

## MODIFICACIÓN DE LOS MAPAS TRIDIMENSIONALES DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE, AVANCE AL ENCENDIDO PARA AJUSTAR LA POTENCIA Y TORQUE EN UN MCI.

### MODIFICATION OF THREE-DIMENSIONAL FUEL INJECTION MAPS, FEED FORWARD TO ADJUST POWER AND TORQUE IN AN MCI.

Stefania Amaya Sandoval<sup>1</sup>, Alex Villarreal Prado<sup>2</sup>, Alexandra Corral Díaz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Quijano y Ordoñez y Marques de Maenza s/n.

e – mail: smamaya@espe.edu.ec<sup>1</sup>, asvillarreal1@espe.edu.ec<sup>2</sup>, macorral@espe.edu.ec<sup>3</sup>

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, VII Edición 2018, No. 9 (14)

#### RESUMEN

Los motores de combustión interna (MCI) modernos son controlados por una unidad de control electrónica (ECU), y el rendimiento de la potencia del motor se ve afectado significativamente por la selección tanto de los parámetros de la ECU como de los componentes del motor. Este artículo se presenta un nuevo método de ajuste de rendimiento de la potencia y torque del motor mediante el método de mapeo de inyección de combustible y avance al encendido sin la necesidad de realizar cambios mecánicos en el motor, y a la vez permitiendo un ahorro de combustible. El método de mapeo, es realizado mediante la modificación de los mismos en tiempo real permitiendo el control de la inyección y de avance de encendido, con el fin de aumentar los parámetros característicos del motor, para lo cual se realiza pruebas experimentales como el aumento - disminución de porcentaje de eficiencia volumétrica - grados de avance al encendido con el fin de obtener una configuración óptima del motor.

#### Palabras clave:

Avance al encendido, ECU programable, inyección de combustible, mapeo, potencia, torque.

#### ABSTRACT

*Modern internal combustion engines (MCI) are controlled by an electronic control unit (ECU), and the performance of the engine power is significantly affected by the selection of both the ECU parameters and the engine components. This article presents a new method of adjusting engine power and torque performance by the method of mapping fuel injection and advance to ignition without the need for mechanical changes in the engine, while allowing fuel savings. The mapping method is performed by modifying them in real time allowing the control of the injection and ignition advance, in order to increase the parameters of the motor, for which experimental tests such as increase - decrease of volumetric efficiency percentage - degrees of advance to ignition in order to obtain optimum engine configuration.*

#### Keywords:

Advance to ignition, programmable ECU, fuel injection, mapping, power, torque.

## 1. INTRODUCCIÓN

El rendimiento de la potencia del motor se ve afectado de forma significativa por el ajuste de los parámetros de control en la ECU y la selección de las partes del motor. El ajuste del rendimiento de la potencia del motor requiere, por lo tanto, un ajuste o modificación de los parámetros de la ECU y de componentes del motor para obtener un rendimiento óptimo basado en los requisitos. En la práctica, el ajuste del rendimiento de potencia del motor del automóvil implica un compromiso entre el par máximo del motor, el consumo mínimo de combustible y las emisiones reducidas. [1]

Los parámetros de la ECU, como el tiempo de inyección de combustible, el tiempo de encendido, se clasifican en variables numéricas. Las partes de motor se refieren a piezas opcionales o de rendimiento tales como sistemas de admisión, sistemas de encendido, sistemas de escape, árbol de levas y otros. Típicamente, las piezas del motor son objetos complicados y no ajustables, pero pueden ser sustituidos por otras piezas de alto rendimiento, en este caso se omite dichos cambios, debido a que se utilice el método de mapeo para la optimización del motor sin cambios mecánicos. [1]

Al existir muy poca investigación para la selección de partes de motor, pero los estudios sobre la configuración de parámetros de ECU (también llamada calibración de ECU) están disponibles. Esta situación existe porque todos los estudios anteriores han asumido que las piezas del motor fueron elegidas perfectamente por el fabricante. De hecho, la selección de piezas es muy importante para el rendimiento de la potencia del motor, sin embargo, es muy difícil llegar a una configuración óptima. Por otra parte, no ha habido discusión comprensiva de la integración de la selección de la parte del motor con la calibración de la ECU, aunque estos dos factores son muy importantes en problemas de optimización de potencia del motor. [1]

Tradicionalmente, la calibración de la ECU se ha venido realizando empíricamente a través de un dinamómetro porque el motor del automóvil es un sistema integrado de sensores y procesamiento de señales, sistemas de control termo fluido, mecánico e informático. La relación entre los parámetros de entrada y salida de

un motor automotriz controlado electrónicamente forma una función no lineal multivariable compleja que es muy difícil de determinar. Por lo tanto, en la práctica actual, el ingeniero primero determina una configuración del motor basada en la experiencia, datos pasados y simples ecuaciones matemáticas, y el motor se ejecuta entonces en un dinamómetro para probar su rendimiento real. Si el rendimiento del motor es pobre, el ingeniero ajusta los ajustes y repite el procedimiento hasta que el rendimiento sea satisfactorio.

## 2. MÉTODOS Y MATERIALES

En la figura 1, se presenta la implementación de ECU programable con la cual se realizó el método de mapeo mediante la conexión en red de computadoras automotrices, permitiendo una comunicación entre la ECU programable y el ordenador portátil mediante un adaptador de cable serial RS232 permitiendo realizar modificaciones de parámetros como inyección de combustible y avance al encendido, para obtener mejor rendimiento del motor en tiempo real.

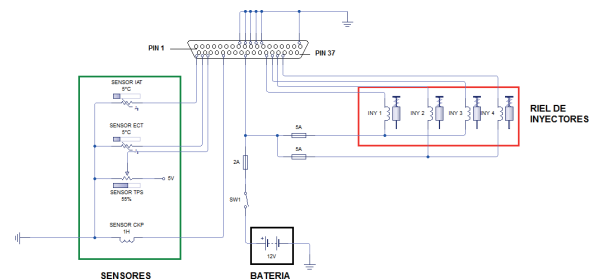


Figura 1. Diagrama de conexión de ECU MegaSquirt

### Avance al encendido

La posición del cigüeñal justo donde el contacto inicia una chispa en la bujía. Siempre se hace referencia a la posición del cigüeñal en grados. Dado que hay 360° en una revolución del cigüeñal, media revolución son 180°, el avance se especifica como “antes del punto muerto superior” (APMS). Esto significa el número de grados del cigüeñal donde salta chispa. El avance de encendido es necesario porque el combustible y el aire gastan unas milésimas de segundo para quemar. [2]

Los valores típicos oscilan entre 5° APMS en vacío a unos 35° con el acelerador totalmente abierto (WOT) y, posiblemente, aún más en condiciones de crucero. Hay un punto óptimo en el movimiento del pistón

cuando los gases de combustión alcancen su pico de presión (generalmente alrededor de 17° APMS), por lo que se necesita iniciar la ignición adelantada para obtener el máximo presión donde desee (en este caso 36°-17° = 19° APMS)”.

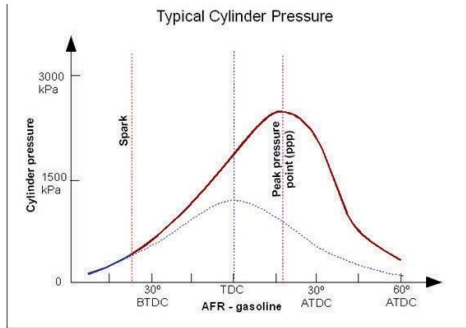


Figura 2. Presión en el cilindro [2]

El tiempo de avance es mínimo cuando el vehículo se encuentra a régimen bajo, porque el pistón se mueve lentamente, y el combustible tiene tiempo para quemar cerca de PMS. A velocidades más altas, debe ser adelantado. En algún momento (por lo general cerca de 3000 rpm) la turbulencia asegura una combustión rápida y no se necesita más avance. Los detalles de cómo optimizar el avance del encendido se ve afectado por diversos factores, podría llenar un gran volumen, e incluyen temas relevantes como el tamaño del válvula y la forma de cámara, lo agitado de la mezcla, y una miríada de otras cosas. Si el pico de presión llega demasiado pronto, el resultado puede ser que la explosión se inflama produciendo un fenómeno llamado “detonación” y puede ser muy destructivo, además la chispa y el combustible interactúan en sintonía.

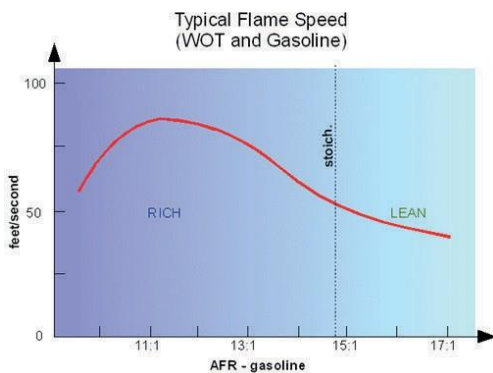


Figura 3. Velocidad de llama [2]

Además de ser programada correctamente, la chispa se debe ser de suficiente voltaje para saltar la distancia entre electrodos, y tener la energía suficiente para mantener la chispa suficiente como para iniciar la

combustión.

### Optimización de combustible

Para ajustar la cantidad de combustible y corregir la condición pobre, se incrementa el valor del parámetro (ya sea en % o milisegundos). El parámetro que se quiere aumentar pueden estar en la tabla enriquecimiento de aceleración VE (Eficiencia Volumétrica), el enriquecimiento de calentamiento, o el ancho de pulso de arranque, entre otros.

El parámetro que se modifica dependiendo de las condiciones bajo las que se encuentra el motor. Por el contrario, si el motor posee una mezcla rica, se disminuye el parámetro correspondiente.

Para obtener la máxima potencia, se desea una mezcla más rica que estequiométrica. Esto se debe a que la salida del motor esta principalmente limitado por la cantidad de aire que entra en los cilindros.

Eso, a su vez, limita la cantidad de combustible que puede quemar. Sin embargo, para asegurarse de que todo el oxígeno se consume, se proporciona una mezcla más rica que la estequiométrica.

Para un motor de aspiración natural, aquí se tiene un ejemplo de tabla AFR:

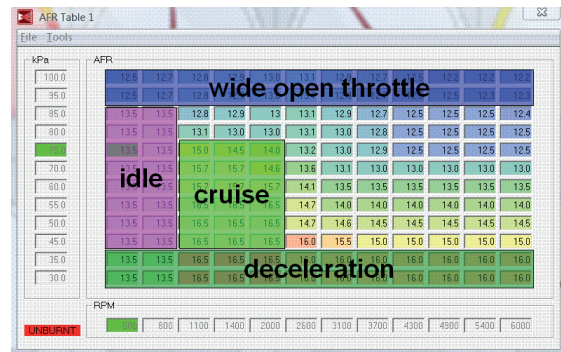


Figura 4. Tabla AFR [2]

Típicamente, los motores de aspiración natural quieren la mezcla ligeramente más rica en el par máximo que en la potencia pico. Así que en acelerador a fondo “WOT” a 100 kPa es ligeramente más fino a bajas rpm.

El área alrededor de 1100 a 2000 rpm y 45 a 75 kPa es “cruce” (las bajas rpm es el resultado de una velocidad de transmisión larga). Mezclas más finas aquí ayudan a la economía de combustible, y evita la carbonilla y residuos en escape.

La zona comprendida entre 500 y 800 rpm está por debajo de 85 kPa y por encima de 45 kPa está inactivo. 13.5:1 da el menor MAP kPa, y por lo tanto el más eficiente de inactividad en este motor (aunque este AFR no sería adecuado para un motor con control de emisiones).

Se logra la calibración mediante el software dedicado en este caso TunerStudio donde permite la variación de los parámetros de control, brindando un mejor desempeño del motor, en tiempo real.

Para lo cual es recomendable para la calibración de ECU partir de datos bases del motor, con el cual se podrá realizar modificaciones con variación de 30 % de tolerancia con el fin que el motor trabaje de forma óptima sin fallas y sin realizar cambios mecánicos en el mismo.

MegaSquirt es el hardware a emplear el que permite el control de sensores en paralelo con la ECU estándar del motor, lo que ayuda a un mayor control de cada sensor y sin realizar modificaciones en el motor. MegaSquirt I emplea un sensor de presión interna de calibración de 250 KPa. Para las modificaciones a realizar en los mapas tridimensionales es necesario conocer la carga del motor, las revoluciones por minuto, y sea el caso de porcentaje de inyección de combustible o grados de avance.

En las modificaciones de mapas se posee términos técnicos, para ello nos basaremos a la tabla 1 de resumen de síntomas y acciones de ajuste. Será de gran ayuda para un entendimiento de ajustes de mapas tridimensionales.

Tabla 1. Síntomas y acciones de ajuste

AJUSTE	COMBUSTIBLE	CHISPA
Necesidad de reducir	Muy rico:	Muy avanzada:
	Humo negro en escape Lenta respuesta del acelerador Potencia reducida "Tiznado" negro electrodos de bujía Bajo consumo de combustible Combustible en el aceite Desgaste del motor	Detonaciones Tarda en arrancar Aumento de las emisiones

En su punto	Buena respuesta del acelerador Potencia máxima Electrodos de la bujía de color crema	Potencia máxima, Sin detonación, Buena economía de combustible
Necesidad de aumentar	Muy pobre:  "Tos" explosiones en la admisión  Poca potencia Electrodos de bujía blancos  Posible detonación Pistón quemado (carga alta)	Demasiado retraso:  Sobrecalentamiento Poca potencia  El escape se enciende al rojo vivo

### Mapa tridimensional de inyección de combustible.

Al momento de realizar la reprogramación en la ECU se encontró con una base de datos conocido como archivo inicial, con el cual se realizó las comparaciones de las próximas reprogramaciones, con el fin de determinar variantes de optimización.

Los valores representados en las cuadrículas son representados en forma porcentual; es decir nos indica la cantidad de combustible inyectado y es variado según sea la necesidad. Se determinó en el mapa base la inyección de combustible en la posición ralenti es de 49 % de inyección de combustible; con respecto a dicho valor se podrá realizar una variación de 30%, con el fin de no producir daños en el motor. El mapa de inyección se encuentra determinado por el número de revoluciones del motor (rpm), depresión del sensor MAP (Kpa) y carga de combustible (%).

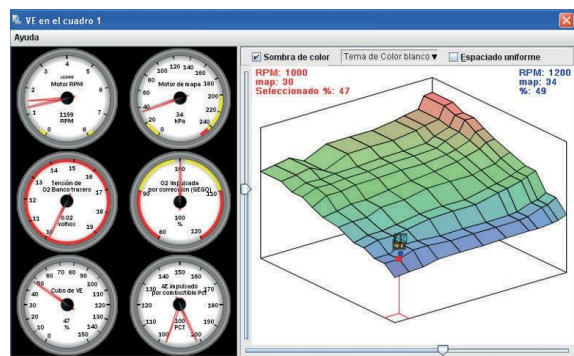


Figura 5. Mapa tridimensional de inyección de combustible

### Mapa tridimensional de avance de encendido.

Con respecto al mapa de encendido de igual manera que el mapa de inyección, los datos bases son los que permiten realizar comparaciones de desempeño. En el mapa de avance de encendido se encuentra un ángulo menos en revoluciones bajas debido a que el pistón se mueve lentamente y el combustible puede asegurar su quemado en el PMS, por ende entre mayor incremento de rpm será mayor el ángulo de encendido; tomando en cuenta que un avance de encendido puede tomar valores desde 5° en ralentí hasta 35° con el acelerador netamente abierto.

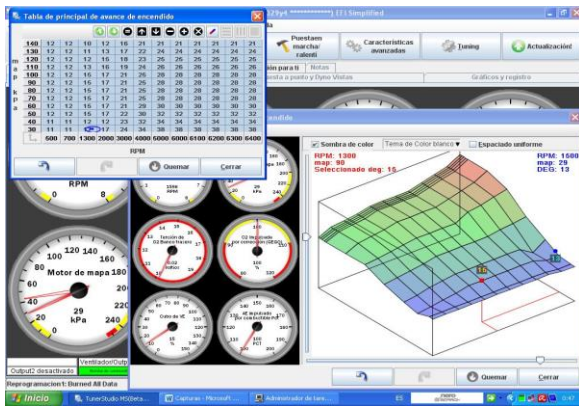


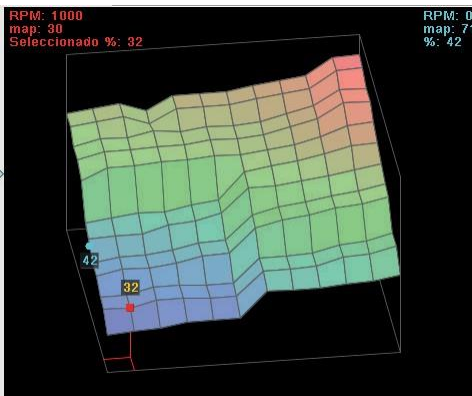
Figura 6. Mapa y tabla de avance de encendido

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, se observó que entre mayor se encuentre la depresión del sensor MAP se necesitara menor ángulo de encendido.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

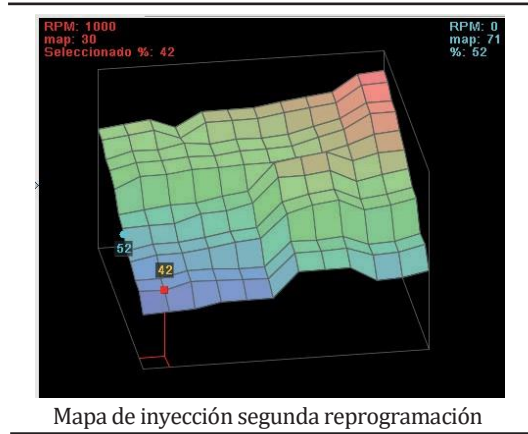
Tabla 2. Comparación de mapas de inyección

Comparación de mapas tridimensionales de inyección



Mapa de inyección primera reprogramación

Partiendo del mapa base, se visualiza que el motor posee una inyección de combustible excesiva indicado que existe una mezcla rica por lo cual se genera humo negro y exceso de consumo de combustible, por lo cual es recomendable disminuir, con el fin de cada parámetro del motor indique buen desempeño, en el consumo de combustible se verifica el cambio mediante el panel de control donde existe una reducción de 0,1 MPG.



Mapa de inyección segunda reprogramación

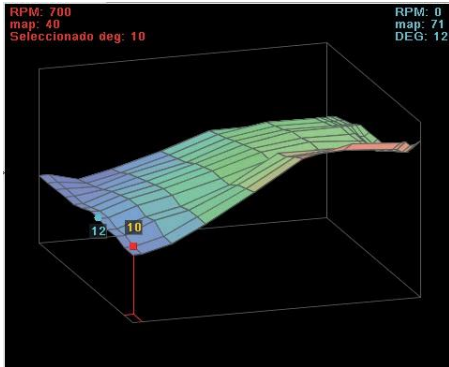
Observando la distribución de colores en el mapa de inyección se visualiza una diferencia entre las zonas de baja velocidad y alta velocidad, en el primer caso se disminuyó 15% de inyección de combustible generando un área mayor de valores mínimos de inyección con respecto a la segunda reprogramación.

Al realizar la disminución de inyección de combustible, de igual forma el motor no tiende a llegar a altas revoluciones por minutos, en el caso de la primera reprogramación existe menor desarrollo del motor donde las RPM de mayor alcance es de 3800 rpm, las mismas que no permiten un desempeño óptimo del motor debido a que con el mapa base la velocidad máxima es de 5000 rpm.

Al momento de realizar los cambios se identifica que el motor tiende a poseer una desaceleración; por lo cual es recomendable verificar el avance al encendido, para que exista una combustión completa.

Tabla 3. Comparación de mapas de ignición.

Comparación de mapas tridimensionales de ignición

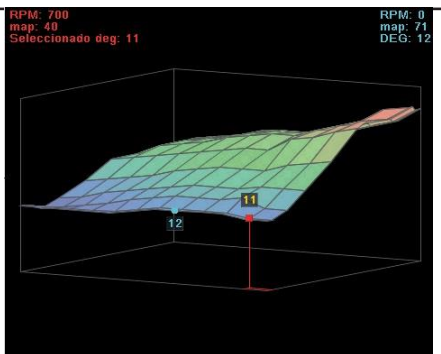


Primera reprogramación

En la tabla 3, se visualiza un leve incremento del avance al encendido debido a que el motor no posee carga por lo tanto no es importante que el motor tienda a acelerar, sino que obtenga un ralentí suave de forma estable, este cambio de parámetro también es idóneo cuando se requiere realizar cambios de marcha por lo que es factible realizar una disminución del avance.

Entre las primeras celdas existe el aumento en el caso de 1° en la primera reprogramación y 2° en la segunda, se realizó el aumento en la sección donde el motor trabaja en ralentí para evitar que se apague, y en velocidades mayores se mantiene el valor inicial debido a que no posee carga el motor.

Las modificaciones realizadas indican un cambio uniforme y suave del mapa permitiendo que el motor tenga un buen desempeño, y no exista detonación en la combustión.



Segunda reprogramación

En la primera reprogramación en las celdas seleccionadas viene a ser ocupada por una inyección mínima de combustible se realizó un adelanto en el mapa de ignición para compensar la mezcla y que el

motor no produzca ineficiencia.

En la segunda reprogramación se visualiza el área de mejor desempeño del motor se ha incrementado para compensar el cambio es necesario el incremento del avance de encendido para que exista una combustión completa de la mezcla.

Mediante las reprogramaciones, se puede concluir que la más óptima del motor es la segunda debido a que genera un ahorro de combustible, el motor posee una óptima respuesta del acelerador la combustión no genera detonación.

#### 4. CONCLUSIONES

- Se propone un método de calibración de ECU programables para la modificación de parámetros de control y la optimización del motor permitiendo incrementar la potencia y torque del motor. Para dicho método es necesario la manipulación de los valores de inyección de combustible y avance al encendido para determinar la óptima reprogramación adecuada del motor.

- El uso de las unidades de control electrónico posee grandes versatilidades según el usuario lo necesite, en el campo deportivo son empleadas por las facilidades de modificación de los distintos parámetros de control, mientras el motor se encuentra funcionando, con el fin de obtener un desempeño óptimo del motor, permitiendo el ahorro de combustible y generando mayor potencia y torque del motor, según la carga de mismo.

- La segunda reprogramación es la idónea para el motor, debido que existe una respuesta óptima del acelerador, mejor desarrollo del motor con una combustión limpia, el cual se redujo en un 25% la inyección de combustible debido a la presencia de una mezcla excesivamente rica en datos iniciales, lo cual se observaba la presencia de humo negro el avance al encendido se incrementó 2° obteniendo una potencia máxima, bajo consumo de combustible; se realizó dicha modificación relacionada con datos bases en los cuales era notorio detonación en la combustión y generaba emisiones de gases excesivos.

## 5. REFERENCIAS

- [1] Pan Kin , W., Lap Mou, T., & Ke, L. (2012). Automotive engine power performance tuning under numerical and nominal data.
- [2] Ilich corp. (15 de Abril de 2015). Megachorro. Recuperado el 23 de junio de 2017, de <https://megachorro.blogspot.com/2015/04/principios-optimizacion-de-mapas-de.html>
- [3] Dickinson, P., & Shenton, A. (2009). Dynamic calibration of fuelling in the PFI SI engine. *Control Engineerin Practice*, 26-38.
- [4] Kettunen, T. (2008). Megasquirt-Moottorinhjaimen Ja Suihkutusyksikön Asennus . Tampereen ammattikorkeakoulu, 5-30.
- [5] Kruse, T., Kurz, S., & Lang, T. (2010). Modern Statistical Modeling and Evolutionary Optimization Methods for the broad use in ECU calibration. (Elsevier, Ed.) *IFAC Proceedings Volumes*, 43(7), 739-743. *Control Engineering Practice*, 20(3), 300-314.
- [6] Saerens, B., Vandersteen, J., Persoons, T., Swevers, J., Dielh, M., & Van den Bulck, E. (2009). Minimization of the fuel consumption of a gasoline engine using dynamic optimization. *Applied energy*, 1582-1588.
- [7] Tian, S., Liu , Y., Xia, W.,Lli, J., & Yang, M. (2005). Advanced ECU Software Development Method for Fuel Cell Systems\*. *Tsinghua Science & Technology*, 10(5), 610-617.
- [8] Wu, B., Filip, Z., Prucka, R., Kramer, D., & Ohl, g. (2007). A simulation-based approach for developing optimal calibrations for engines with variable valve actuation. *Oil & Gas Science and Technology-Revue de l'IFP*, 539-553.

[9] Amaya, S., & Villarreal, A. (2017). Repositorio ESPE. Investigación de la influencia del uso de software dedicado en la reprogramación en red para el mapeo de le ECU programable en el motor Peugeot 407

## 6. BIOGRAFÍA



<sup>2</sup>Stefania Amaya Sandoval, nació en Latacunga, Ecuador, es Ingeniera Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, presta asesoramiento en Mecánica y Electrónica del automóvil, Docente en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.



<sup>3</sup>Alex Villarreal Prado, nació en Tulcán, Ecuador, es Ingeniero Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, presta asesoramiento en Mecánica y Electrónica de automóviles, Docente en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.



<sup>3</sup>Alexandra Corral Díaz, Ingeniera en Sistemas, Magister en Software, actualmente desempeña actividades de Docente tiempo parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

### REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	17 septiembre 2018
Fecha aceptación	10 de noviembre 2018