro de la topografía designada. Cabe recalcar que este tipo de prueba es la que nos brinda los mejores resultados en cuanto a la cuantificación de emisiones contaminantes vehiculares.



**Figura 1.** Representación de la prueba de análisis de gases dinámica a bordo.

### **Prueba en dinamómetro de rodillos**

Para la obtención de datos de potencia y torque del vehículo tanto antes como después de la modificación de los mapas de la centralita del motor sin tener que desmontar el motor es por medio de un rodillo dinamométrico ya que nos permite obtener datos de torque y potencia colocando el vehículo sobre dichos rodillos y midiendo sobre la rueda, dichas pruebas son necesarias para verificar si hay un beneficio o no después del cambio.



**Figura 2.** Vehículo prueba sobre rodillo dinamométrico.

### **Instrumentación**

Para la obtención de datos fue necesario implementar diferentes instrumentos de recolección, mismos que describiré a continuación: Analizador de Gases compacto, dicho instrumento nos permite analizar de manera muy precisa los porcentajes de compuestos que expulsa un vehículo después del proceso de combustión por parte del motor (CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO), el dispositivo ELM327 es un conector OBD2 con el cual se puede realizar un diagnóstico completo del vehículo, verificar errores grabados en la centralita, registrar y monitorear ciertos parámetros de funcionamiento de los diferentes sensores y actuadores del vehículo, mediante el uso de KEES se realizó la extracción tanto del mapa de encendido como de inyección de la centralita de la ECU. Para suministrar energía a los diferentes instrumentos mientras se realiza las pruebas dinámicas vehículo se utilizó un convertor de voltaje, por último, se utilizó una computadora portátil debido a la necesidad de una interfaz para visualizar y almacenar la información que va obteniendo el analizador de gases.

### **Vehículo de prueba**

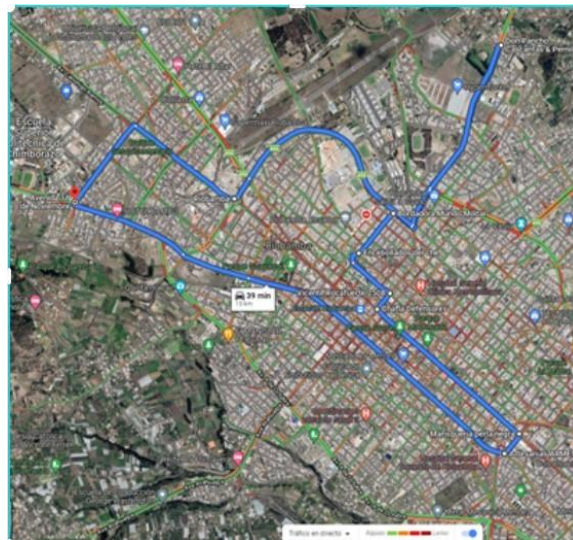
Después de hacer un estudio del patio automotor del país se tomó para el estudio un vehículo que cuente con características mecánicas utilizadas en la mayoría de vehículos, mismas que detallaremos a continuación: se tomó un vehículo que posea 4 cilindros, 8 válvulas, tracción delantera y caja de cambios manual, dicho vehículo debe poseer red can y que cuente con los protocolos de comunicación necesarios para conectarse con el dispositivo OBDII.

**Tabla 1.** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Marca	Volkswagen
Modelo	Polo
Version	2.0 Highline
Potencia	116 cv (85 kw - 114 hp)
Motor	4 cilindros (motor en línea)
Cilindrada	1984 cm3
Distribucion	8 válvulas
Par maximo	85 Nm (2400 tr/min)
Trransmision	Tracción delantera, caja de cambios manual
Relacion consumo / potencia	14.9 cv/L

### Selección de la ruta de prueba

Un problema evidente es el considerable aumento del parque automotor ya que se estima que por las calles y avenidas de la ciudad transitan 50.000 vehículos diarios, generando caos y congestión en varias zonas, para definir la ruta se incluyó lugares de mayor afluencia y pendientes pronunciadas, la ruta establecida circula por dependencias municipales y centros comerciales, centros educativos, entidades financieras, mercados, templos religiosos.



**Figura 3.** Ruta de prueba en ciudad.

### **Selección de la unidad de control programable**

Una vez que se obtienen los datos de los vehículos, de una amplia gama de unidades de control programable se tomó la decisión de adquirir una de marca Megasquirt por la factibilidad que esta tiene para el trabajo con los sensores y actuadores de los vehículos.

### **Protocolo de medición**

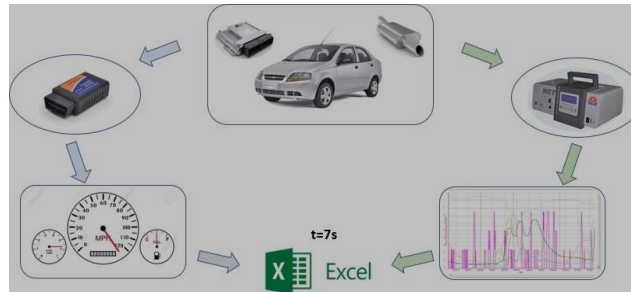
Para realizar la conexión de equipos se necesitó seguir un protocolo para que los mismos tengan un correcto funcionamiento durante el transcurso de la prueba y así evitar interrupciones en la medición. La instalación de los equipos se la realiza con el motor apagado para evitar problemas eléctricos, se conecta el inversor de voltaje a la batería y se lo ubica en un lugar adecuado dentro del vehículo, luego se conecta a la fuente de energía los diferentes equipos, como también se conecta la sonda del analizador de gases en el tubo de escape. Antes de realizar la medición se inspecciona el estado de los diferentes sistemas del vehículo, verificando que no existan fugas en el sistema de escape, fugas de lubricante, líquidos, conductos, etc. Además, se verifica que se cumplan con las condiciones climáticas aceptables. Una vez realizado este proceso se enciende el motor y se verifica el funcionamiento correcto de los equipos. Para iniciar la medición se pone a cero los equipos y dispositivos, luego se ubica con el vehículo en el punto de inicio del recorrido, y mientras el analizador de gases se encuentra en fase de calentamiento se realiza la conexión del dispositivo OBD2, y se inicia el registro de datos, tomando en cuenta de realizar correctamente los cambios de marcha y detenerse únicamente cuando el tráfico y las señales de tránsito lo ameriten [3].

### **Sincronización de datos**

Una vez realizado los ensayos se procedió a sincronizar los datos del analizador de gases y el dispositivo OBDII. La información almacenada de ambos dispositivos se puede visualizar en el programa Excel de Windows. Cabe resaltar que ambos dispositivos utilizados no cuentan con el mismo tiempo de respuesta para registrar los datos. El dispositivo OBDII toma los datos de funcionamiento del vehículo de forma casi instantánea, a diferencia del analizador de gases que se tarda en tomar los gases de escape con la sonda, para luego conducirlos por una manguera y llevarlos hacia el interior del equipo para que sean evaluados los niveles de cada uno de los componentes emitidos por el tubo de escape. Es por ello que existe un pequeño desfase de tiempo

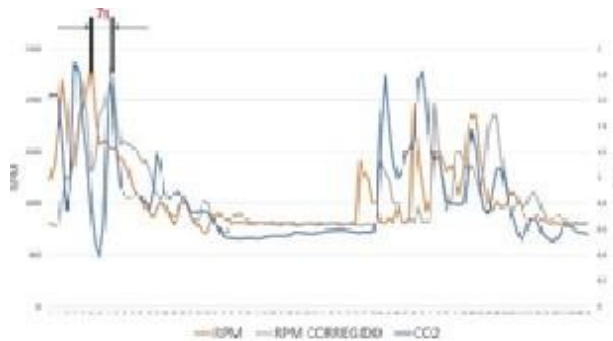


y para ello de los archivos de ambos dispositivos se tomaron los datos de CO2 del analizador de gases y los datos de RPM del dispositivo OBDII y se los lleva al programa minitab para realizar una correlación de datos.



**Figura 4.** Diagrama del proceso de obtención y procesamiento de datos.

Una vez realizado este proceso se verificó que existe un desfase de tiempo de aproximadamente 7 segundos entre ambos archivos, se muestra en la figura 5 Y se procedió a emparejar los datos de ambos dispositivos tomando en cuenta este desfase de tiempo, finalmente se realizó un filtrado de las dos bases de datos con el fin de eliminar celdas vacías o valores atípicos e inconsistentes que se producen cuando el analizador de gases se restablece o existe alguna interrupción en la medición o el manejo del vehículo. y finalmente se selecciona los datos necesarios para el análisis.



**Figura 5.** Diagrama ilustrativo del desfase de tiempo que existe entre ambos dispositivos.

### Procedimiento y análisis de información

Como se puede apreciar en la Tabla 3 el analizador de gases presenta los niveles de CO y CO<sub>2</sub> en porcentaje de volumen (%vol) y los niveles de HC y NO<sub>x</sub> en partículas por millón (ppm). Es por eso que para el procesamiento y análisis de datos se debió transformar todos los valores de emisiones en g/km que es un factor de emisión importante para evaluar emisiones con lo que se puede hacer un correcto análisis,

esto se lo realizó mediante un método de balance de carbonos que, a partir de un modelo simplificado de la combustión, se han determinado unas fórmulas con las que nos ayudó a la transformación de datos en factores de emisión de los vehículos sometidos a prueba. El mecanismo de balance de carbono se obtiene realizando el balance de la ecuación de 1, que es el balance de masa para la combustión, para determinar

la relación estequiométrica que se encuentra presente de forma instantánea en la mezcla. Los coeficientes (B, D, E, F, G, I, J, L) se los obtiene del analizador de gases, a partir de estos datos se realiza el balance químico de la ecuación para la relación aire combustible de la mezcla, utilizando el valor de consumo de combustible instantáneo es posible determinar los factores de emisión de cada uno de los gases [5].  $A.C_8H_{18} + K.(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow B.CO_2 + D.H_2O + E.N_2 + F.CO + G.C_3H_6 + I.O_2 + J.NO + L.NO_2$  (1)

### Resultados

Ya concluido los ensayos realizados en un vehículo con una ECU de serie y después reemplazar por una Ecu programable en un circuito de la ciudad de Riobamba, se precede a realizar el análisis de los datos obtenidos del analizador de gases y del escáner automotriz ELM327, para lo cual es necesario unir los datos de una manera sincronizada. El formato en el cual se almacena los datos es CSV, para visualizar dichos datos nos apoyamos en el software de Office Excel. En la siguiente tabla podemos observar los valores promedio obtenidos mediante el uso del escáner ELM327 en el ciclo de conducción de Riobamba como ejemplo tenemos las revoluciones por minuto de motor durante el trayecto, la temperatura de funcionamiento del motor en el ciclo de conducción, así como también la distancia de trayecto y el tiempo durante el ciclo de conducción.

Tabla II. RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL ADAPTADOR ELM327

Prueba	Tiempo de prueba (s)	Velocidad	Revoluciones del motor	Temperatura del refrigerante
Primera antes de programable	2181	24	1483	92
Primera después de programable	264	20,33	693	92,22
Segunda antes de programable	3179	20,50	1350,58	92,17
Segunda después de programable	2172	20,35	1418,5	92,22
Tercera antes de programable	2191	20,89	1443	92,13
Tercera después de programable	2174	20,54	177,95	92,27

En la tabla a continuación observamos los valores que se obtuvo con el analizador de gases a los cuales se le realizó los cálculos de promedio para comparar el comportamiento del motor del auto antes de instalar la ECU programable y después de haber instalado la ECU programable.

Tabla III. RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL ANALIZADOR DE GASES

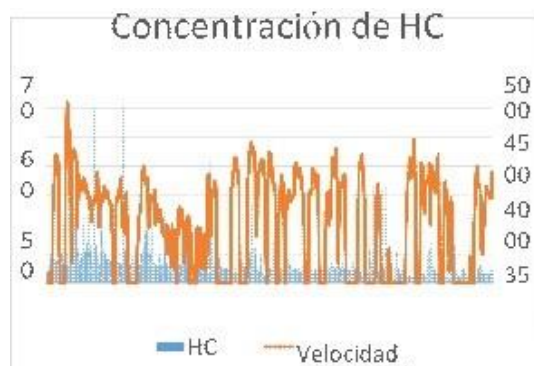
Prueba	CO %vol	CO2 %vol	HC ppm	NO ppm	O2
Primera antes de programable	0,8790	143	441	91	1,24
Primera de programable	0,1610	139,1	30	0	0,29
Segunda antes de programable	1,1035	137	409	-786	1,22
Segunda de programable	0,1595	143,5	20	4750	0,2300
Tercera antes de programable	0,7580	133,60	272	8844	1,0200
Tercera de programable	0,1750	139,15	59	7690	0,9350

Otro factor a analizar es la concentración que existe de hidrocarburos con respecto a la velocidad del vehículo en la prueba antes de la instalación de la ECU programable.

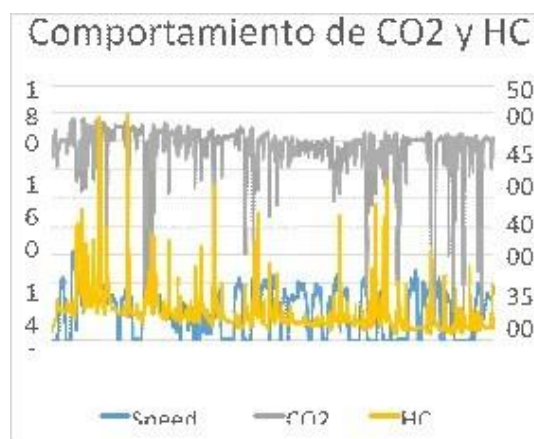
El comportamiento del dióxido de carbono al igual que de los hidrocarburos es muy importante ya que podemos visualizar el cambio en el comportamiento al aumentar las revoluciones del motor, claramente observamos que al aumentar las revoluciones el porcentaje de dióxido de carbono aumenta y al contrario el de hidrocarburos tiende a disminuir.

#### A. Análisis de torque potencia

En lo que respecta a potencia de motor, potencia de transmisión, torque y potencia obtenidas, observamos que con la centralita original del automóvil obtuvimos una potencia



**Figura 6.** Concentración de emisiones de CO.



**Figura 7.** Concentración de emisiones de CO<sub>2</sub> y HC con respecto a la velocidad vehicular antes de la instalación de la ECU.

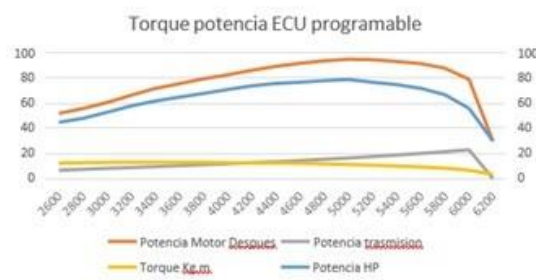
Máxima de 83 hp y una potencia motora de 98,1 a una altura de 2800 metros sobre el nivel del mar, mientras que después de la implementación de la Centralita programable se obtuvo una potencia máxima de 79 hp y una potencia motora máxima de 95,2 hp.



**Figura 8.** Torque y potencia antes de la implementación de la ECU programable.

En el siguiente grafico comparativo se observa de mejor manera el desempeño del vehículo analizando principalmente los parámetros de potencia, potencia motora, potencia en la transmisión y torque teniendo como resultados un de- crecimiento en potencia, pero un aumento en potencia de transmisión y torque.

Se puede observar el porcentaje de va-riación con las dos.



**Figura 9.** Torque y potencia después de la implementación de la ECU pro- gramable.



**Figura 10.** Comparación de parámetros.

ECU's, nos de-muestra que en el parámetro de potencia hp la ECU original tiene 6% más hp que la ECU programable, el parámetro de potencia motora la ECU original tiene 8% más de hp mientras que la ECU programable tiene 4% más potencia en la transmisión y 5% más torque que la ECU original.



**Figura 11.** Comparación de gráficas.

## Conclusiones

- Los datos obtenidos usando el equipo adecuado en este caso un kees v2 con el software desarrollado por Alientech Ksuite nos permitió obtener los datos de los mapas originales de la ECU para poder tener referencia y mediante la instalación de una ECU programable pudimos realizar un nuevo mapa para disminuir el consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes.
- El análisis realizado de los parámetros del motor mediante el uso de un dinamómetro despreciando el factor que corrección de altura para obtener los datos adecuados del vehículo a la altura deseada para los análisis obtuvimos que al momento de instalar la ECU programable tiene una disminución de potencia motor del 8% y un aumento de potencia de trasmisión del 4%.
- Al obtener una información adecuada de los parámetros que influyen en el funcionamiento del motor verificamos que existe la posibilidad de generar un mapa tridimensional para disminuir tanto el consumo de combustible y la emanación de gases contaminantes.
- Con el presente trabajo cumplimos la meta de optimizar el mapa original de gestión electrónica del motor, estos parámetros se pueden utilizar como base para la implementación en vehículos que prestan servicio público ya que estos vehículos tienen una mayor trayectoria a lo largo del día y por lo tanto son los vehículos que más contaminan.

## Referencias

1. Moral, J. (2019). Autopista.es. [En línea] 2019. [https://www.autopista.es/noticias-motor/todos-los-coches-diesel-y-gasolina-que-no-fallaran-ya-cumplen-las-emisiones-euro-6d-de-2020\\_154237\\_102.html](https://www.autopista.es/noticias-motor/todos-los-coches-diesel-y-gasolina-que-no-fallaran-ya-cumplen-las-emisiones-euro-6d-de-2020_154237_102.html).
2. Llanes-Cedeño, E., y otros. (2018). Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador. Scielo. Vol. 9. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.201>
3. Alban, E., & López, J. (2010). Desarrollo y validación de método para la determinación de factores de emisión vehicular mediante pruebas a bordo en la ciudad de Quito (Tesis). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. 2010. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2514>.
4. Rocha-Hoyos, J., Zambrano, D., & Portilla, A.(2018). Análisis de Gases del Motor de un Vehículo a través de Pruebas Estáticas y Dinámicas. Ciencia UNEMI. (Vol. 11, pp. 97-108). <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol11iss28.2018pp97-108p>
5. Montúfar-Paz, P., Palmay, P., & Freire, R. (2020). Caracterización de los óxidos de nitrógeno emitido por motores de combustión interna en condiciones reales de trabajo. Polo del Conocimiento. (Vol. 5, pp. 254-270)