



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“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”

**AUTORES: BYRON GABRIEL BUITRÓN GARCÍA
 DANIEL MAURICIO NARVÁEZ TERÁN**

**ING. GERMÁN ERAZO
DIRECTOR DE TESIS**



Objetivo General

- Reducir el consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes mediante el mapeo del control electrónico del motor Kawasaki ZX-6R del vehículo Formula Student SAE para obtener un óptimo desempeño en base a los parámetros establecidos para la competencia.



Objetivos Específicos

- Realizar mediciones de parámetros característicos del motor Kawasaki ZX- 6R bajo funcionamiento de la computadora de tipo comercial.
- Seleccionar hardware y software que permita la reprogramación del sistema de control electrónico mientras cumple con el reglamento establecido por la FSG.
- Determinar los componentes eléctricos y electrónicos necesarios, que cumplan con requerimientos para desarrollar la reprogramación del motor Kawasaki ZX-6R.



- Verificar el correcto funcionamiento del hardware y software en el motor Kawasaki ZX-6R.
- Realizar modificaciones a los mapas tridimensionales de inyección de combustible y avance del encendido.
- Realizar pruebas de torque, potencia, consumo de combustible y de emisiones contaminantes que evidencien las modificaciones realizadas a la programación del control electrónico del motor Kawasaki ZX-6R.
- Realizar un análisis de los datos obtenidos una vez implementadas las modificaciones al control electrónico del motor.



MOTOR KAWASAKI ZX-6R

- Es un motor 4 cilindros en línea doble árbol de levas de 600 cc cuyo bloque esta construido de hierro fundido, de fabricación japonesa. Posee 4 cuerpos de aceleración Keihin de 38 mm uno por cilindro



Sistema de inyección de combustible

- Es un sistema el cuál se encarga de dosificar el combustible al motor, comandado por una unidad de control electrónico y utilizando información proporcionada por los sensores.
- El motor Kawasaki posee un sistema secuencial de inyección electrónica multipunto.



SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE Y SOFTWARE

En base a una investigación sobre hardware especializado para programación del control electrónico, se tomó ciertos aspectos relevantes para poder escoger el hardware adecuado para el desarrollo de la investigación, las propiedades cuantitativas son: costo, portabilidad, ventajas, compatibilidad y manejabilidad.



	MegaSquirt - II		Jet - Prime		Woolich Racing	
Propiedad	Comentario	Punt.	Comentario	Punt.	Comentario	Punt.
Costo	Excelente relación precio-finalidad	3	Elevado	2	Elevado	2
Portabilidad	Fácil transporte	3	No es portable	1	Difícil transporte	1
Ventajas	Gran cantidad de aspectos a reprogramar	3	Especializado en motores de motocicletas	2	Especializado en motores de motocicletas	2
Compatibilidad	Con una alta gama de motores y marcas	3	Solo con marcas de motocicletas	2	Modelos para una marca y serie	1
Manejabilidad	Interfaz gráfica muy intuitiva	3	Alimentación fija	2	Conexión Bluetooth	3
TOTAL	15		11		11	

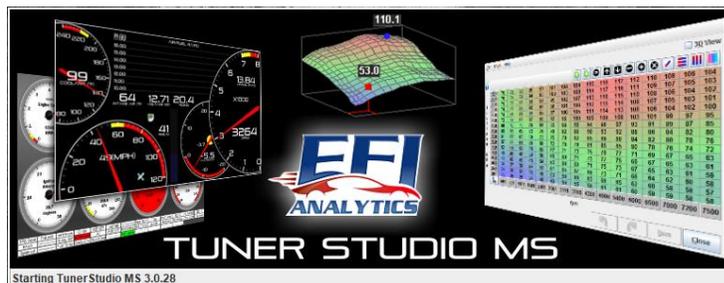


- Mediante el análisis de las propiedades cuantitativas se optó por la unidad MegaSquirt-II.

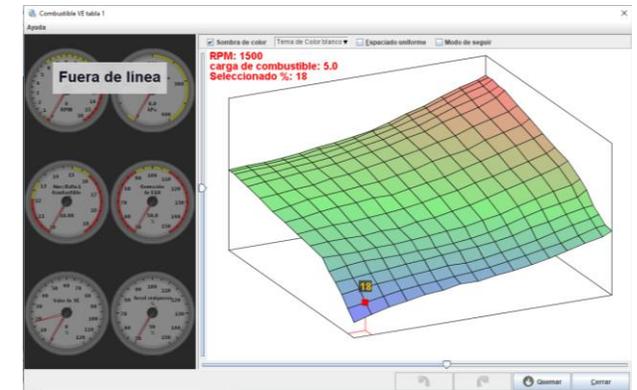
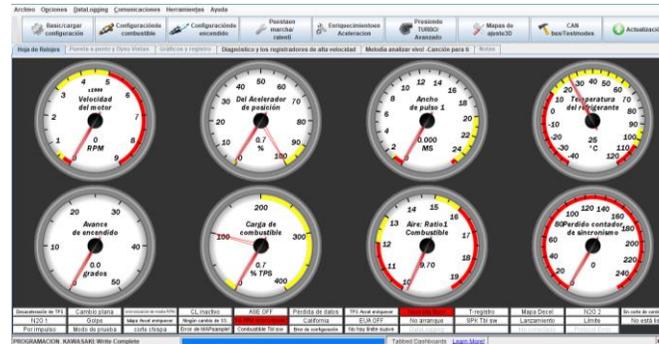


Selección del software dedicado

- El software compatible con la unidad MegaSquirt será TunerStudioMS el cual es un software libre el cual permitirá modificar y visualizar los mapas de inyección de combustible, avance al encendido, mezcla aire/combustible del motor Kawasaki ZX-6R



Starting TunerStudio MS 3.0.28



Proceso de instalación

For Windows XP, Vista, Windows7, Windows 8 & Windows 10

TunerStudio MS version 3.0.28(Approximately 76 MB)	download
alternate TunerStudio MS download site	
MegaLogViewer MS Version 4.2.03 32 Bit (38MB MB)	download
MegaLogViewer MS Version 4.2.03 64Bit (40 MB)	download
alternate MegaLogViewer MS download site	
Learn More about MegaLogViewer HD	
MegaLogViewer HD Version 4.2.03 32Bit (38MB MB)	download
MegaLogViewer HD Version 4.2.03 64Bit (40 MB)	download
alternate MegaLogViewer HD download site	

Setup - TunerStudio MS

Welcome to the TunerStudio MS Setup Wizard

This will install TunerStudio MS 3.0.28 on your computer.
It is recommended that you close all other applications before continuing.
Click Next to continue, or Cancel to exit Setup.

Next > Cancel

Setup - TunerStudio MS

License Agreement

Please read the following important information before continuing.

Please read the following License Agreement. You must accept the terms of this agreement before continuing with the installation.

Copyright (c) 2005-2016, EFI Analytics, Inc. All Rights Reserved.

NOTICE TO USERS: CAREFULLY READ THE FOLLOWING LEGAL AGREEMENT.

USE OF THE SOFTWARE PROVIDED WITH THIS AGREEMENT (THE "SOFTWARE") CONSTITUTES YOUR ACCEPTANCE OF THESE TERMS.

I accept the agreement
 I do not accept the agreement

< Back Next > Cancel

TunerStudio MS Live v3.0.28 - EFI Simplified

Archivo Opciones [Data Logging] Comunicaciones Herramientas Ayuda

Inicio de Sesión Fuente a punto y Dymo Vista Gráficos y registro Diagnóstico y los registradores de alta velocidad Muestra analizar view. Cancele para ir. Notas



Setup - TunerStudio MS

Installing

Please wait while Setup installs TunerStudio MS on your computer.

Extracting files...
C:\Program Files (x86)\EFIAnalytics\TunerStudioMS\runtime\bin\javafx_jio.dll

Cancel

Setup - TunerStudio MS

Select Destination Location

Where should TunerStudio MS be installed?

Setup will install TunerStudio MS into the following folder.

To continue, click Next. If you would like to select a different folder, click Browse.

C:\Program Files (x86)\EFIAnalytics\TunerStudioMS Browse...

At least 239,3 MB of free disk space is required.

< Back Next > Cancel



Interfaz gráfica TunerStudioMS

The screenshot displays the TunerStudioMS software interface. At the top, there is a menu bar with options: Archivo, Opciones, DataLogging, Comunicaciones, Herramientas, and Ayuda. Below the menu bar is a toolbar with several icons and labels: Basic/cargar configuración, Configuración de combustible, Configuración de encendido, Puesta en marcha/ralentí, Enriquecimiento en Aceleración, Presión de TURBO/Avanzado, Mapas de ajuste 3D, and CAN bus/Test modes.

Three main configuration panels are visible, each with a red, yellow, and blue border respectively:

- Red-bordered panel (Basic/cargar configuración):**
 - Configuración del motor y secuenciales
 - Configuración general
 - Limitador de vueltas de motor
 - salida tacómetro
 - Corrección barométrica
 - Configuración de mapa muestra
 - Cargar configuración ITB
 - Configuración de MAF
 - Curva de flujo MAF
 - MAF Corrección Tabla (Antiguo)
 - MAF / MAT tabla de corrección
 - MAT Tabla de densidad del aire
 - MAT / Corrección CLT
 - Pantalla de Tiempo Real
 - Lista de características Mostrando pines I/O
 - Configuración de límites de los indicadores de pantalla
- Yellow-bordered panel (Configuración de encendido):**
 - Opciones de encendido / Rueda Dentada
 - Asistente para la activación
 - Corrección de la batería por DWELL
 - Avance frío
 - Retraso de tiempo basado en MAT
 - Filtrado de ruido
 - Knock configuración del Sensor
 - Tabla de encendido 1
 - Tabla de encendido 2
 - Tabla de encendido 3
 - Configuración Rotary
 - Tabla de Split Rotary
 - Los cálculos de chispa Resumen
- Blue-bordered panel (Mapas de ajuste 3D):**
 - Combustible VE tabla 1
 - Combustible VE tabla 2
 - Tabla de Combustible VE3
 - Combustible VE Trim tabla 1
 - Combustible VE Trim tabla 2
 - Combustible VE Trim tabla 3
 - Combustible VE Trim tabla 4
 - AFR tabla 1
 - AFR tabla 2
 - Tabla de encendido 1
 - Tabla de encendido 2
 - Tabla de encendido 3
 - Tabla de Split Rotary
 - Tabla de Duty de presión de TURBO
 - Tabla de objetivos de presión de TURBO
 - Tabla de tiempos de inyección 1
 - Tabla de tiempos de inyección 2
 - Tabla de tiempos de inyección 3

The background of the interface shows several gauges, including a tachometer labeled 'Ancho de pulso 1' with a needle at 0.000 MS, and a speedometer labeled 'Carga de combustible' with a needle at 130. A 'Conectado' (Connected) status indicator is also visible.

Tabla de inyección de combustible

- La tabla de inyección de combustible 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.

	502	1500	2500	3500	4500	5500	6500	7500	8500	9500	10500	11500	12500	13500	14500	15000
100.0	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68	71	75	79	82	86
98.0	51	52	52	53	54	56	57	59	62	64	68	71	75	79	82	84
95.0	51	52	52	54	54	56	57	59	61	64	67	70	74	78	81	84
90.0	50	51	52	53	54	55	57	59	61	64	66	70	74	76	80	83
85.0	49	50	51	52	53	54	56	58	60	63	65	69	72	75	79	83
75.0	47	48	49	50	52	53	55	57	59	61	64	66	70	73	76	79
65.0	44	46	48	49	50	51	52	54	56	59	61	63	67	70	73	76
55.0	43	44	46	47	48	49	49	51	53	55	58	61	64	67	70	72
45.0	41	42	43	43	44	45	46	48	50	52	55	57	60	63	66	69
35.0	39	40	40	40	41	41	43	44	46	48	51	54	57	60	63	66
25.0	37	37	37	38	38	39	40	41	42	44	46	49	52	55	57	60
20.0	31	33	34	34	34	35	35	36	37	39	42	45	48	50	52	56
15.0	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	38	41	43	46	48	49
10.0	22	24	25	26	27	28	29	29	30	32	34	36	39	42	44	46
5.0	16	18	20	22	23	24	25	26	27	29	31	33	35	38	41	42
0.0	10	13	16	18	20	21	23	23	25	26	28	30	33	36	38	41

Mapa de inyección de combustible

- 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

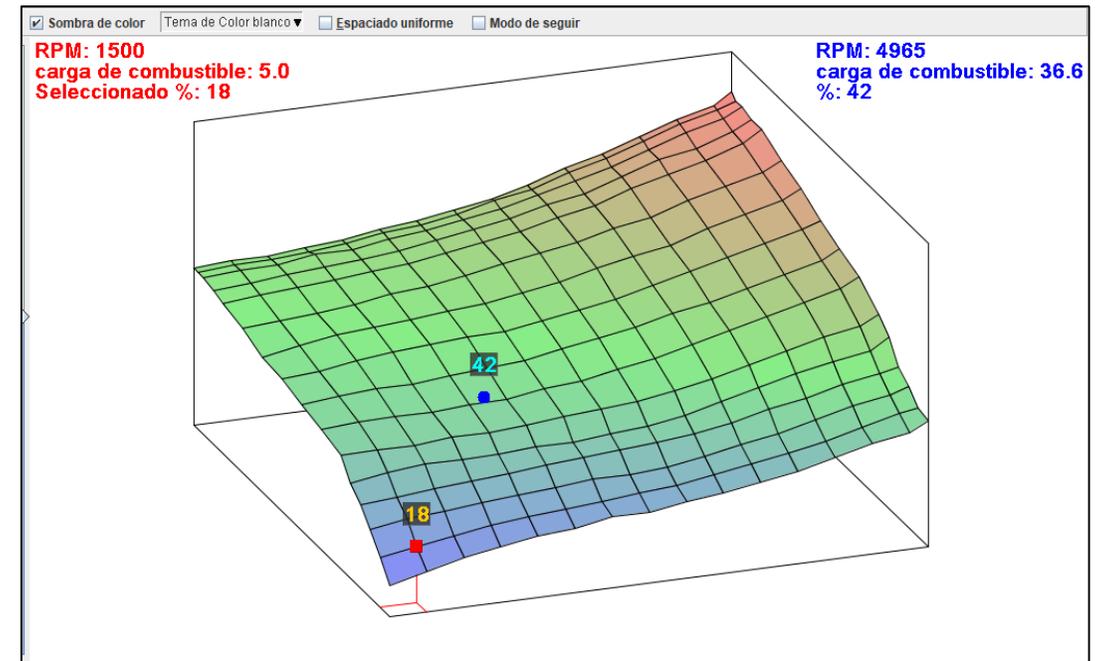


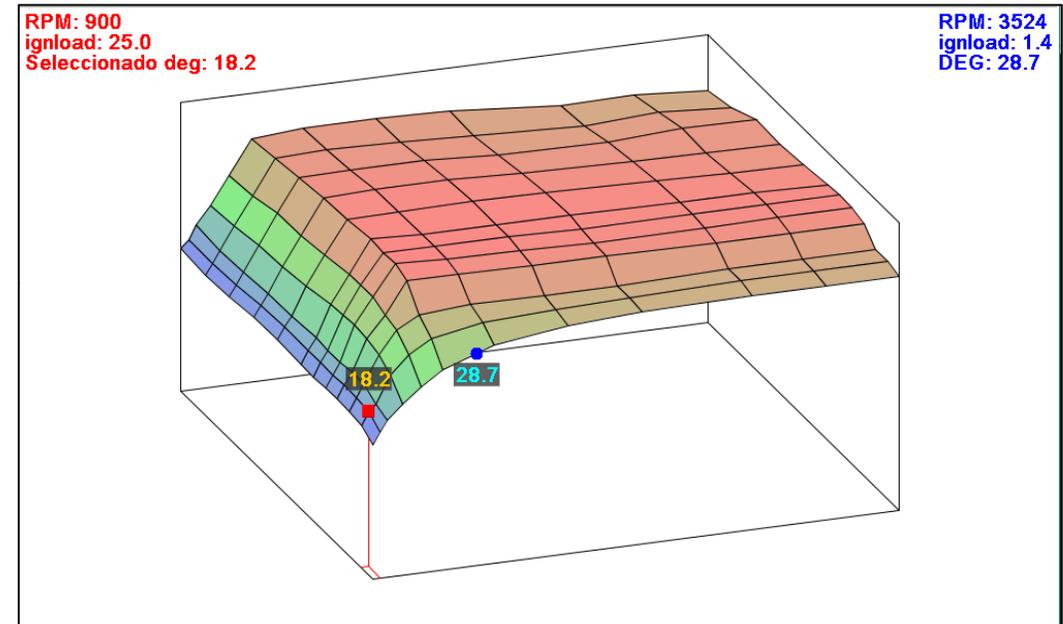
Tabla de encendido – avance de la chispa

- 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.

	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

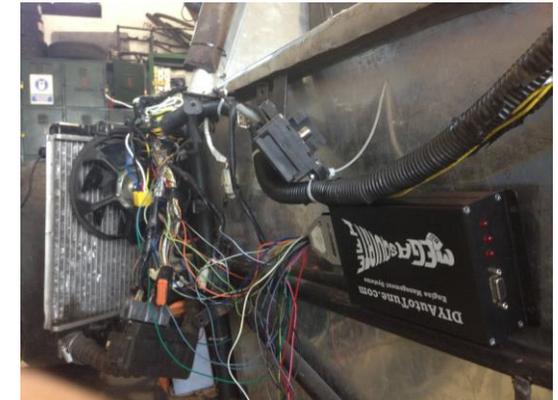
Mapa de encendido – avance de la chispa

- 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



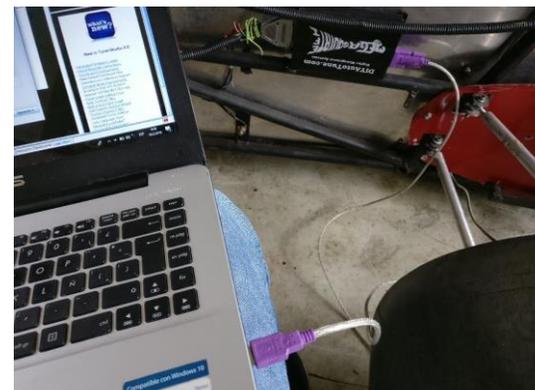
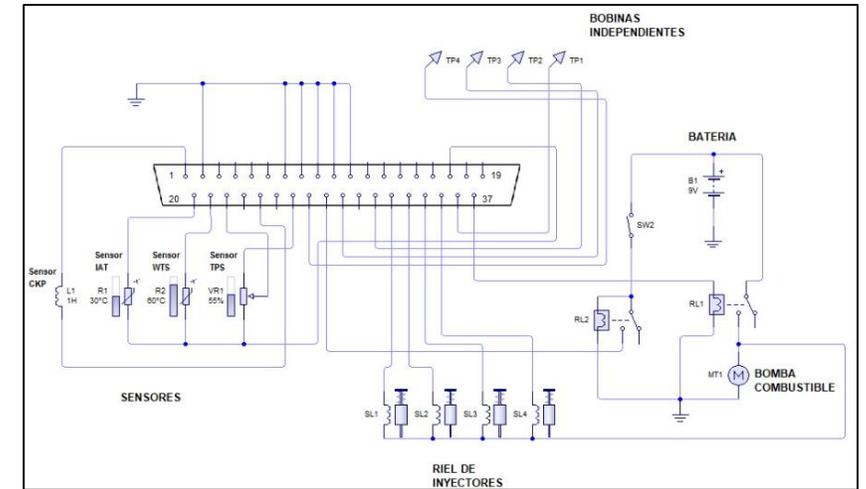
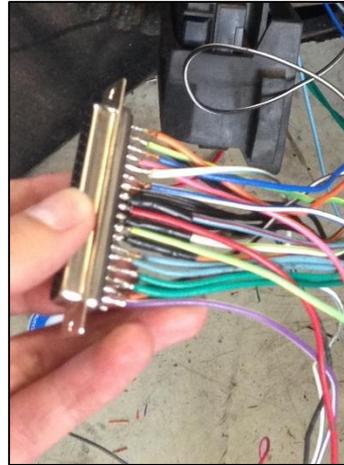
Conexión Motor – ECU programable – computador

- Se realizó una conexión en paralelo del arnés de la ECU programable al arnés de fábrica del motor Kawasaki, de esta manera el motor de combustión interna puede operar con cualquiera de las dos ECU's, pero conectada una ECU a la vez.



Conexión Motor – ECU programable – computador

- La conexión de todos los sensores y actuadores se la realizo a un puerto serial D37, el cual se siguió de acuerdo al diagrama establecido por la marca para el modelo MegaSquirt-II.



Sensores ocupados para lectura de datos del motor

Sensor de temperatura de refrigerante (WTS)



Sensor de temperatura de aire de la admisión (IAT)



Sensor de posición del cigüeñal (CKP)



Sensor de posición de la mariposa de aceleración (TPS)



Actuadores que intervienen

Inyector de combustible



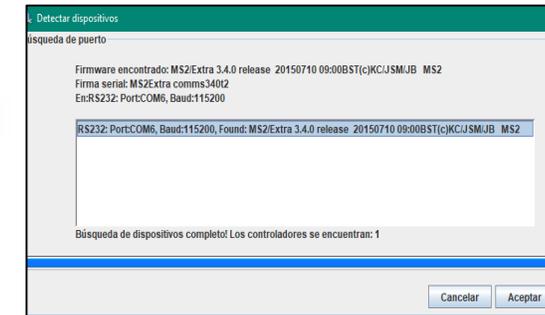
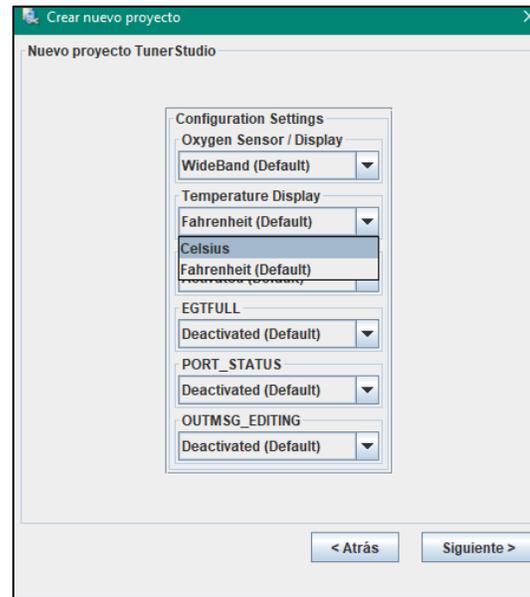
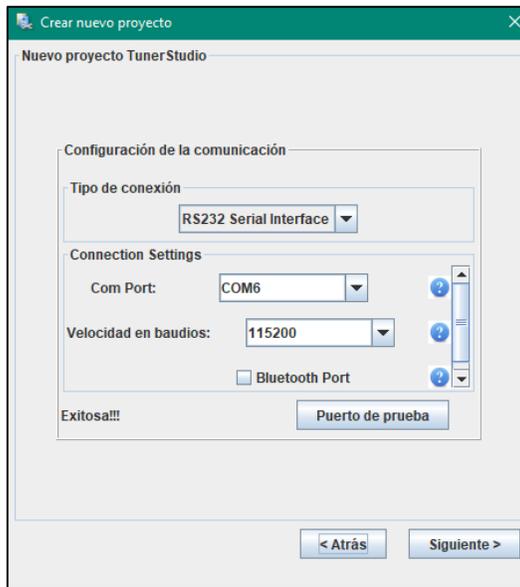
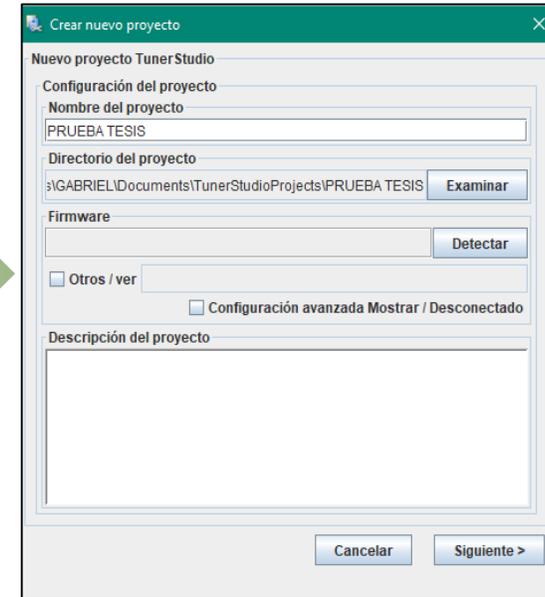
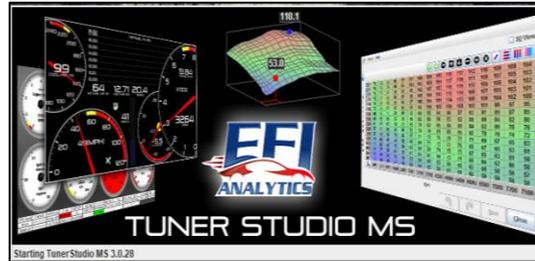
Bobina de encendido



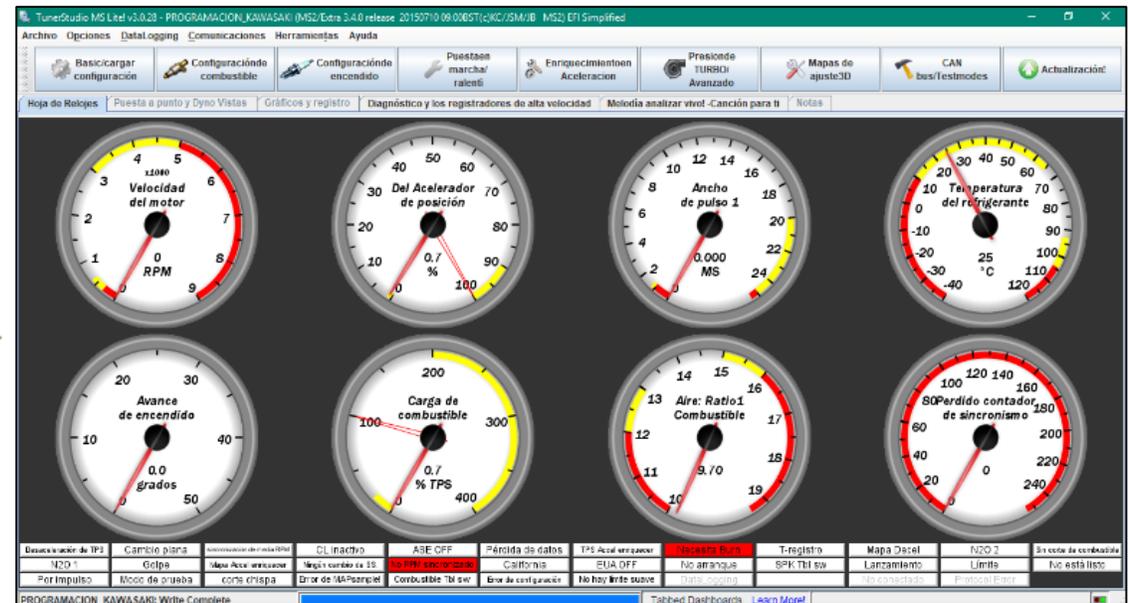
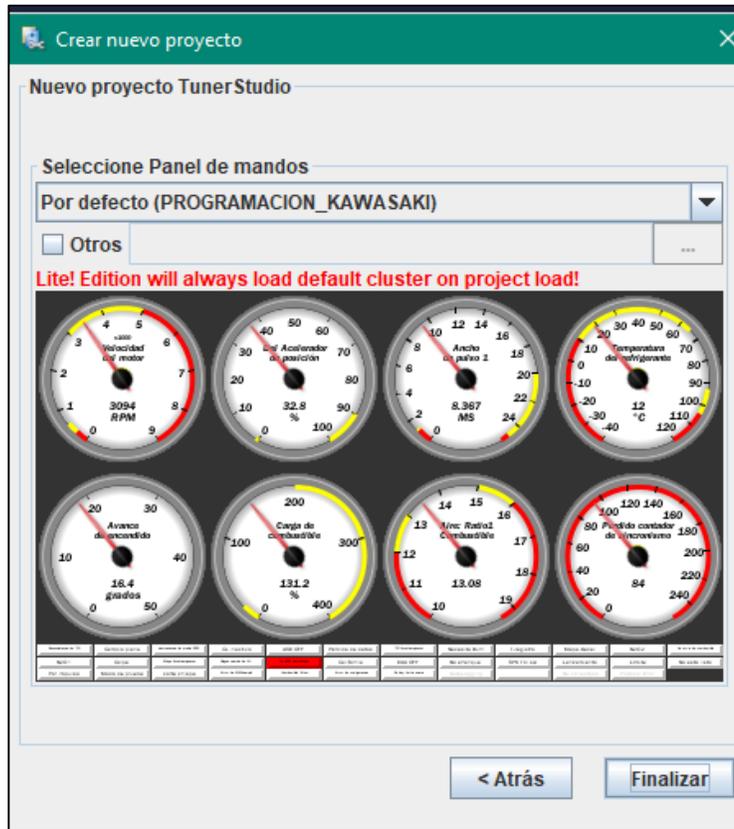
Bomba de combustible



Creación de un nuevo proyecto en TunerStudio MS



Creación de un nuevo proyecto en TunerStudio MS



Calibración del sensor TPS

The screenshot shows the TunerStudio software interface. The main display area contains several gauges: 'Velocidad del motor' (RPM), 'Ancho de pulso 1' (MS), 'Temperatura del refrigerante' (°C), 'Avance de encendido' (grados), 'Carga de combustible' (% TPS), 'Aire: Ratio 1 Combustible', and 'Perdido contador de sincronismo'. A menu is open over the gauges, with 'Calibrar el TPS' selected. The menu options include: 'Calibrar el mapa/Baro', 'Calibrar la tensión de la batería', 'UN / Lock calibraciones', 'Calibrar las tablas termistor', 'Calibrar AFR tabla', and 'Calibrar MAF tabla'. The bottom status bar shows 'Online: PROGRAMACION_KAWASAKI' and 'Bluetooth Adapters: Learn More!'. The system tray shows the date '19/2/2018' and time '18:00'.

Calibrar el Sensor de posición del Acelerador

Calibrar del Acelerador

Cerrada del Acelerador ADC Conde

Full throttle Conde de ADC



Calibrar el Sensor de posición del Acelerador

Calibrar del Acelerador

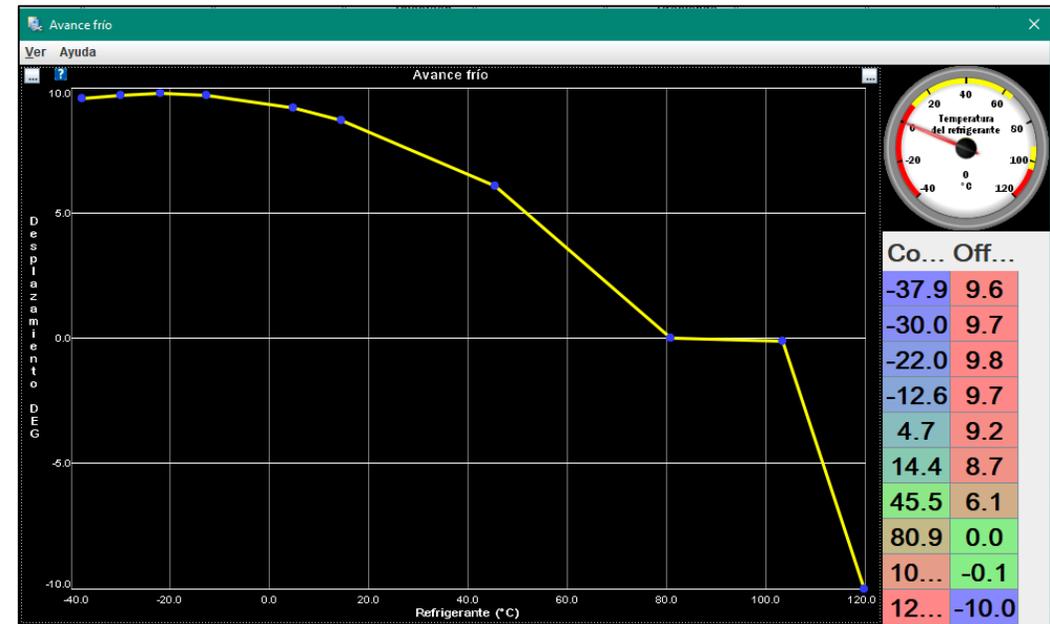
Cerrada del Acelerador ADC Conde

Full throttle Conde de ADC



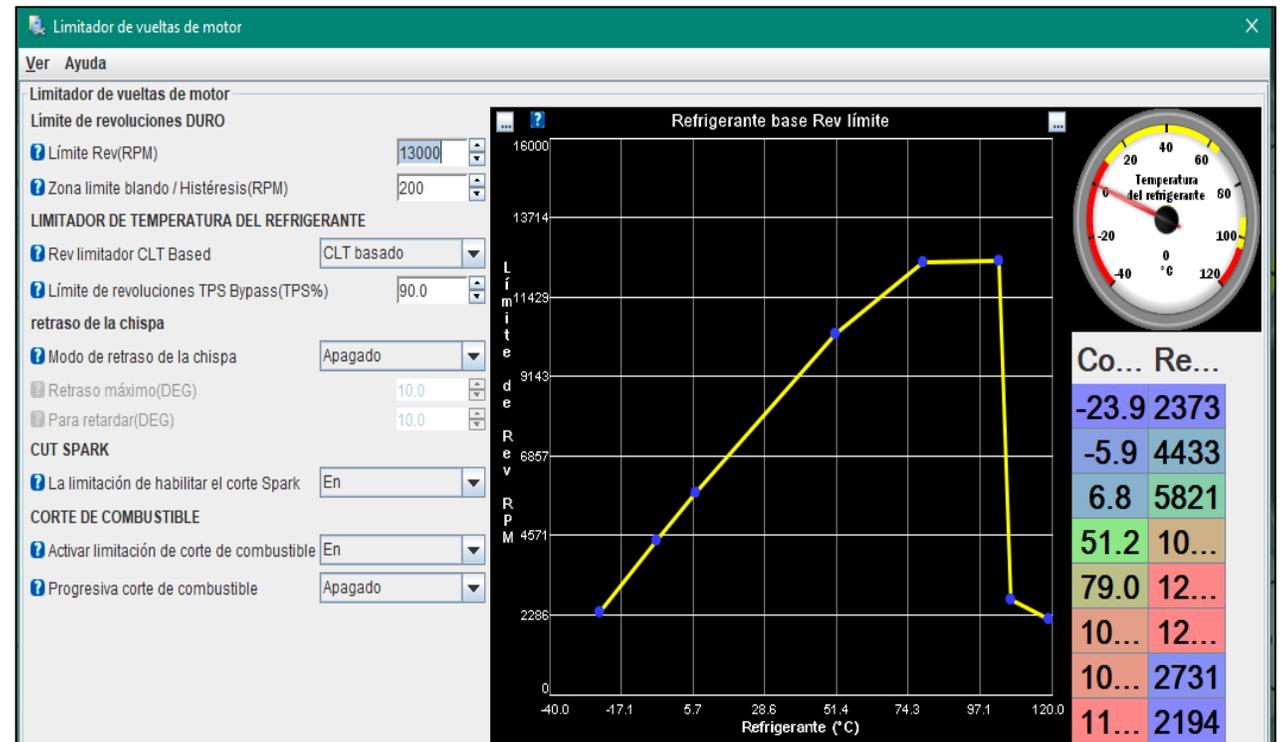
Avance en frío

- 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.



Limitador de revoluciones

- Impide que el motor llegue a regímenes de giro sumamente altos que puedan causar daños irreversibles al motor.
- 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.



Configuración del motor

- Para proceder a modificar los valores de las tablas de encendido, inyección de combustible, se necesita conocer los datos bases del motor como:
 - Números de dientes de la rueda fónica
 - Tipo de inyectores
 - Valores de operación de inyectores

Opciones de encendido / Rueda Dentada

Ver Ayuda

Opciones de encendido / Rueda Dentada

Modo de encendido (mareado, SEDA, rueda)	Ruedas dentadas
Ángulo de disparo/desplazamiento(DEG)	0.00
Ángulo entre principal y retornar(DEG)	50.0
En primer ángulo Oddfire	90
GM HEI / Opciones DIS	Apagado
Utilice Cam señal Si Disponible	Apagado
Fases Oddfire	Alternativo
Skip pulsos	4
Tipo señal de encendido	Caída de borde
Salida de chispa	Subiendo
Número de bobinas	Bobina única
Spark Un pin de salida (D14 preferido)	D14
Cam Input (see tooltip)	Entrada de Cam
Voltear la polaridad en Cam	Normal
Tipo de sistema de Rueda	Rueda fonica con mas de 1 diente faltante
Dientes de la rueda de desencadenador(dientes)	24
Dientes perdidos(dientes)	2

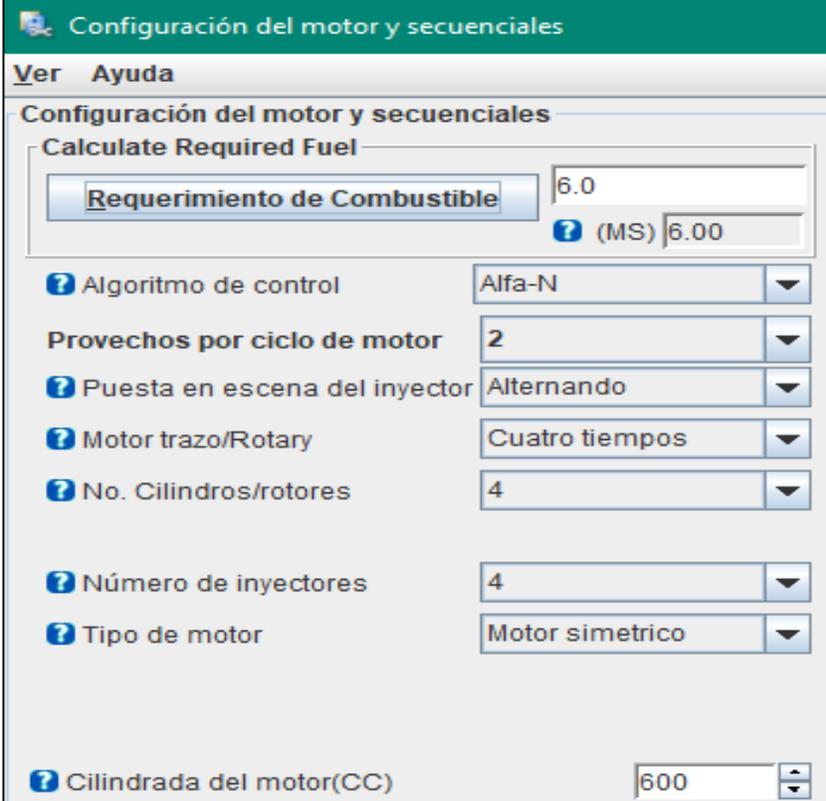
Configuración del motor

- Los inyectores con los que cuenta la unidad de potencia son inyectores de alta impedancia los cuales tienen una resistencia interna de 11,7 a 12,3 ohm a 20°C por lo cual se configura con siguientes datos.

Inyector Dead-Time / PWM	
Banco 1	
? Tiempo muerto del inyector @ .2v 13(MS)	1.000
? Corrección de voltaje de batería(MSV)	0.200
? PWM limitación actual	En
? Límite actual de PWM(%)	100
? Umbral de tiempo PWM(MS)	25.6
? Período PWM del inyector(nos)	66

Configuración del motor

- Iniciamos con la elección del algoritmo de control que en este caso será Alfa-N.
- Para la puesta en escena del inyector seleccionamos la opción alternando.
- Se seleccionan número de cilindros que tienen el motor y número de inyectores y se ingresa la cilindrada del motor.



Configuración del motor y secuenciales

Ver Ayuda

Configuración del motor y secuenciales

Calculate Required Fuel

Requerimiento de Combustible 6.0

(MS) 6.00

Algoritmo de control Alfa-N

Provechos por ciclo de motor 2

Puesta en escena del inyector Alternando

Motor trazo/Rotary Cuatro tiempos

No. Cilindros/rotores 4

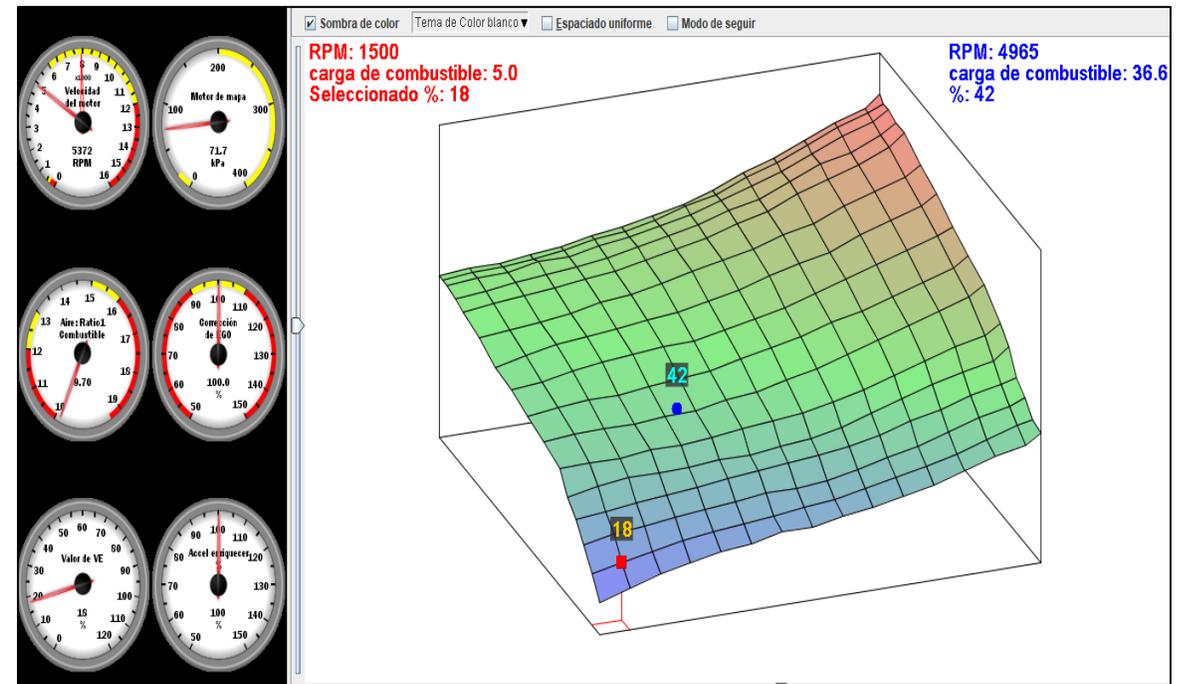
Número de inyectores 4

Tipo de motor Motor simetrico

Cilindrada del motor(CC) 600

Configuración del motor

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



Configuración del motor

- En la tabla de inyección podemos modificar las celdas incrementando o disminuyendo la carga de combustible en porcentaje, esta tabla consta de 3 parámetros los cuales son: señal del TPS en porcentaje, RPM y carga de combustible.
- Los intervalos de las revoluciones se modificaron 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.

	500	1500	2500	3500	4500	5500	6500	7500	8500	9500	10500	11500	12500	13500	14500	15000
100.0	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68	71	75	79	82	86
98.0	51	52	52	53	54	56	57	59	62	64	68	71	75	79	82	84
95.0	51	52	52	54	54	56	57	59	61	64	67	70	74	78	81	84
90.0	50	51	52	53	54	55	57	59	61	64	66	70	74	76	80	83
85.0	49	50	51	52	53	54	56	58	60	63	65	69	72	75	79	83
75.0	47	48	49	50	52	53	55	57	59	61	64	66	70	73	76	79
65.0	44	46	48	49	50	51	52	54	56	59	61	63	67	70	73	76
55.0	43	44	46	47	48	49	49	51	53	55	58	61	64	67	70	72
45.0	41	42	43	43	44	45	46	48	50	52	55	57	60	63	66	69
35.0	39	40	40	40	41	41	43	44	46	48	51	54	57	60	63	66
25.0	37	37	37	38	38	39	40	41	42	44	46	49	52	55	57	60
20.0	31	33	34	34	34	35	35	36	37	39	42	45	48	50	52	56
15.0	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	38	41	43	46	48	49
10.0	22	24	25	26	27	28	29	29	30	32	34	36	39	42	44	46
5.0	16	18	20	22	23	24	25	26	27	29	31	33	35	38	41	42
0.0	10	13	16	18	20	21	23	23	25	26	28	30	33	36	38	41

Configuración de parámetros característicos

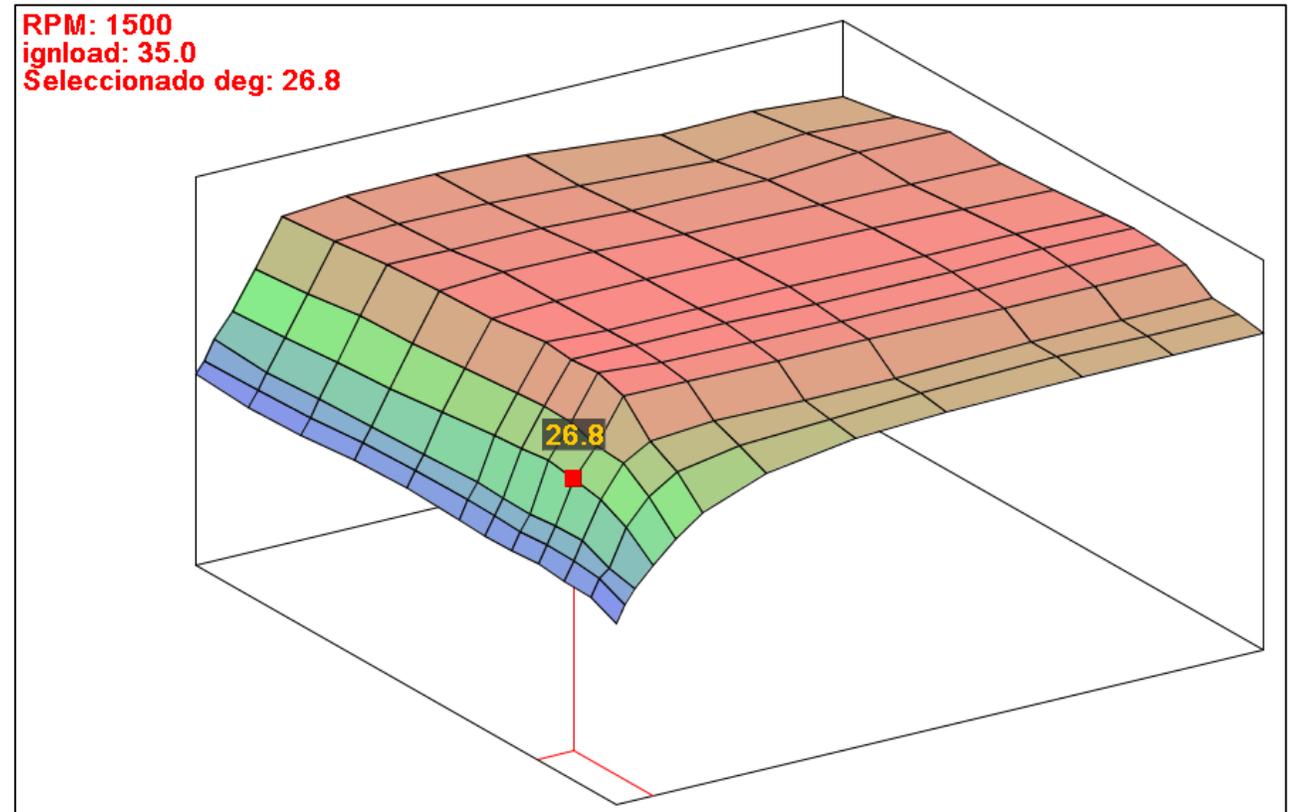
- En la tabla de inyección se fue variando la carga de combustible en porcentaje, según la ecuación del cálculo de la masa de combustible que ingresa al motor, por medio de estos cálculos según a nuestra necesidad de disminuir el consumo ocupamos un promedio de relación el cual se manifiesta en 12,5 partes de aire a 1 de combustible.

	500	800	1100	1400	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000
100.0	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.3	12.2	12.2
95.0	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.4	12.3	12.3
85.0	13.0	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.5	12.4
80.0	13.0	13.1	13.1	13.1	13.0	12.9	12.8	12.6	12.5	12.5	12.5	12.5
75.0	13.2	13.2	13.3	13.2	13.1	13.0	12.9	12.6	12.5	12.5	12.5	12.5
70.0	13.3	13.2	13.2	13.1	13.0	12.9	12.7	12.7	12.7	12.6	12.6	12.6
50.0	12.7	13.0	13.1	13.0	12.9	12.8	12.8	12.9	12.9	12.8	12.7	12.6
40.0	12.6	12.9	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.0	13.0	12.9	12.9	12.8
30.0	13.0	13.2	13.3	13.3	13.4	13.3	13.2	13.1	13.1	13.1	13.0	13.0
20.0	13.1	13.3	13.4	13.4	13.4	13.3	13.1	13.1	13.2	13.1	13.1	13.0
10.0	13.1	13.4	13.6	13.7	13.7	13.6	13.3	13.2	13.2	13.1	13.1	13.0
0.0	13.1	13.5	14.1	14.1	14.2	14.1	13.7	13.2	13.1	13.2	13.1	13.0
	500	800	1100	1400	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000



Configuración de parámetros característicos

- El mapa 3D de encendido, se puede observar que la mayoría del mapa se encuentra en un tono rojo, puesto que en altas revoluciones el motor necesita incrementar su avance al encendido para evitar detonación



Configuración de parámetros característicos

- La tabla de avance al encendido nos deja visualizar los grados antes de que el pistón llegue punto muerto superior y salte la chispa, en ralentí tenemos un rango bajo de grados de avance mientras suben las revoluciones del motor se aumenta los grados para evitar la detonación.

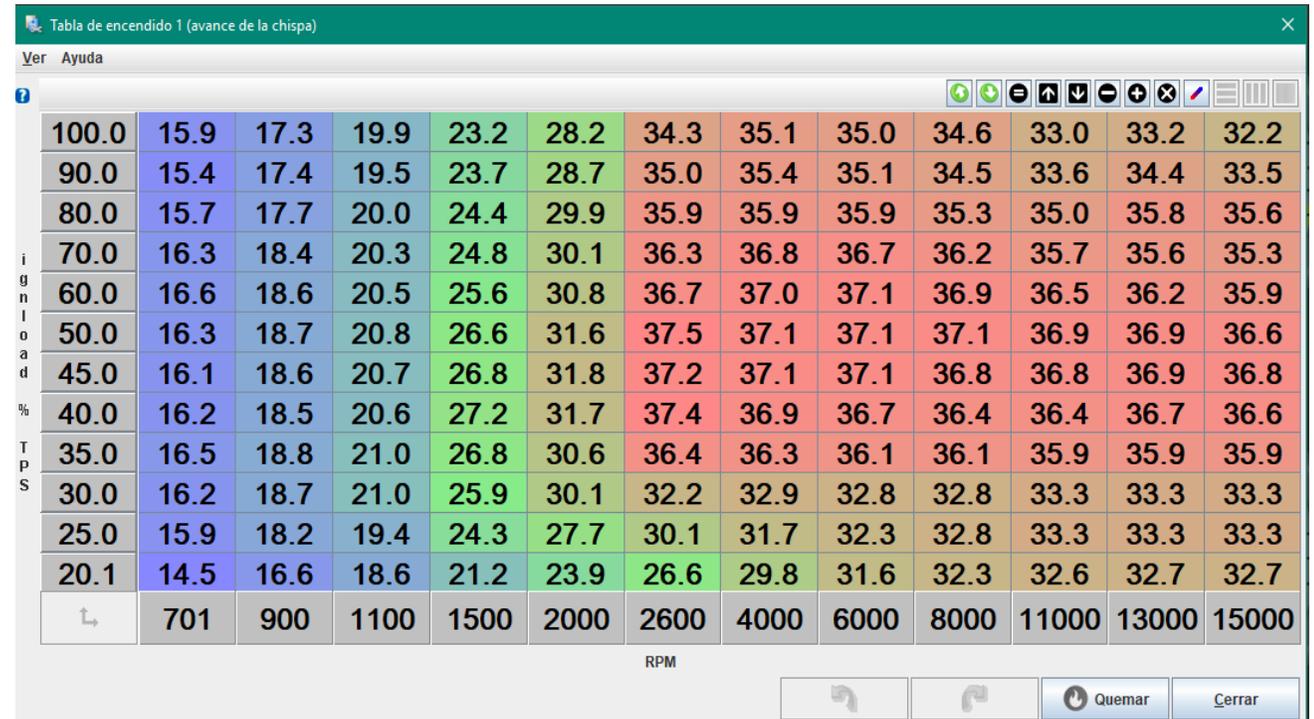


Tabla de encendido 1 (avance de la chispa)

	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
	701	900	1100	1500	2000	2600	4000	6000	8000	11000	13000	15000

RPM

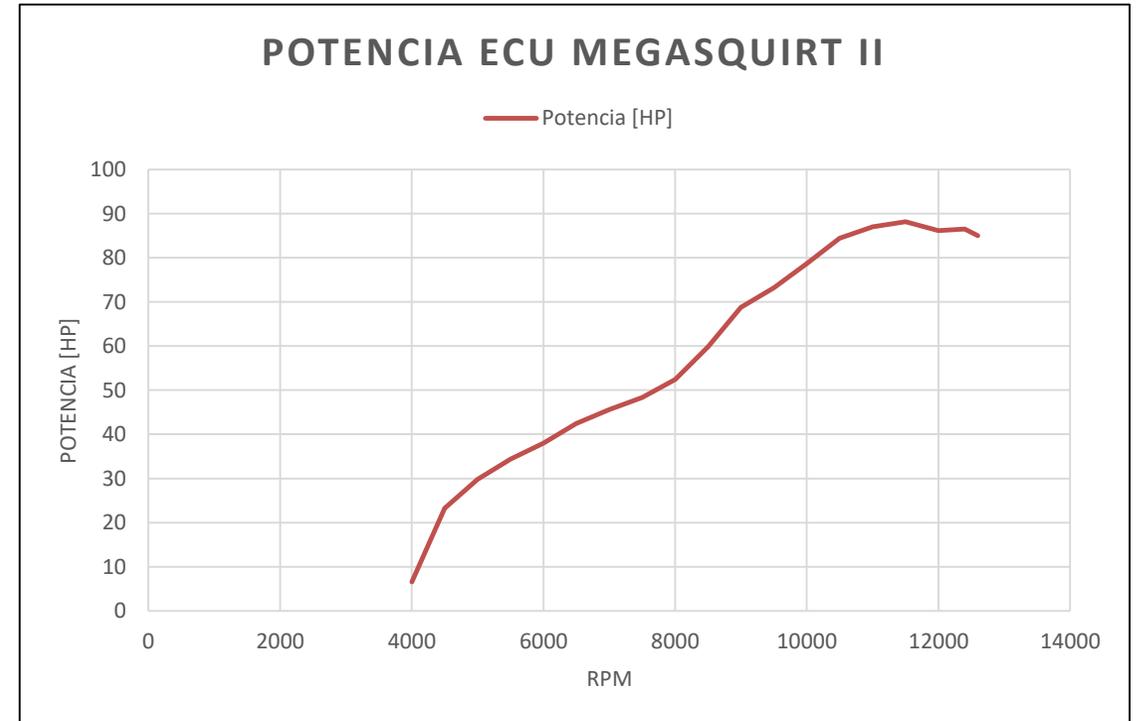
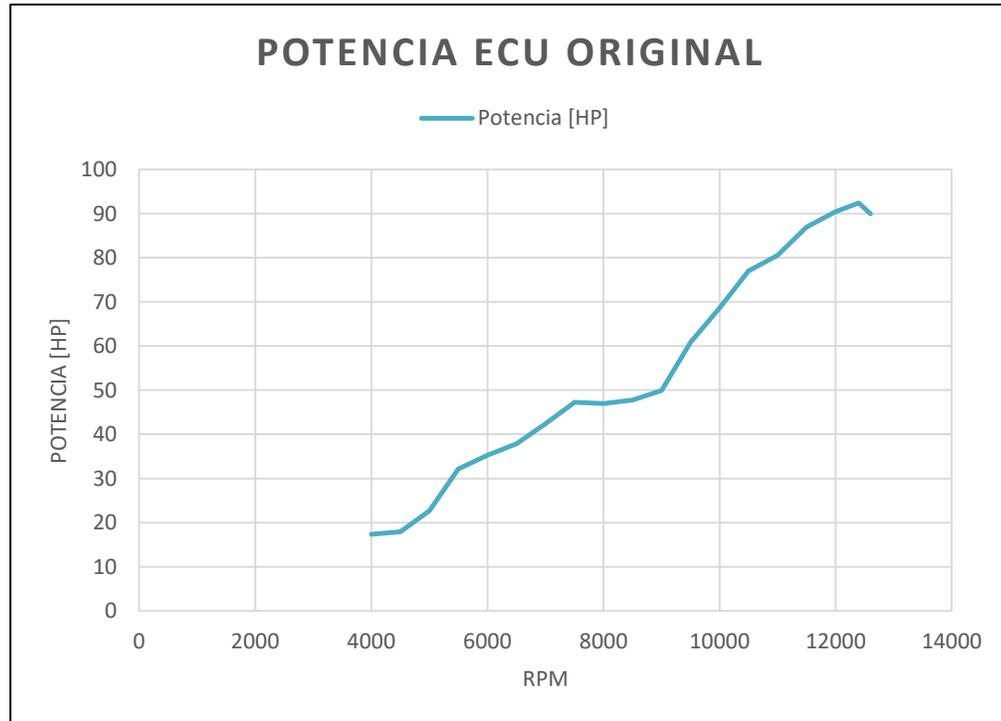
Quemar Cerrar

Análisis comparativo de rendimiento

- Se realizó la prueba en el dinamómetro de rodillos, donde se obtuvieron mediciones de torque y potencia del motor Kawasaki ZX-6R haciendo uso de la unidad electrónica de fábrica y la unidad electrónica programable



Análisis comparativo de potencia

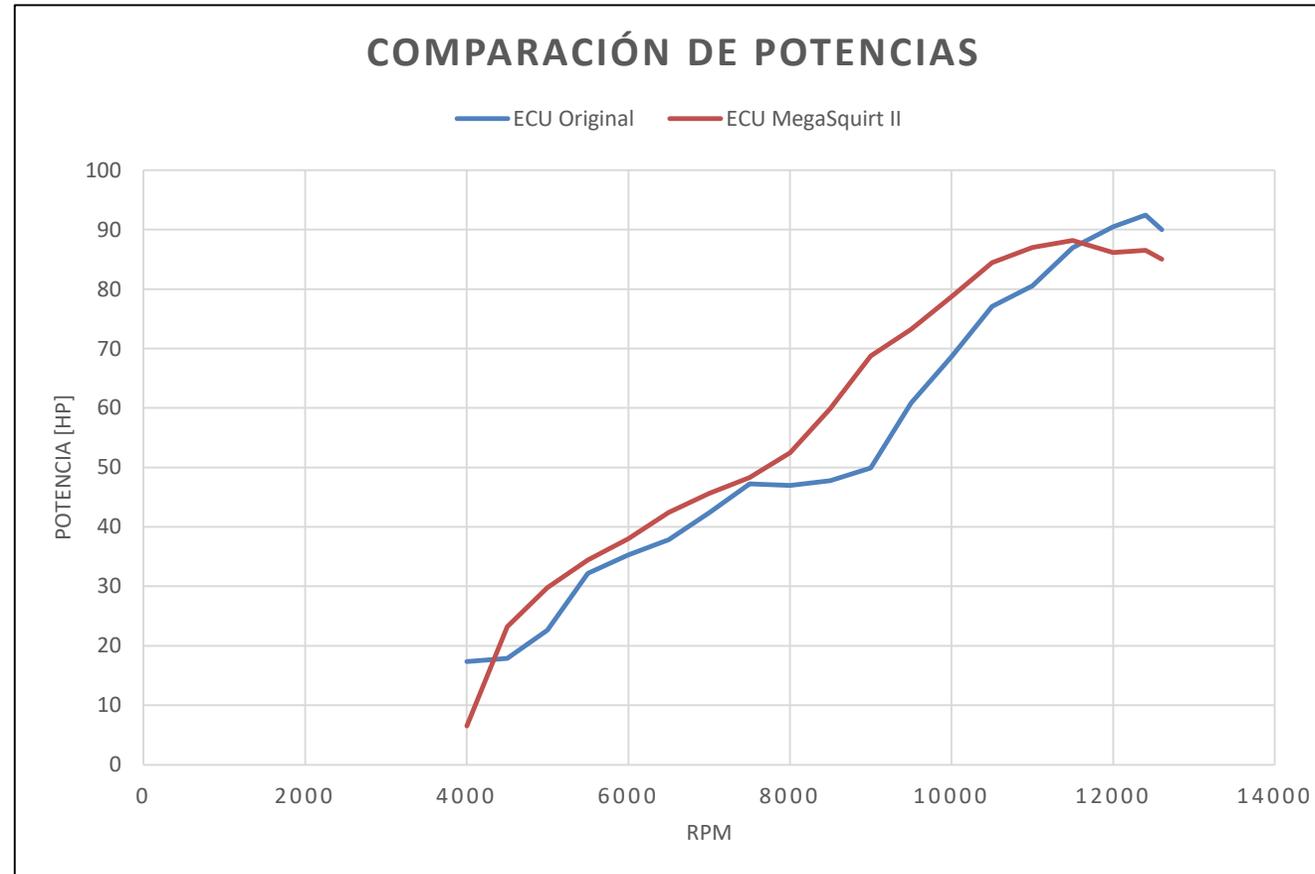


Porcentajes de ganancias en potencia al implementar una Unidad de Control Electrónica programable

RPM	Potencia [HP]	Potencia [HP]	Ganancia Neta	Porcentaje de Ganancia
	ECU Original	ECU MegaSquirt II		
4000	17,35	6,54	-10,81	-62,31%
4500	17,9	23,21	5,31	29,66%
5000	22,65	29,8	7,15	31,57%
5500	32,19	34,41	2,22	6,90%
6000	35,27	38,01	2,74	7,77%
6500	37,84	42,45	4,61	12,18%
7000	42,36	45,64	3,28	7,74%
7500	47,25	48,32	1,07	2,26%
8000	46,99	52,44	5,45	11,60%
8500	47,78	59,88	12,1	25,32%
9000	49,93	68,74	18,81	37,67%
9500	60,84	73,2	12,36	20,32%
10000	68,65	78,71	10,06	14,65%
10500	77,05	84,42	7,37	9,57%
11000	80,54	87,02	6,48	8,05%
11500	86,94	88,17	1,23	1,41%
12000	90,45	86,13	-4,32	-4,78%
12400	92,43	86,54	-5,89	-6,37%
12600	89,98	85,02	-4,96	-5,51%

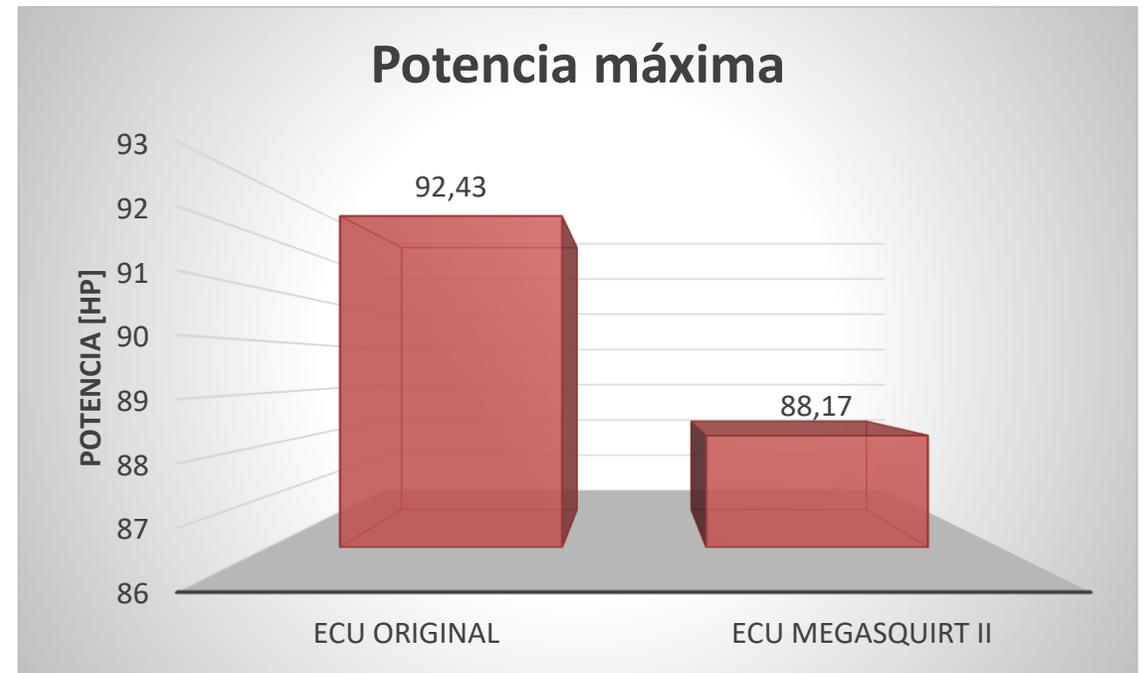


Comparación de curvas de potencia vs rpm del motor con ECU original y MegaSquirt II



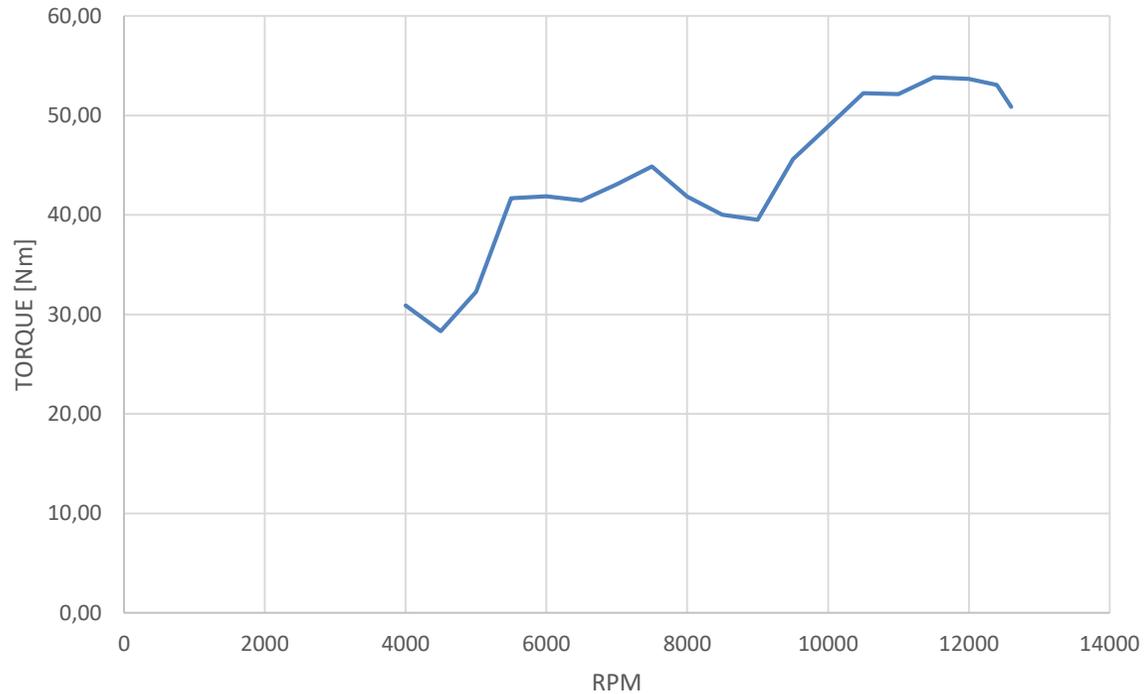
Porcentaje de pérdida en potencia al implementar una Unidad de Control Electrónica programable

	RPM	Potencia [HP]
ECU Original	12400	92,43
ECU MegaSquirt II	11500	88,17
Pérdida Neta		4,26
Porcentaje		4,61%

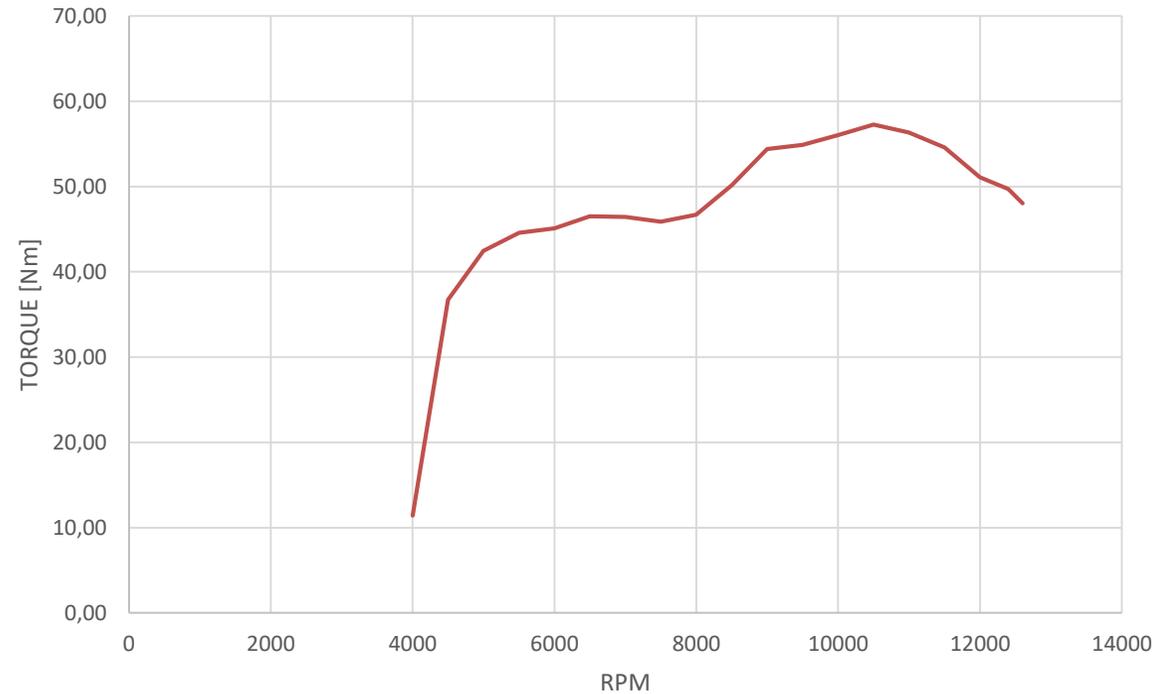


Análisis comparativo de torque

Torque ECU Original



Torque ECU MegaSquirt II

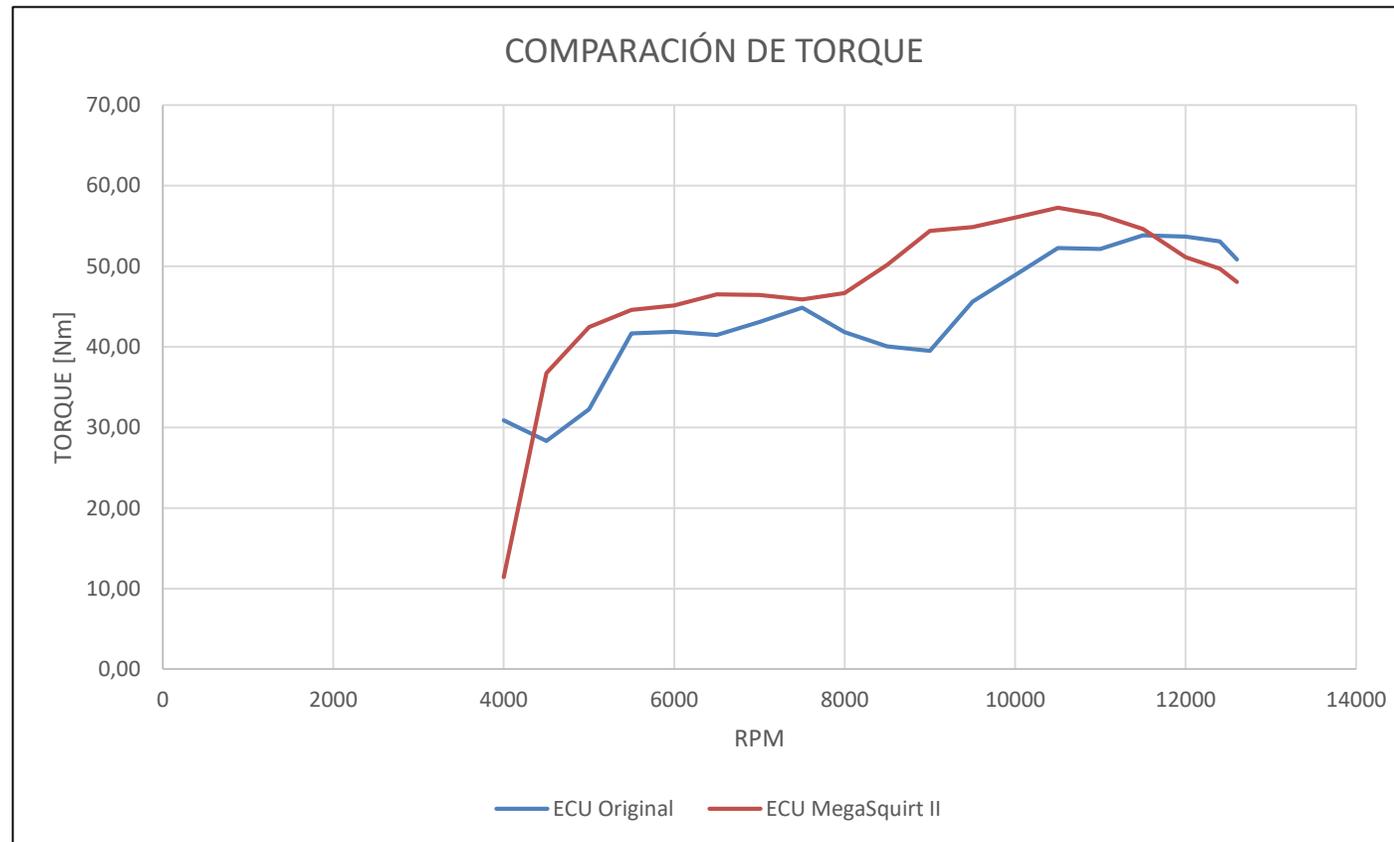


Porcentajes de ganancias en torque al implementar una Unidad de Control Electrónica programable

RPM	Torque [Nm]	Torque [Nm]	Ganancia Neta	Porcentaje de Ganancia
	ECU Original	ECU MegaSquirt II		
4000	30,89	11,43	-19,46	-63,01%
4500	28,32	36,73	8,41	29,68%
5000	32,27	42,45	10,18	31,55%
5500	41,68	44,57	2,89	6,93%
6000	41,87	45,11	3,24	7,74%
6500	41,45	46,50	5,06	12,20%
7000	43,09	46,42	3,34	7,74%
7500	44,86	45,88	1,02	2,27%
8000	41,83	46,68	4,85	11,60%
8500	40,04	50,15	10,11	25,26%
9000	39,51	54,40	14,89	37,68%
9500	45,61	54,87	9,26	20,30%
10000	48,89	56,05	7,16	14,64%
10500	52,25	57,26	5,00	9,57%
11000	52,14	56,33	4,19	8,03%
11500	53,83	54,60	0,77	1,44%
12000	53,66	51,10	-2,56	-4,78%
12400	53,08	49,69	-3,39	-6,39%
12600	50,86	48,05	-2,81	-5,52%

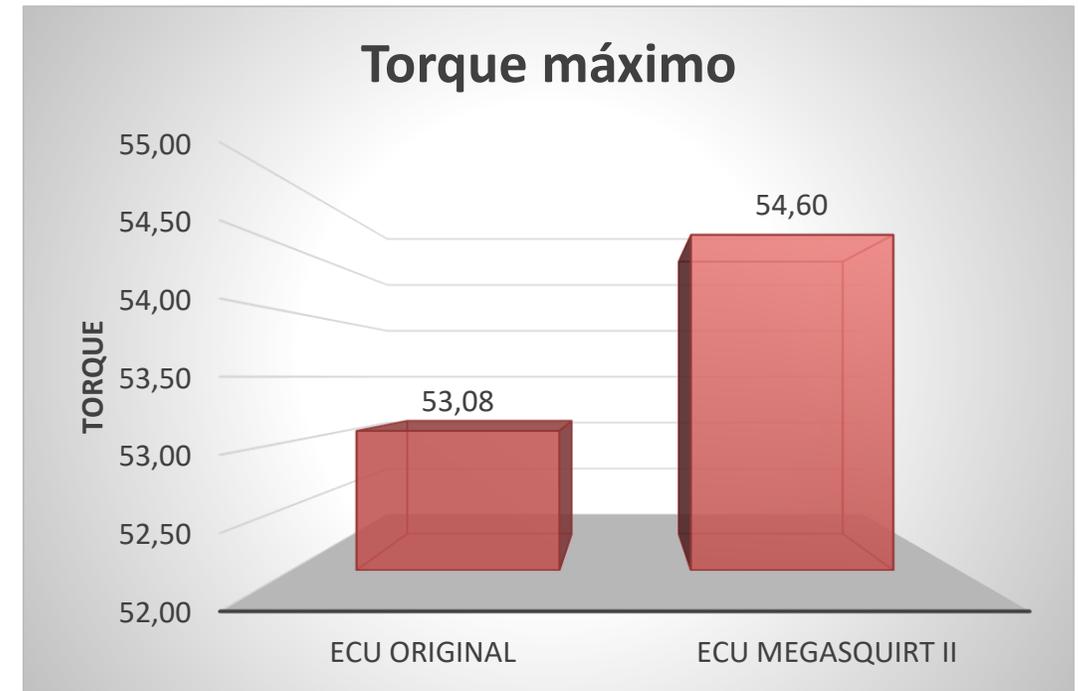


Comparación de curvas de torque vs rpm del motor con ECU original y MegaSquirt II



Porcentaje de ganancia en torque al implementar una Unidad de Control Electrónica programable

	RPM	Torque [Nm]
ECU Original	12400	53,08
ECU MegaSquirt II	11500	54,60
Ganancia Neta		1,52
Porcentaje		2,86%



Consumo de combustible

- Para las pruebas de consumo de combustible se tomó como referencia la ruta que consiste entre los 2 redondeles del anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en el campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara, el mismo tiene una distancia de 885,07 metros comprendidos en una vuelta.
- Se realizaron un total de 10 vueltas, en cada prueba se recorrió en total una distancia de 8850,70 metros.



Prueba de consumo de combustible con ECU original

- Para empezar a realizar las pruebas de consumo de combustible, se suministró al tanque con la ayuda de 2 probetas medidoras en mililitros, con la cantidad de 2lt de combustible, al finalizar la prueba se drenó el tanque y se restó la diferencia para obtener el combustible gastado



Combustible	Volumen [ml]
Ingresado	2000
Extraído	915
Consumido	1085

Prueba de consumo de combustible con ECU MegaSquirt II

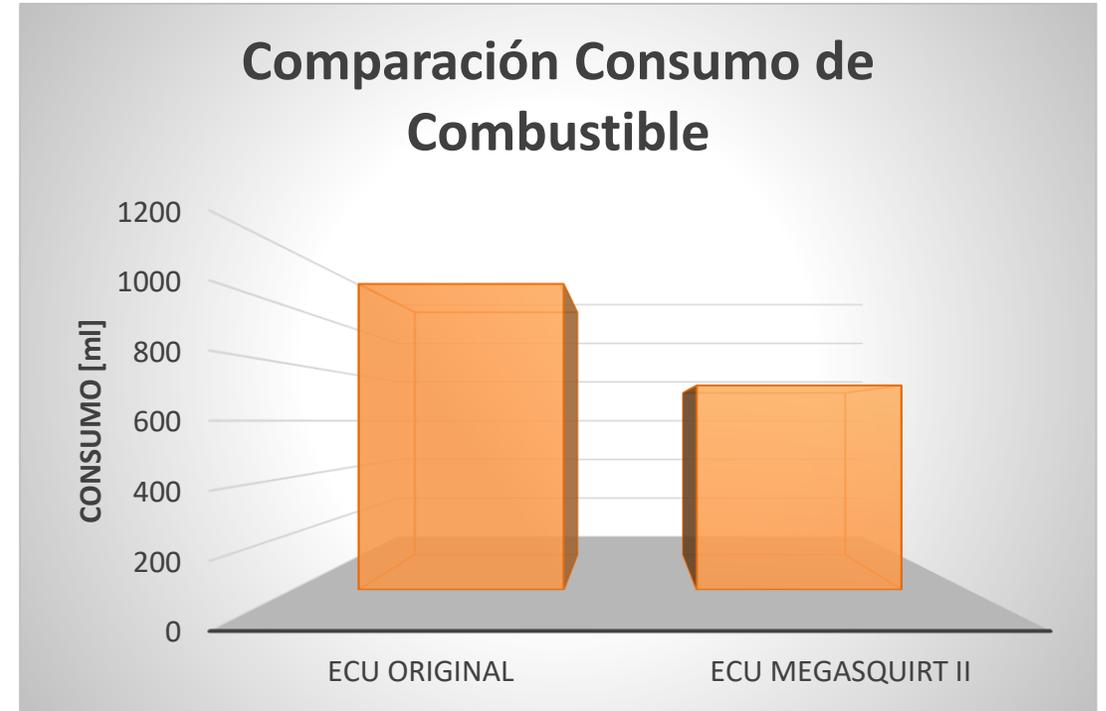
- Para esta prueba de consumo de combustible se realizó el mismo procedimiento se suministró al tanque la cantidad de 2lt de combustible, al finalizar la prueba se drenó el tanque y se restó la diferencia para obtener el combustible gastado.

Combustible	Volumen [ml]
Ingresado	2000
Extraído	1275
Consumido	725



Comparación de consumo de combustible

Combustible Consumido	
	[ml]
ECU Original	1085
ECU MegaSquirt II	725
Ganancia Neta	360
Porcentaje	33,18%

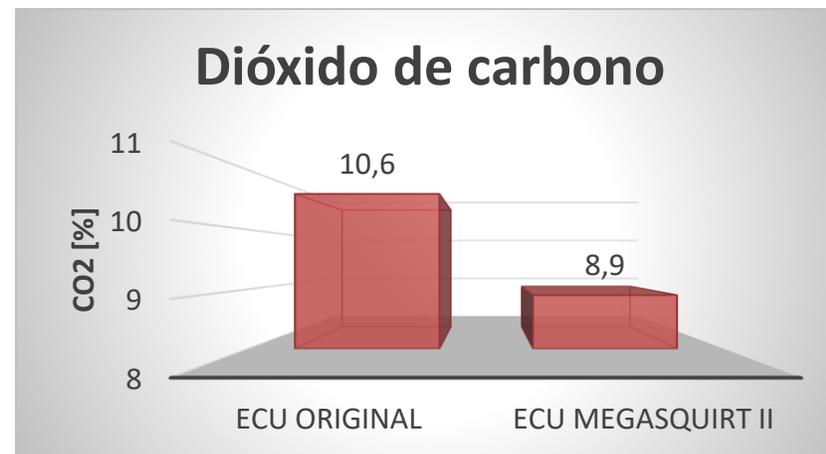
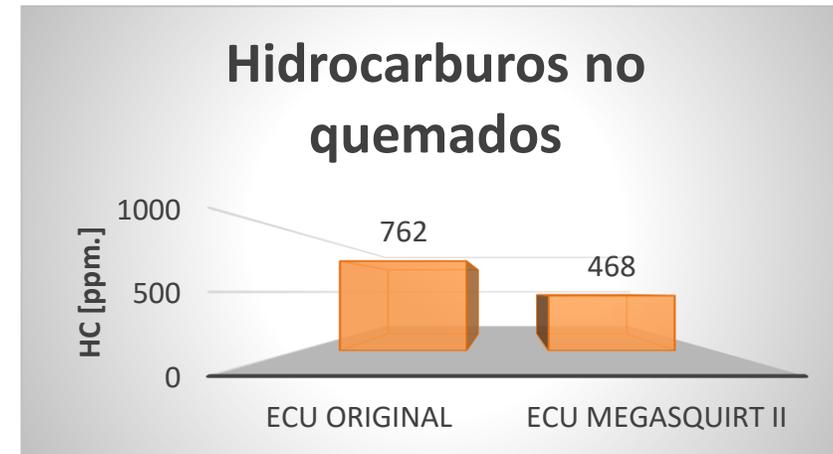
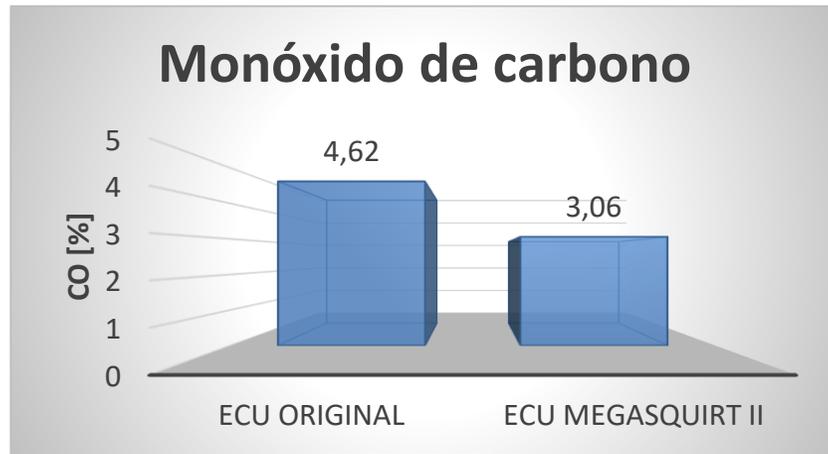


Comparación de análisis de gases en ralentí

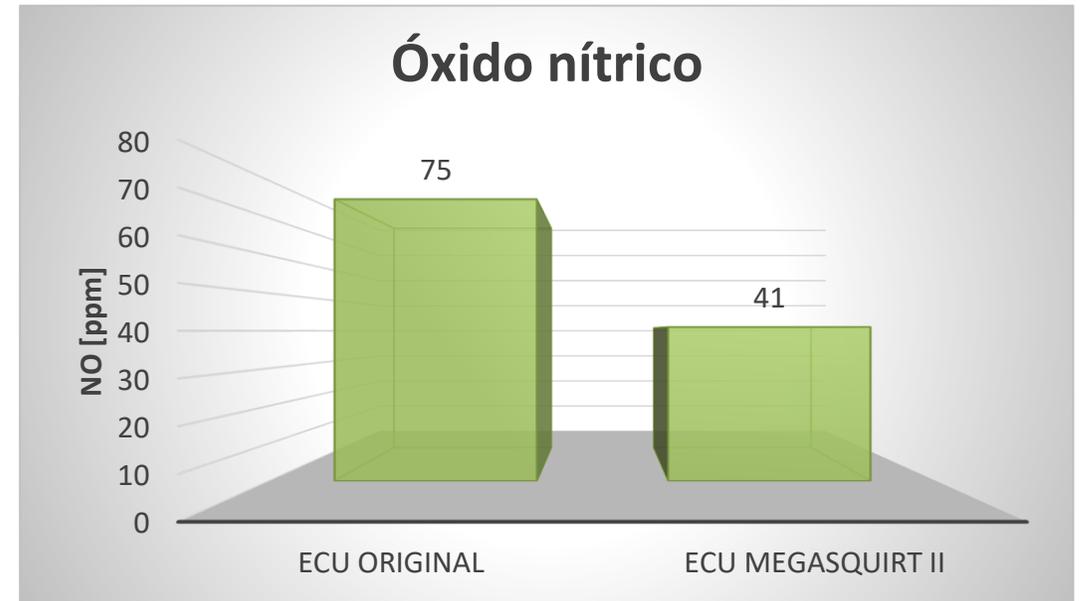
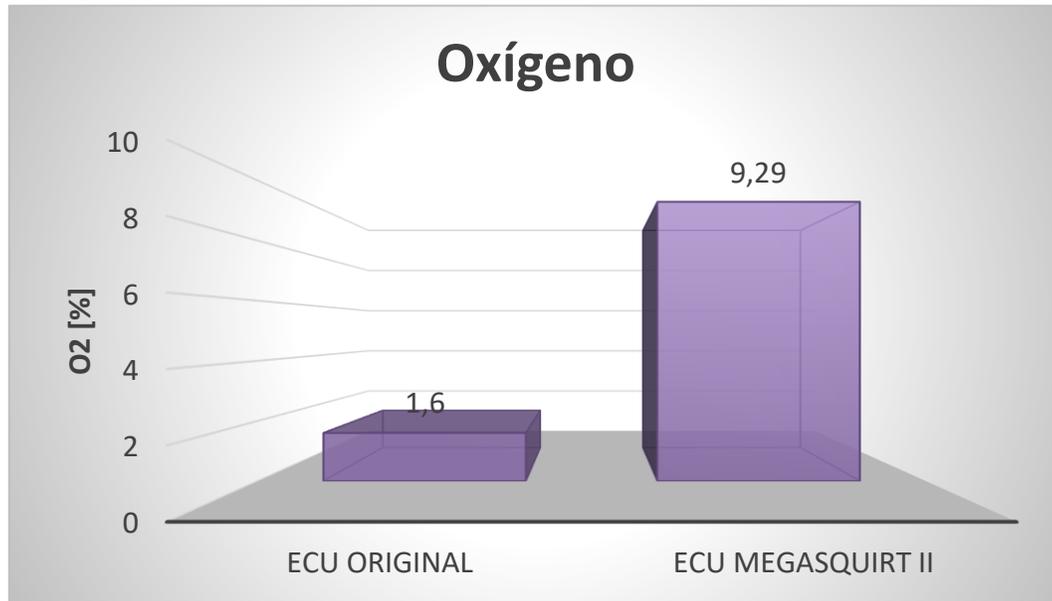
	ECU original	ECU MegaSquirt II	Ganancia Neta	Porcentaje
RPM	1050	1920		
CO [%]	4,62	3,06	-1,56	-33,77%
CO ₂ [%]	10,6	8,9	-1,7	-16,04%
HC [ppm.]	762	468	-294	-38,58%
O ₂ [%]	1,6	9,29	7,69	480,63%
NO [ppm]	75	41	-34	-45,33%



Comparación de análisis de gases en ralentí



Comparación de análisis de gases en ralentí

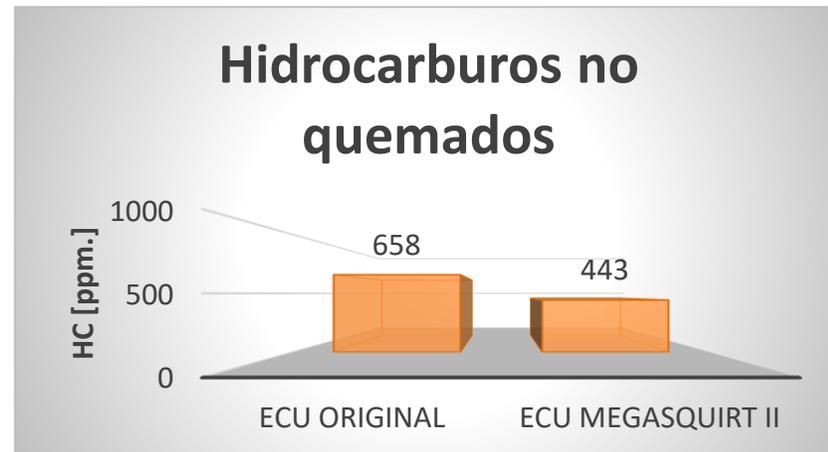
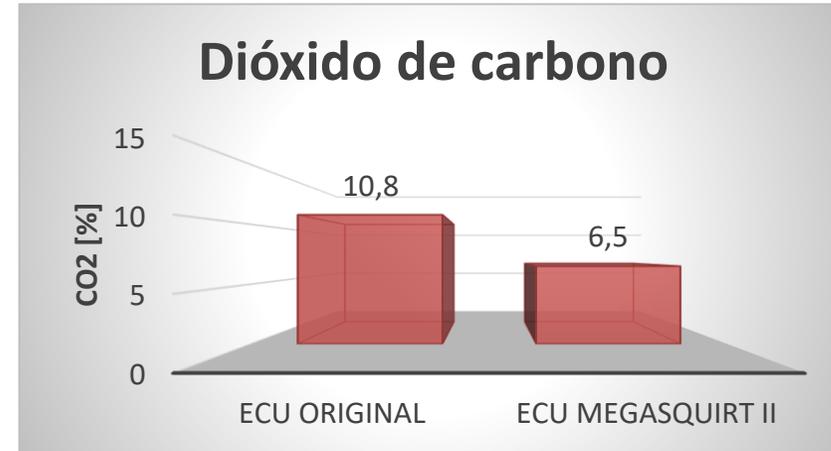
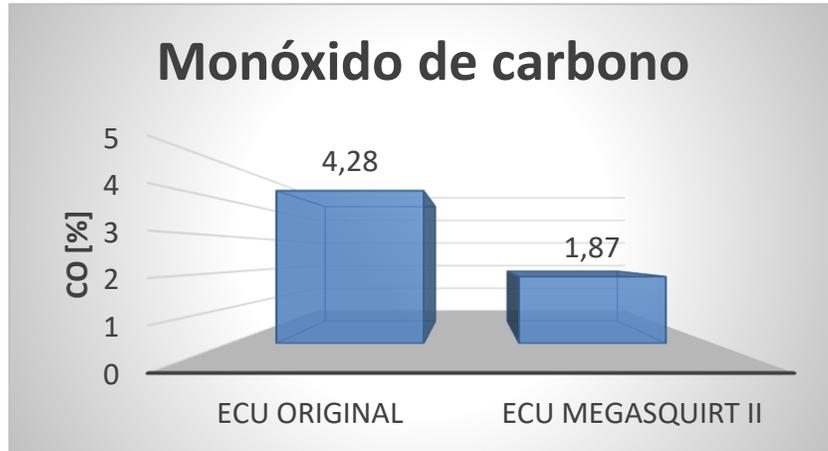


Comparación de análisis de gases a 3000 RPM

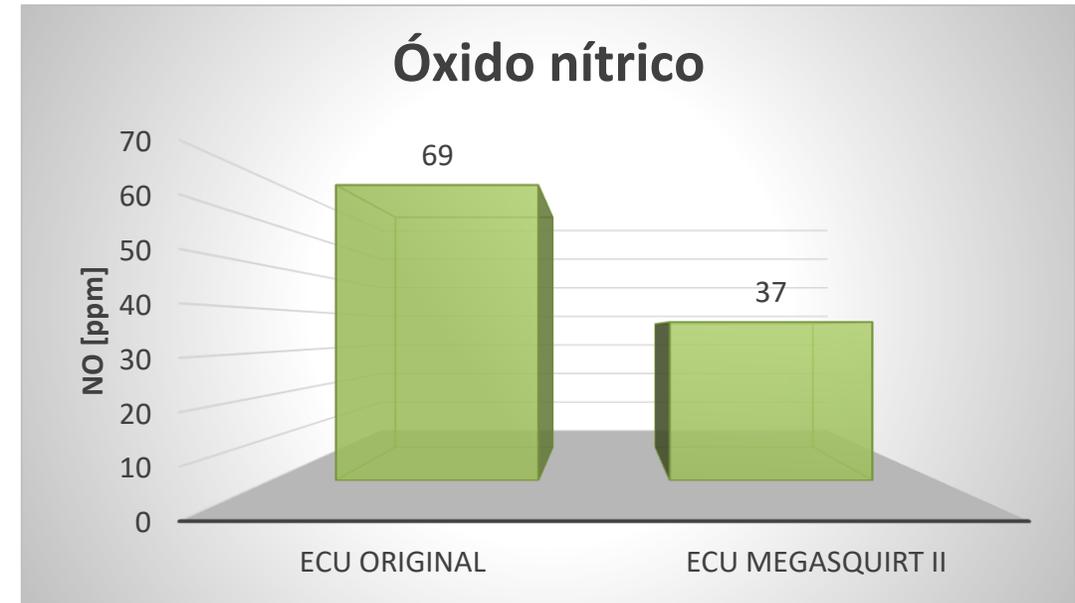
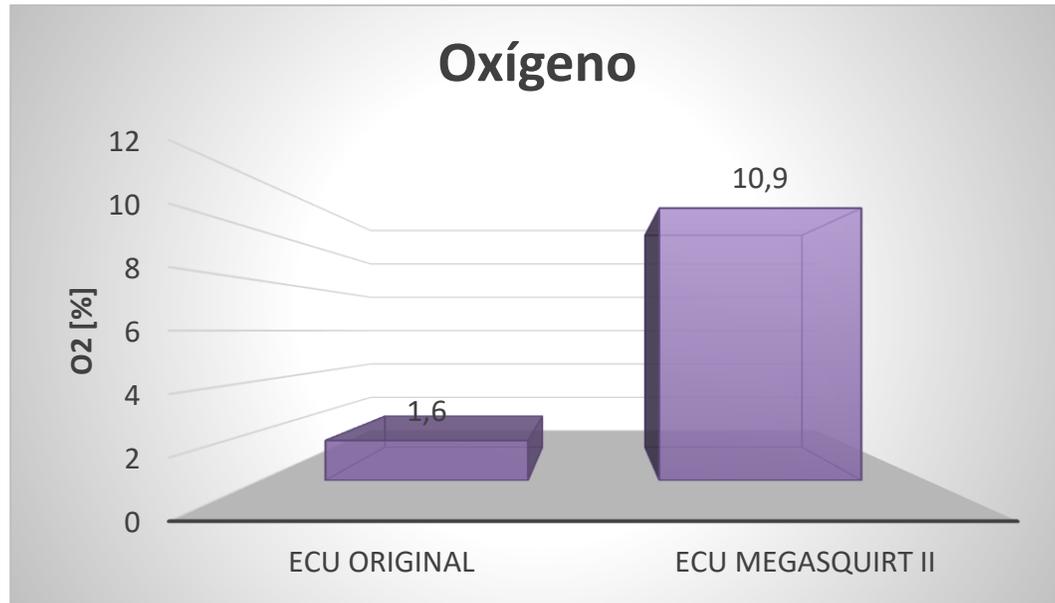
	ECU original	ECU MegaSquirt II	Ganancia Neta	Porcentaje
RPM	3020	3170		
CO [%]	4,28	1,87	-2,41	-56,31%
CO ₂ [%]	10,8	6,5	-4,3	-39,81%
HC [ppm.]	658	443	-215	-32,67%
O ₂ [%]	1,6	10,9	9,3	581,25%
NO [ppm]	69	37	-32	-46,38%



Comparación de análisis de gases a 3000 RPM



Comparación de análisis de gases a 3000 RPM

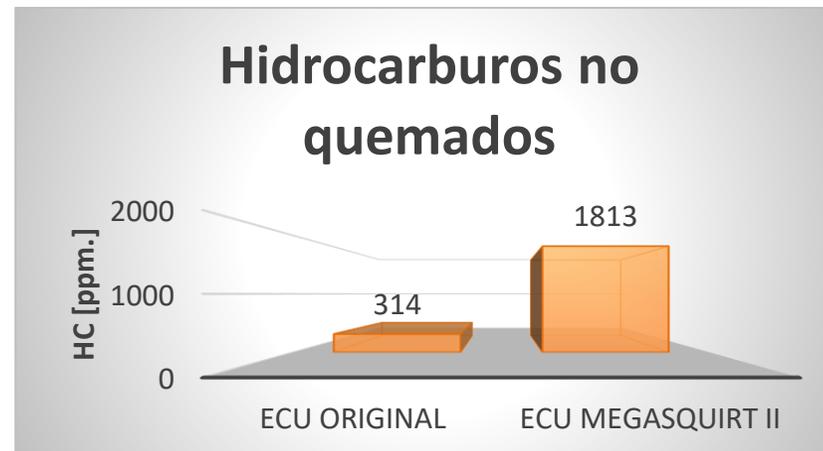
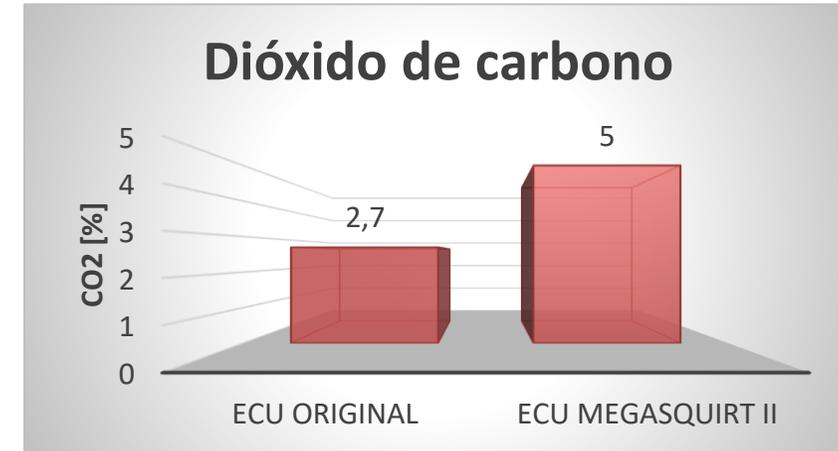
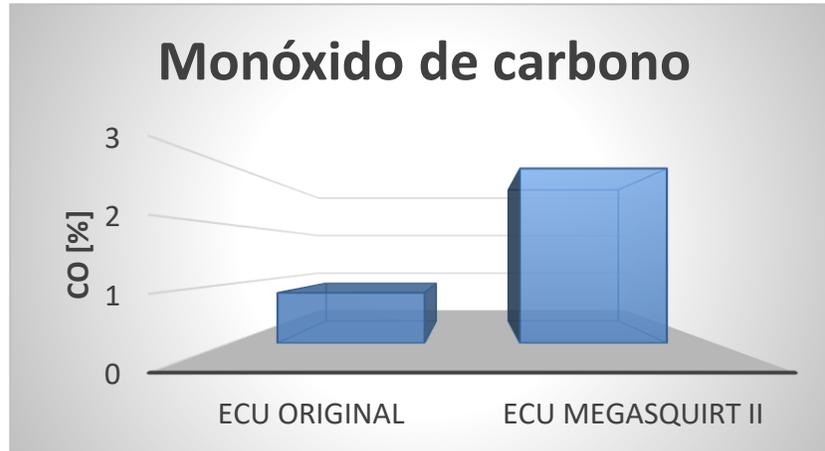


Comparación de análisis de gases a 6000 RPM

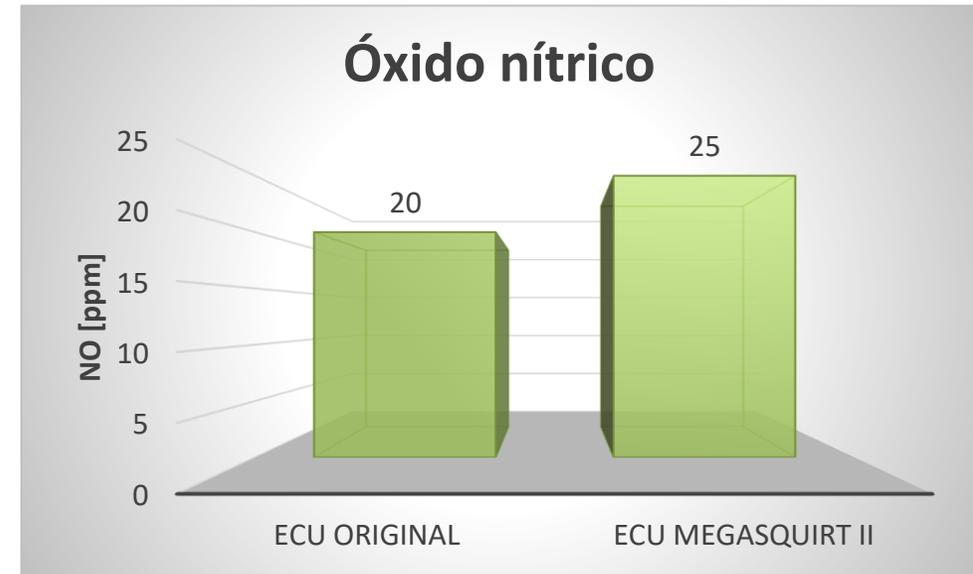
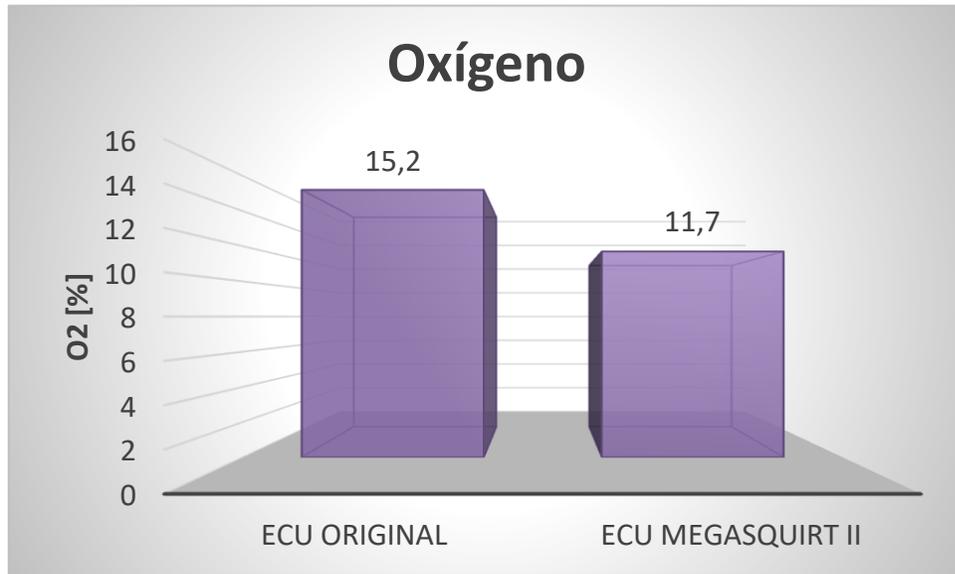
	ECU original	ECU MegaSquirt II	Ganancia Neta	Porcentaje
RPM	5840	6260		
CO [%]	0,85	2,95	2,1	247,06%
CO ₂ [%]	2,7	5	2,3	85,19%
HC [ppm.]	314	1813	1499	477,39%
O ₂ [%]	15,2	11,7	-3,5	-23,03%
NO [ppm]	20	25	5	25,00%



Comparación de análisis de gases a 6000 RPM



Comparación de análisis de gases a 6000 RPM

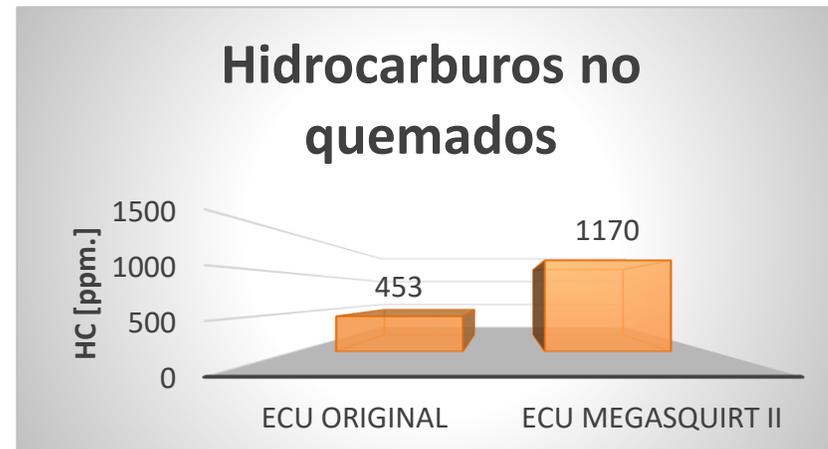
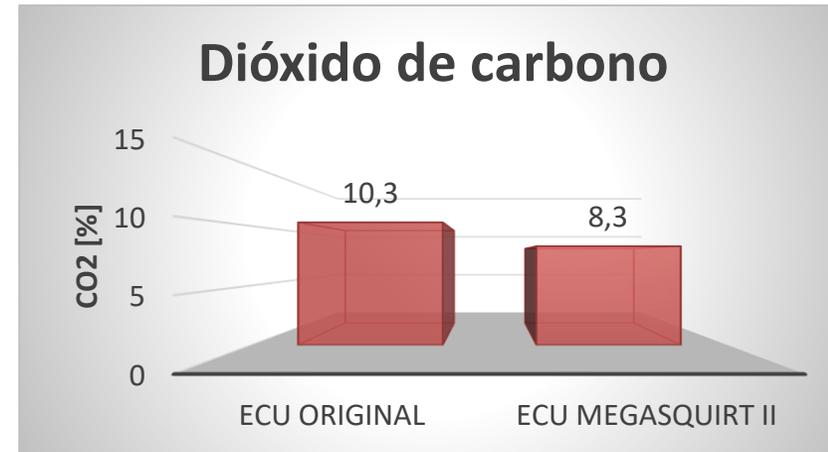
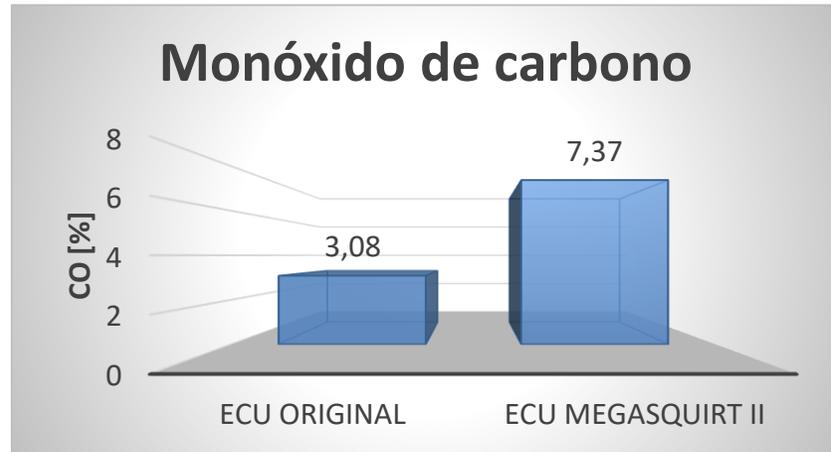


Comparación de análisis de gases a 9000 RPM

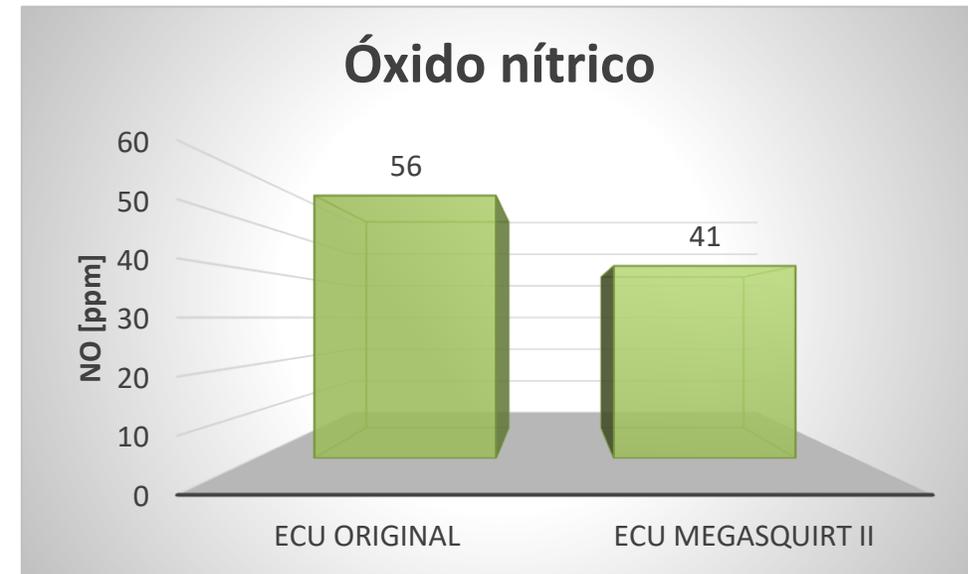
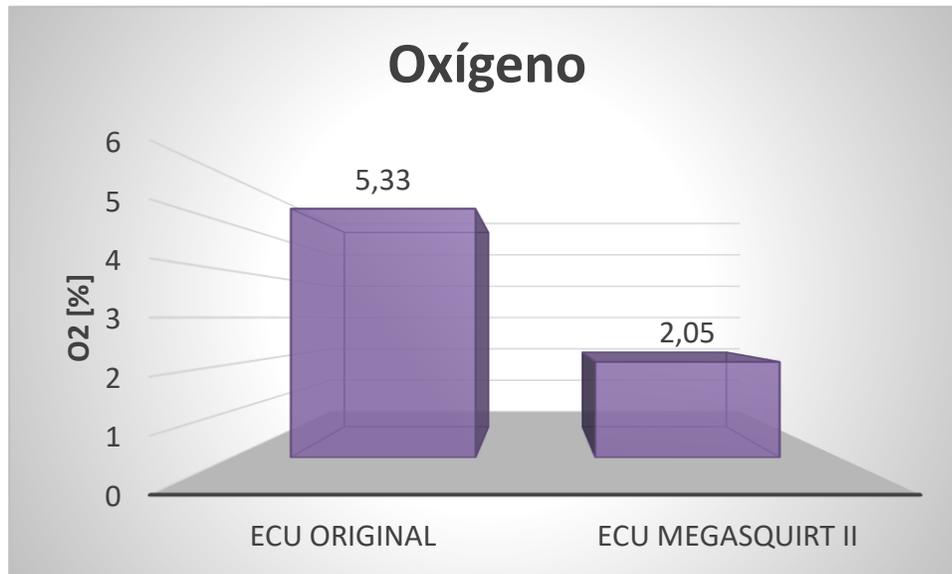
	ECU original	ECU MegaSquirt II	Ganancia Neta	Porcentaje
RPM	9040	9110		
CO [%]	3,08	7,37	4,29	139,29%
CO ₂ [%]	10,3	8,3	-2	-19,42%
HC [ppm.]	453	1170	717	158,28%
O ₂ [%]	5,33	2,05	-3,28	-61,54%
NO [ppm]	56	41	-15	-26,79%



Comparación de análisis de gases a 9000 RPM



Comparación de análisis de gases a 9000 RPM



Conclusiones

- Se investigó en fuentes bibliográficas confiables, como reducir el consumo de combustible y gases contaminantes al implementar una Unidad de Control Electrónica programable.
- Se realizó mediciones de parámetros característicos del motor Kawasaki ZX-6R bajo el funcionamiento de la ECU de fábrica.
- 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 realizó una conexión en paralelo de la MegaSquirt II hacia el arnés de la ECU de fábrica, utilizando los sensores propios del motor.



- Se calculó los parámetros necesarios los cuales fueron ingresados al software dedicado para el previo arranque del motor.
- Se realizó el mapeo de control electrónico de parámetros de funcionamiento del motor, donde se modificó los valores de las tablas y mapas de inyección de combustible y de encendido.
- Se implementó protecciones al motor ajustando valores de avance en frío y limitador de revoluciones.
- Se realizó pruebas de torque y potencia con cada una de las Unidades de Control en un dinamómetro de rodillo cuyos resultados evidenciaron un aumento de potencia y torque comprendido entre los 4500 y 11500 rpm de 15,11% en promedio, teniendo en cuenta a las 9000 rpm el aumento de la potencia y del torque es de 37,67%; observando que a la potencia máxima se reduce un 4,61% de potencia y se evidencio un aumento del 2,86% del torque máximo con una ganancia neta de 1,52 Nm.



- Una vez implementado el mapeo a la Unidad de Control programable se evidenció una disminución del consumo de combustible del 33,18%, determinado en un circuito de 8850,70 metros de distancia.
- Existió una reducción de emisión de gases de escape a ralentí y 3000 revoluciones por minuto del motor.
- Se evidenció un aumento de los niveles de gases contaminantes a un régimen de giro de 6000 revoluciones.
- A las 9000 revoluciones se obtuvo una reducción de los parámetros de dióxido de carbono, óxido nítrico y oxígeno, se evidenció un aumento en los parámetros restantes monóxido de carbono y de los hidrocarburos no quemados.



Recomendaciones

- Revisar el manual de servicio del motor para verificar el orden de encendido del motor, para realizar la correcta instalación del nuevo arnés y evitar problemas al encender el motor.
- Evitar tener conectada la batería al momento de realizar conexiones eléctricas al arnés de fábrica para evitar cortocircuitos que puedan causar daños a ECU de fábrica.
- Se recomienda mientras se realiza el cambio de los valores de los mapas de inyección y encendido contar con una Wideband para conocer el valor de la mezcla estequiométrica aire combustible, para evitar mezclas pobres que puedan producir daños al motor.
- Para evitar pérdidas en torque y potencia se recomienda aumentar la carga de combustible en la tabla de inyección.



- Se recomienda al momento de hacer uso del limitador de revoluciones conocer el régimen máximo de giro al cual estará sometido el motor Kawasaki, evitando de esta manera que la unidad de potencia llegue a regímenes de giro demasiado altos que puedan causar daños irreversibles al mismo.
- Reemplazar los filtros del analizador de gases Brain Bee AGS-688 al momento de realizar pruebas de análisis de gases para evitar lecturas erróneas de las emisiones de gases producidas por el vehículo.
- Verificar la trampa de agua del equipo analizador de gases en caso de presencia de agua proceder al drenado.
- Evitar tener conectadas ambas ECU's al encender el motor del vehículo para no confundir los datos con los cuales va a trabajar el motor.

