

## Programación de los mapas de inyección de combustible y de encendido para mejorar el desempeño del motor kawasaki zx-6r.

### Programming the fuel injection and ignition maps to improve the performance of the kawasaki zx-6r engine.

Byron Buitrón García<sup>1</sup>, Daniel Narváez Téran<sup>2</sup>  
 ASIAUTO – KIA DEL ECUADOR<sup>1</sup>, IMBAUTO - HYUNDAI DEL ECUADOR<sup>2</sup>

Correspondencia Autores: [gbuitron@asiauto.com.ec](mailto:gbuitron@asiauto.com.ec), [daniel.narvaez@imbauto.com](mailto:daniel.narvaez@imbauto.com)

Recibido: 10 de septiembre 2022, Publicado: 18 de diciembre de 2022

**Resumen—** La investigación tiene como objetivo presentar información experimental relevante acerca del mapeo electrónico de inyección de combustible y encendido, considera los parámetros, característicos del motor que permiten realizar, la modificación de los valores de las tablas para un mejor desempeño del motor Kawasaki ZX-6R. Se establece los cálculos pertinentes para la selección de los valores a usar en los diferentes regímenes de operación del motor. Se realiza las modificaciones para una protección de la unidad de potencia para el arranque en frío y un limitador de revoluciones en altas temperaturas para evitar daños irreversibles.

**Palabras clave—** Mapeo electrónico, tablas de inyección, protección al motor

**Abstract—** The research aims to present relevant experimental information about the electronic fuel injection and ignition mapping, considers the parameters, characteristic of the engine that allow the modification of the values of the tables for a better performance of the Kawasaki ZX-6R engine. The pertinent calculations for the selection of the values to use in the different regimes of operation of the engine are established. The modifications are made for a protection of the power unit for the cold start and a rev limiter in high temperatures to avoid irreversible damages

**Keywords—** Electronic mapping, injection tables, motor protection.

#### I INTRODUCCIÓN

En base a la investigación sobre hardware especializado para programación del control electrónico, se ha seleccionado como mejor opción a la unidad programable MegaSquirt II.

Megasquirt-2 tiene un amplio conjunto de opciones y características, pero puede requerir personalización por parte del usuario final dependiendo de la aplicación. MS2

es principalmente una configuración de combustible la cual posee dos bancos principales de inyectores que están controlados directamente [1].



Figura 1. MegaSquirt II

En la referencia [1] menciona el modo de combustible por bancos permitirá un control de 4 inyectores y un máximo de 6 bobinas una por cilindro.

MegaSquirt-II tiene un procesador más rápido en relación a MegaSquirt-I, con una mejor resolución de pulso de inyección y varias funciones adicionales (como un control de encendido, un controlador IAC y salidas de repuesto configurables por el usuario para cosas como control de ventilador o luces de cambio). MegaSquirt-II es una pequeña ECU que posee un procesador MC9S12C64 con una frecuencia de funcionamiento de 24 MHz mucho más potente que la MegaSquirt-I.

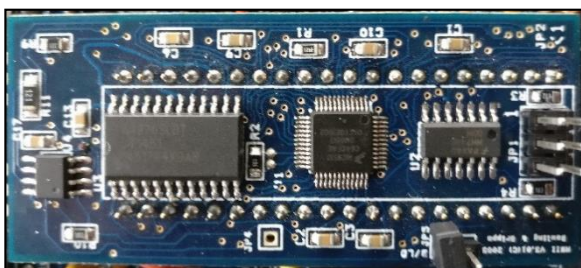


Figura 2. Procesador MegaSquirt-II (MC9S12C64)

## II MÉTODOS Y MATERIALES

La interfaz de ajuste usa un software TunerStudioMS para controlar todas las variables en tiempo real.

En la pantalla principal de la interfaz gráfica están campos que son de suma importancia para permitir que el motor pueda funcionar, lee la información a su vez alterar dicha datos y modificar los mapas de inyección de combustible y avance al encendido, así como ciertos valores que permitan modificar el rendimiento y eficiencia del motor.

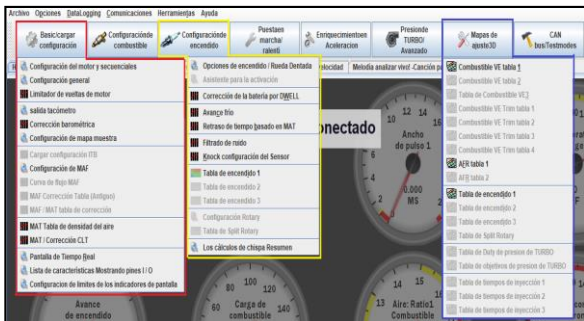


Figura 3. Ventana principal de TunerStudioMS.

Uno de estos campos es configuración básica encerrado de color rojo en donde encontramos los seteos básicos como las características del motor, cilindrada, número de cilindro, numero de inyectores, limitador de RPM.

En el recuadro verde está la configuración del encendido, en donde podemos establecer los valores de: número de dientes de la rueda fónica para la señal del sensor CKP, corrección de arranque en frío, tabla 2D de avance al encendido.

En el recuadro de color azul encontramos lo que son los mapas tridimensionales de control de combustible, AFR (relación mezcla aire/combustible) y el mapa de avance al encendido.

La tabla de inyección de combustible mostrada en la figura 4, está distribuida por una cuadrícula en donde en

el eje “X” tenemos el régimen de giro del motor (RPM) y en el eje “Y” la carga del motor (apertura de la mariposa de aceleración); cuyos valores pueden ser alterados dependiendo la necesidad y el criterio del programador.

RPM	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0
1000.0	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
980.0	51	52	52	53	54	56	57	59	62	64	68
950.0	51	52	52	54	54	56	57	59	61	64	67
900.0	50	51	52	53	54	55	57	59	61	64	66
850.0	49	50	51	52	53	54	56	58	60	63	65
750.0	47	48	49	50	52	53	55	57	59	61	64
650.0	44	46	48	49	50	51	52	54	56	59	61
550.0	43	44	46	47	48	49	49	51	53	55	58
450.0	41	42	43	43	44	45	46	48	50	52	55
350.0	39	40	40	40	41	41	43	44	46	48	51
250.0	37	37	37	38	38	39	40	41	42	44	46
200.0	31	33	34	34	34	35	35	36	37	39	42
150.0	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	38
100.0	22	24	25	26	27	28	29	30	32	34	36
50.0	16	18	20	22	23	24	25	26	27	29	31
0.0	10	13	16	18	20	21	23	25	26	28	30

Figura 4. Tabla de control de la inyección.

Dependiendo de los valores presentes en la tabla de inyección de combustible, variará el desempeño del motor a diferentes regímenes de giro, cuyo mapa se basa en las RPM del motor, conformación de la depresión de la carga del motor y la cantidad de combustible inyectado pudiendo tener lo expuesto en la figura 5.

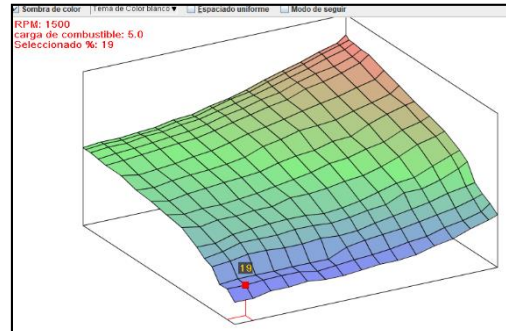


Figura 5. Mapa tridimensional de control de la inyección.

En la figura 6 podemos observar otra de las opciones que el software permite modificar, la tabla del control del avance al encendido, al igual que en el control de la inyección la variación dependerá de la necesidad del programador.

Figura 6. Tabla de encendido (avance de la chispa).

El mapa de encendido está conformado de la misma manera: régimen de giro VS apertura de la mariposa de aceleración, solo que ahora se basa en los grados de avance al encendido, lo cual podemos observar en la figura 7.

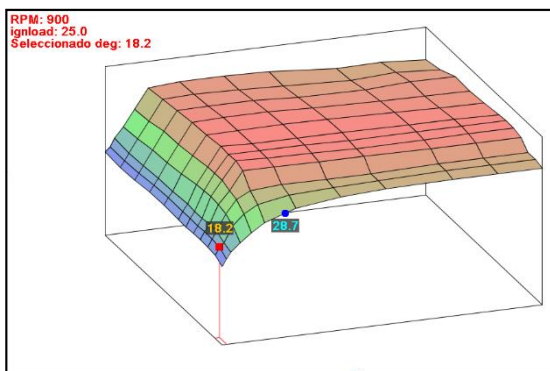


Figura 7. Mapa cartográfico encendido (avance de la chispa).

Para modificar los parámetros las tablas poseen ciertas opciones para realizar dichas modificaciones.

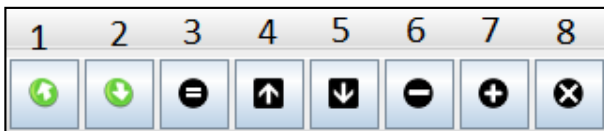


Figura 8. Controles para control y modificación de tablas.

1. Exportar datos de la tabla.
2. Importar datos de la tabla.
3. Igualar el valor de una selección de celdas.
4. Aumentar el valor de la celda.
5. Disminuir el valor de la celda.
6. Disminuir el valor de celdas marcadas en un valor seleccionado.
7. Aumentar el valor de celdas marcadas en un valor seleccionado.

8. Multiplicar el valor de celdas marcadas en un valor seleccionado.

## 2. Cálculos

La investigación considera varios cálculos para ingresar como datos en el software necesarios para la programación.

Definir el cálculo de la masa de aire.

$$G_o = V_{cil} * \rho_{aire} \quad (1)$$

Donde.

$V_{cil}$  = Volumen del cilindro

$\rho_{aire}$  = Densidad del aire ( $1.2254 \text{ Kg/m}^3$ )

Se tomó en consideración el valor de la densidad en condiciones normales:  $25^\circ\text{C}$  y  $0 \text{ msnm}$  un valor de  $1.2254 \text{ Kg/m}^3$ . El desarrollo de la investigación se la realizó en la ciudad de Latacunga por lo que debemos considerar que existe una variación en el valor de la densidad de aire, con ello a  $17^\circ\text{C}$  y  $2750 \text{ msnm}$  la densidad será de  $0.93481 \text{ Kg/m}^3$ .

Condiciones ideales de densidad de aire

$$G_o = (0.1498 \times 10^{-3} \text{ m}^3)(1.225 \text{ Kg/m}^3)$$

$$G_o = 0.1835 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

Condiciones reales de densidad de aire.

$$G_1 = V_{cil} * \rho_{aire \text{ latacunga}}$$

$$G_1 = (0.1498 \times 10^{-3} \text{ m}^3)(0.93481 \text{ Kg/m}^3)$$

$$G_1 = 0.14007 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

El coeficiente de llenado del cilindro (rendimiento volumétrico)

$$n_v = \frac{G_1}{G_o} * 100 \quad (2)$$

$$n_v = \frac{G_1}{G_o} * 100$$

$$n_v = \frac{0.14007 \times 10^{-3}}{0.1835 \times 10^{-3}} * 100$$

$$n_v = 76.33 \%$$

Velocidad de flujo de entrada de aire

Cálculo en condiciones ideales

$$V_f = \frac{V_{cil} * \rho_{aire} * RPM}{2} \quad (3)$$

$$V_f = \frac{V_{cil} * \rho_{aire} * RPM}{2}$$

$$V_f = \frac{0.1835 \times 10^{-3} \text{ Kg} * 6000 \text{ RPM}}{2}$$

$$V_f = 0.5505 \text{ Kg/min}$$

Cálculo en condiciones reales

$$V_f = \frac{V_{cil} * \rho_{aire} * RPM}{2}$$

$$V_f = \frac{0.14007 \times 10^{-3} \text{ Kg} * 6000 \text{ RPM}}{2}$$

$$V_f = 0.42021 \text{ Kg/min}$$

El cálculo de la masa de combustible:

$$B = \frac{V_f}{AFR * RPM} \quad (4)$$

Donde:

$V_f$  = Velocidad de flujo de entrada de aire

$AFR$ = Relación (aire/combustible)

$RPM$ = Revoluciones del motor

El valor de la mezcla aire/combustible se la tomo de las pruebas realizadas en el dinamómetro de rodillos en donde se utilizó la ECU de fábrica del motor Kawasaki, tomando un valor de 11.21 a las 6000 RPM.

$$B = \frac{V_f}{AFR * RPM}$$

$$B = \frac{0.4201 \text{ Kg/min}}{11.21 * 6000 \text{ rev/min}}$$

$$B = 6.246 \times 10^{-6} \text{ Kg}$$

Mediante la reprogramación del control electrónico de la inyección de combustible se modificó mediante el software TunerStudioMS, realizando pruebas teniendo los siguientes resultados.

$$B = \frac{V_f}{AFR * RPM}$$

$$B = \frac{0.4201 \text{ Kg/min}}{11.5 * 6000 \text{ rev/min}}$$

$$B = 6.088 \times 10^{-6} \text{ Kg}$$

$$B = \frac{V_f}{AFR * RPM}$$

$$B = \frac{0.4201 \text{ Kg/min}}{12.00 * 6000 \text{ rev/min}}$$

$$B = 5.835 \times 10^{-6} \text{ Kg}$$

$$B = \frac{V_f}{AFR * RPM}$$

$$B = \frac{0.4201 \text{ Kg/min}}{12.7 * 6000 \text{ rev/min}}$$

$$B = 5.5131 \times 10^{-6} \text{ Kg}$$

Para obtener la mayor eficiencia de consumo de combustible se optó por una relación aire/combustible de 12.7 a las 6000 RPM, teniendo en cuenta que no se puede hacer uso de una mezcla aire/combustible demasiado pobre ya que dicha mezcla puede producir daños irreversibles en el motor, valor de RPM en donde el vehículo va a realizar las pruebas dinámicas.

### III PRUEBAS Y RESULTADOS

Al finalizar con las configuraciones con los datos básicos del motor, rueda fónica y de los inyectores, podemos encender el motor. [1] Para empezar con la programación partimos de los mapas de inyección de combustible y de encendido.

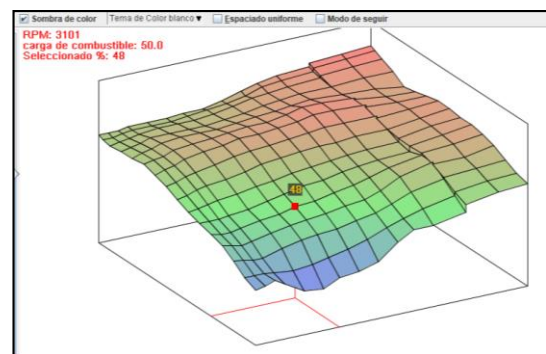


Figura 8. Mapa 3D de inyección inicial

En la figura 8 podemos observar el primer mapa 3D de inyección con el que se parte para modificar, es un mapa muy irregular en el cual tenemos muchos parámetros elevados o incorrectos, que no ayudan a que el motor sea completamente funcional.



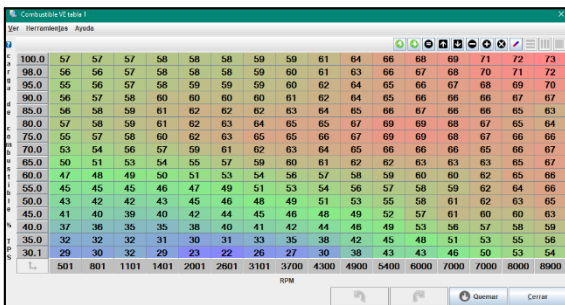


Figura 9. Tabla de inyección inicial

En la figura 9 claramente vemos los datos de carga de combustible en las diferentes condiciones de apertura de la mariposa y rpm, se nota claramente que la mayoría de la tabla tiene un color rojo, que nos indica que se está inyectando más combustible en esos puntos específicos.

Se empieza a usar los cálculos de masa de combustible que vamos a necesitar variando la relación aire combustible y ver cuál es el dato más óptimo a usar.

El motor originalmente usa una relación de 11,5 en promedio, por lo que se opta por usar una relación 12,7 para la mayoría de la tabla, el resultado que tenemos es un mapa tridimensional mucho más estable y completamente funcional, como se observa en la figura 10.

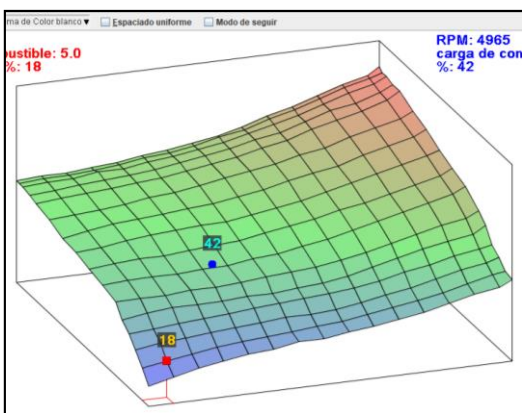


Figura 10. Mapa tridimensional de inyección final

En la figura 10 podemos observar la inyección de combustible según la apertura de la mariposa y las revoluciones del motor, se puede verificar que aumenta gradualmente la inyección de combustible.

Obteniendo una mezcla un poco pobre en la sección de desaceleración y ralentí, y aumentando la carga de combustible en altas revoluciones y un porcentaje alto de la apertura de la mariposa.

La línea de las revoluciones como se puede ver en la figura 11 se modificó desde 500 rpm hasta un máximo de 15000 rpm puesto que el motor tiene un tacómetro con un máximo de 20000 rpm, se trabajó hasta ese rango por motivos de seguridad.

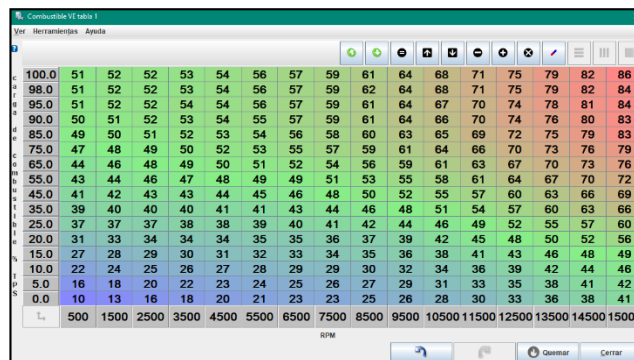


Figura 11. Tabla de inyección final

El mapa tridimensional de avance de encendido, se puede visualizar que en la zona de ralentí se necesita un ángulo menor para que el motor se encuentre estable, mientras que al momento de incrementar las revoluciones por minuto del motor necesita un ángulo de avance de encendido mayor para lograr una combustión completa.

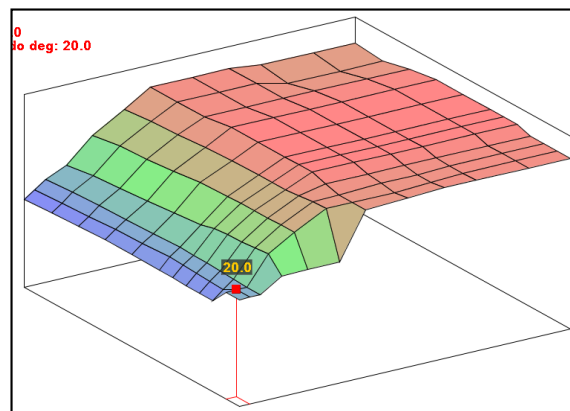


Figura 12. Mapa tridimensional de encendido inicial

Para obtener el mapa final de encendido que nos entregue el mejor desempeño del motor Kawasaki ZX-6R, se empieza a variar los ángulos de encendido en este aumentándolos, para evitar la detonación de esta manera obtener la combustión completa, como se muestra en la figura 13.

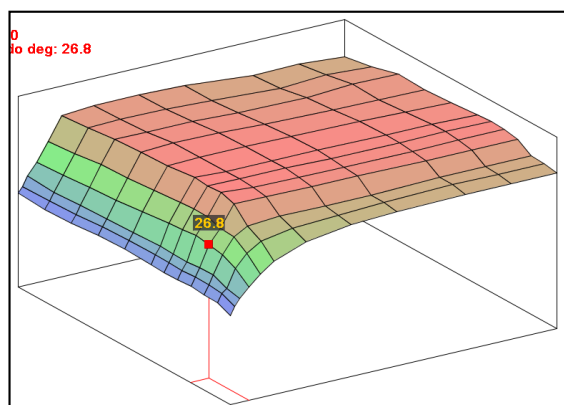


Figura 13. Mapa tridimensional de encendido final.

En la figura 13 a partir de las 2600 rpm y un 35% de apertura se mantienen los ángulos un poco estables, realizar los cambios de estos valores se vuelven un poco molestos si se los realiza en el mapa 3D porque nos deja modificar un valor a la vez.

En la figura 14 la tabla de encendido la cual facilita un poco al modificar estos valores, nos permite modificar los valores en grupos a nuestra necesidad.

rpm	701	900	1100	1500	2000	2600	4000	6000	8000	11000	13000	15000
100.0	15.9	17.3	19.9	23.2	28.2	34.3	35.1	35.0	34.6	33.0	33.2	32.2
90.0	15.4	17.4	19.5	23.7	28.7	35.0	35.4	35.1	34.5	33.6	34.4	33.5
80.0	15.7	17.7	20.0	24.4	29.9	35.9	35.9	35.9	35.3	35.0	35.8	35.6
70.0	16.3	18.4	20.3	24.8	30.1	36.3	36.8	36.7	36.2	35.7	35.6	35.3
60.0	16.6	18.6	20.5	25.6	30.8	36.7	37.0	37.1	36.9	36.5	36.2	35.9
50.0	16.3	18.7	20.8	26.6	31.6	37.5	37.1	37.1	37.1	36.9	36.9	36.6
45.0	16.1	18.6	20.7	26.8	31.8	37.2	37.1	37.1	36.8	36.8	36.9	36.8
40.0	16.2	18.5	20.6	27.2	31.7	37.4	36.9	36.7	36.4	36.4	36.7	36.6
35.0	16.5	18.8	21.0	26.8	30.6	36.4	36.3	36.1	36.1	35.9	35.9	35.9
30.0	16.2	18.7	21.0	25.9	30.1	32.2	32.9	32.8	32.8	33.3	33.3	33.3
25.0	15.9	18.2	19.4	24.3	27.7	30.1	31.7	32.3	32.8	33.3	33.3	33.3
20.1	14.5	16.6	18.6	21.2	23.9	26.6	29.8	31.6	32.3	32.6	32.7	32.7

Figura 14. Mapa tridimensional de encendido final.

Como se puede ver en esta tabla de avance de encendido también debemos modificar los valores en los que vamos a trabajar la tabla, nuestro caso modificamos el eje de las rpm de motor y así poder realizar un mejor afinamiento de la unidad de potencia.

Al finalizar con la modificación de los mapas de inyección de combustible y de avance al encendido, se puede realizar modificaciones de curvas que nos ayudan a proteger al motor de daños irreversibles.

El avance en frío es una de las opciones que nos permite modificar el TunerStudio en la configuración de encendido, el cual nos permite modificar por medio de un mapa en 2D, permitiendo el avance de la chispa de encendido durante la fase de calentamiento del motor, o

su a vez retrasar la chispa de encendido en altas temperaturas.

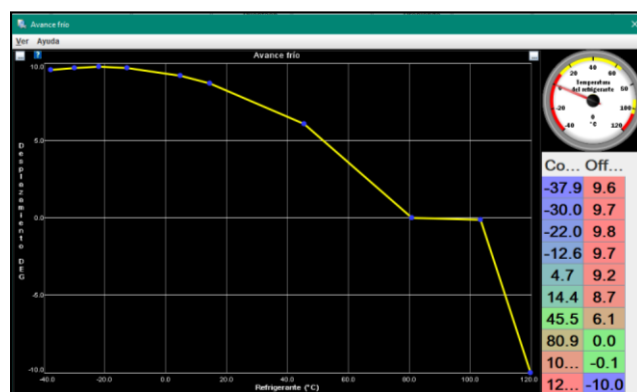


Figura 15. Tabla de avance en frío.

Una de las configuraciones básicas del motor en el limitador de revoluciones en el cual impide que el motor llegue a regímenes de giro sumamente altos que puedan causar daños irreversibles al motor.

En la misma ventana se puede hacer uso de un limitador de revoluciones dependiendo de la temperatura del refrigerante en donde se pueden especificar diferentes límites de giro para evitar que el motor en frío se acelere excesivamente y contar con una protección para el motor cuando este llegue a temperaturas elevadas.

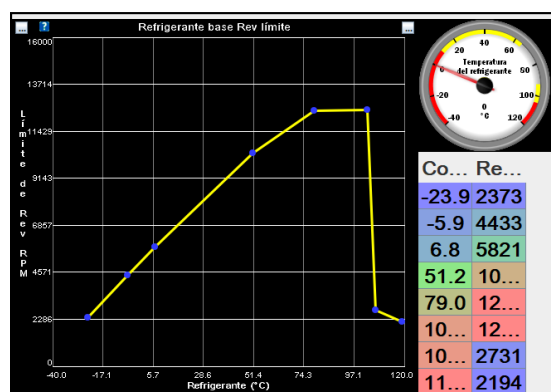


Figura 16. Limitador de revoluciones.

#### IV CONCLUSIONES

Finalizado el desarrollo del presente artículo de investigación, se pone en consideración las siguientes conclusiones con el propósito de que se constituyan en un referente y fuente de consulta por parte de profesionales relacionados al área.

Las aplicaciones electrónicas cada vez más revolucionan el mercado automotriz, en esta ocasión el mapeo de control electrónico de los motores.

Es posible que a través de investigaciones e innovaciones sencillas como de la tratada, ir a la par con el desarrollo tecnológico de la industria automotriz generando fuentes de trabajo para personas relacionadas con el sector automotriz.

Se seleccionó la unidad programable MegaSquirt II y el software TunerStudio MS disponibles en el mercado y a su vez compatibles con la unidad de potencia utilizada en la investigación.

Se calculó los parámetros necesarios los cuales fueron ingresados al software dedicado para el previo arranque del motor.

La investigación permitió obtener los mapas de inyección de combustible y encendido para el óptimo desempeño del motor Kawasaki ZX-6R

Se implementó protecciones al motor ajustando valores de avance en frío y limitador de revoluciones.

Con las variaciones de los mapas de inyección de combustible y el avance al encendido se puede obtener varios beneficios según sean las necesidades, como: reducción de consumo de combustible, disminución de gases contaminantes, sin alterar el desempeño del motor; o a su vez aumentando el combustible elevar los parámetros de torque y potencia significativamente

#### REFERENCIAS

- [1] MegaSquirt. (2018). DIY Kits: MegaSquirt 2. Obtenido de MegaSquirt: <http://megasquirt.info/products/diy-kits/ms2/>
- [2] MegaSquirt. (31 de 01 de 2018). Preguntas frecuentes MegaSquirt. Obtenido de MegaSquirt: <http://www.megamanual.com/MSFAQ.htm>
- [3] EFI ANALYTICS. (18 de 01 de 2018). EFI Analytics Software Downloads. Obtenido de EFI ANALYTICS: <http://www.tunerstudio.com/index.php/>
- [4] Fidalgo, R. (26 de 11 de 2014). Cómo reprogramar tu motor. Obtenido de Autocasión: <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/como-reprogramar-tu-motor>
- [5] García, G. M. (2012). Mapeo de inyección y encendido. Obtenido de Prueba de ruta: <https://www.pruebaderuta.com/mapeo-de-inyeccion-y-encendido.php>
- [6] MIDWEST MegaSquirt. (2018). MegaSquirt-I Programmable EFI System PCB2.2 - Assembled Unit. Obtenido de MIDWEST MegaSquirt: <https://www.midwestmegasquirt.com/products/meg>

asquirt-i-programmable-efi-system-pcb2-2-assembled-unit

- [7] Banish, G. (2007). Engine Management: Advanced Tuning. . North Branch: CarTech.
- [8] Cavalieri, S., Di Stefano, A., & Mirabella, O. (1996). Mapping automotive process control on IEC/ISA FieldBus functionalities. ScienceDirect, 233-250.
- [10] Fidalgo, R. (26 de 11 de 2014). Cómo reprogramar tu motor. Obtenido de Autocasión: <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/como-reprogramar-tu-motor>
- [11]B. G. Buitrón García and D. M. Narváez Téran, " Mapeo del control electrónico del motor Kawasaki ZX-6R del vehículo Formula Student Sae para reducción de consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes," Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de Ingeniería Automotriz, 2018.
- [12] G. C. A. Q. L. M. L. Q. J. Z. D. S. D. Erazo, «Influence of using specialized software in the automotive industry to boost internal combustion engines,» *XII Jornadas Iberoamericanas de Ingeniería de Software e Ingeniería del Conocimiento*, vol. 1, pp. 255 - 265, 2017.