

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

**“INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA
250 CC PARA LA COMPETICIÓN MOTOSTUDENT AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA
PROGRAMABLE MICROSQUIRT”**

Autor: Veloz Dominguez, Jefferson Wladimir

Director: Ing. Erazo Laverde, Germán Washington



Objetivo general

Investigar el desempeño mecánico del motor a combustión interna 250 cc para la competencia MOTOSTUDENT al implementar un sistema programable microsquirt.

Objetivos específicos

- Obtener información de fuentes bibliográficas confiables, tales como artículos científicos para la reprogramación de ECUs.
- Determinar los componentes electrónicos necesarios que cumplan con la solicitud de la computadora microsquirt, para el manejo correcto de la gestión motor.
- Implementar el sistema reprogramable MICROSQUIRT configurable desde PC.
- Elaborar mapas tridimensionales de inyección y encendido para un funcionamiento en condiciones normales de funcionamiento.

- Realizar la matematización de los parámetros teóricos y mecánicos del motor de combustión interna.
- Configurar los mapas tridimensionales tanto de encendido como de inyección para mejorar el desempeño mecánico.
- Realizar pruebas de desempeño para determinar la potencia, torque consumo de combustible y emisiones posteriores a la reprogramación.
- Desarrollar el análisis comparativo de potencia, torque, consumo, emisiones antes y después de la reprogramación

Motor de combustión interna KTM 250 cc



Diseño	Motor mono cilindro de 4 tiempos
Potencia	30.87HP/9000 rpm
Torque	24Nm/7250 rpm
Cilindrada	248.8 cm ³
Carrera	72 mm
Diámetro	61.6mm
Relación de compresión	12.5:1
Características de culata	4 válvulas, distribución por cadena
Diámetro de válvula de admisión	29 mm
Diámetro de válvula de escape	24mm
Soportes de cigüeñal	Rodamientos flotantes
Pistón	Aluminio super ligero
Lubricación del motor	Circuito de presión de lubricación con 2 bombas rotativas
Refrigeración	Coolant
Arranque	Arranque eléctrico

Características de la motocicleta STOLIKA



Características	Valores
Distancia entre ejes	1330 mm
Altura de centro de gravedad	530 mm
Materia de construcción	Acero extruido ASTM A35
Diámetros de tubo principal	1 inch
Espesor de tubo	2 mm
Diámetro de tubo secundario	½ inch
Diámetro de rueda	16 inch y 17 inch
Relación de transmisión final	13/39
Peso	146 Kg
Tipo de suspensión delantera	Horquilla mecánica
Tipo de suspensión posterior	Amortiguador y resorte en conjunto

Sistema de inyección programable MICROSQURT



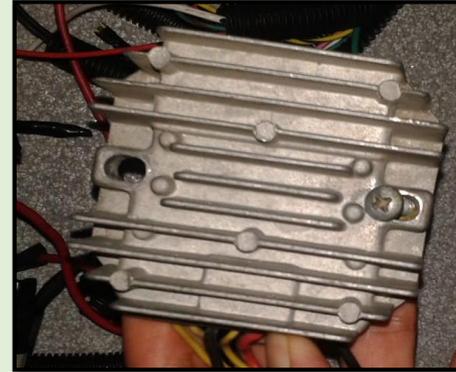
Especificaciones	Descripción
Logaritmo de control	MAP, MAF, Alpha N(TPS)
Velocidad de pulsos de inyección	de 0,66 micro segundos
Control de rotación	CKP, CMP
Correcciones	IAT, ECT, MAP, BARO
Enriquecimiento	Started, After started
Entradas	5 programables
Salidas	5 programables
Controles	Launch control, antilag, boost
AFR	Habilitado
Corrección barométrica	Habilitado

Selección e implementación de componentes periféricos.

Componente

Figura

Regulador de voltaje



Batería



Switch de encendido



Botón de arranque



relés

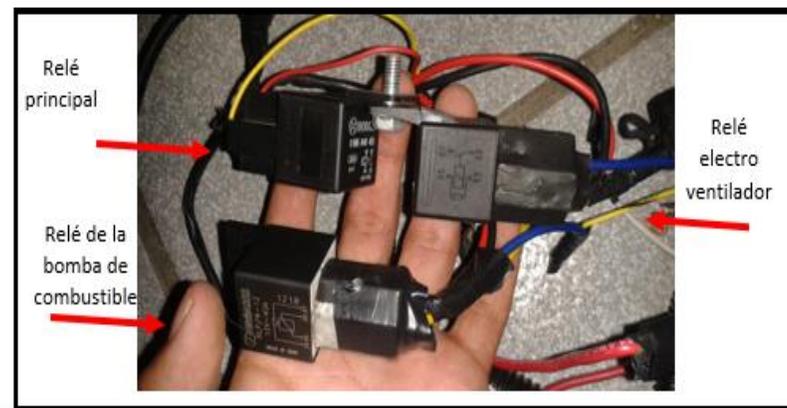
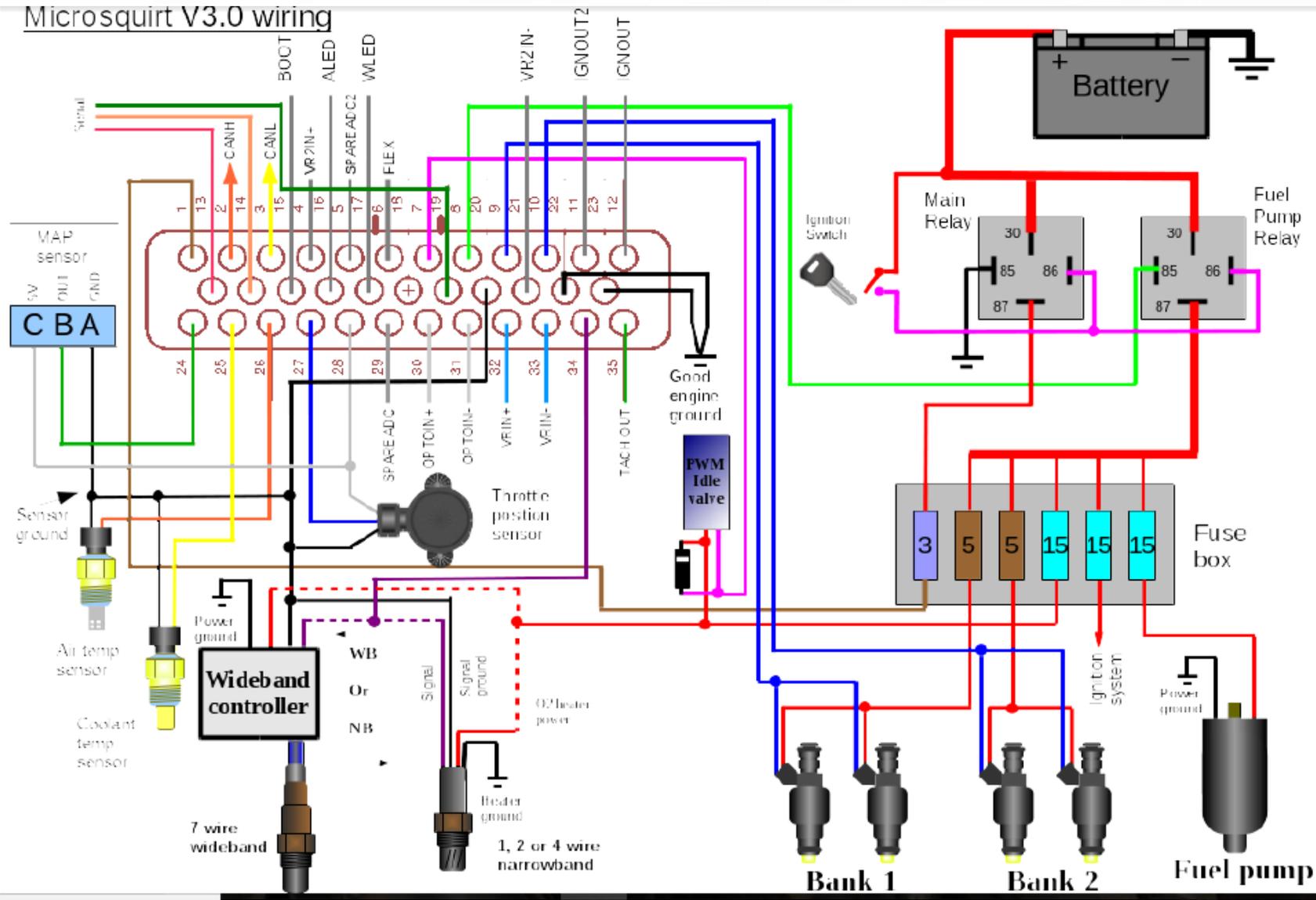


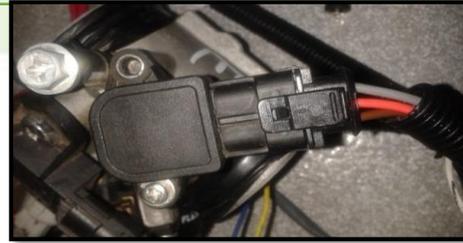
Diagrama de instalación



Selección de implementación de sensores y actuadores

Componente	figura
Cuerpo de aceleración	
Sensor MAP + IAT	

Sensor TPS



Sensor ECT



Sensor CKP



inyector



Bobina de encendido



Bomba de combustible



Electroventilador





TUNERSTUDIO MS

2D VE Table 1 Tuning

File Tools Edit Bins

2D VE Table 1 Tuning

3D View

kPa	74	81	86	91	95	97	100	105	111	114	113	108
95.0	72	77	82	87	90	93	95	100	105	109	108	103
85.0	68	70	73	78	81	83	86	90	94	98	97	93
80.0	65	66	69	73	76	78	82	86	90	93	92	88
75.0	61	62	65	69	72	75	79	82	85	89	88	84
70.0	57	59	61	65	69	72	76	78	81	85	85	80
60.0	52	51	52	55	62	67	71	73	75	79	77	71
55.0	48	46	48	50	58	65	69	71	73	77	75	69
50.0	43	42	43	45	54	63	66	69	71	75	73	67
45.0	38	37	39	44	53	61	65	67	69	73	71	66
35.0	29	29	32	38	46	53	56	60	63	66	65	62
30.0	26	26	29	34	40	46	50	55	58	61	61	60
	500	800	1100	1400	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000

rpm

19.40 8000 150 afr1 (AFR)
rpm (RPM)
egoCorrection (%)

14.70 4000 100

10.00 0 50

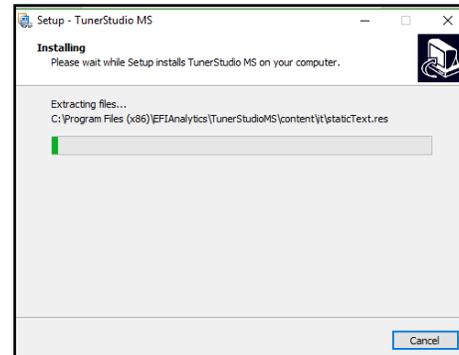
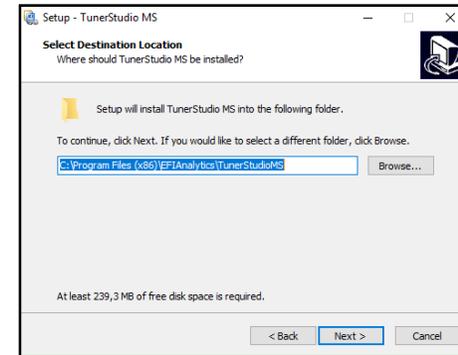
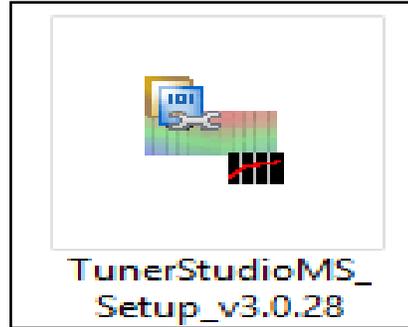
Burn Close



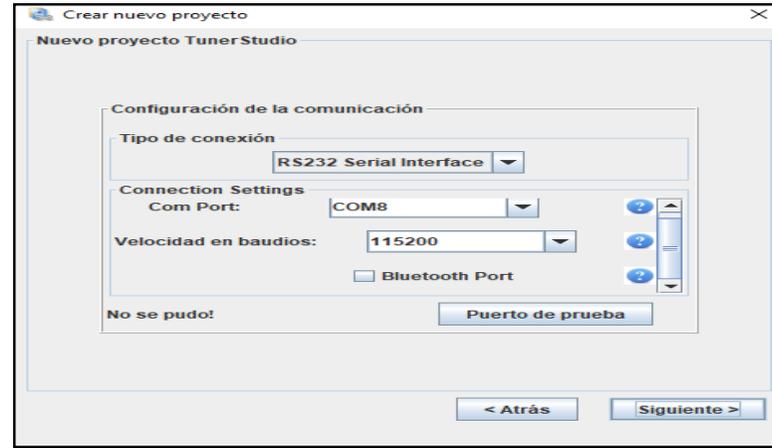
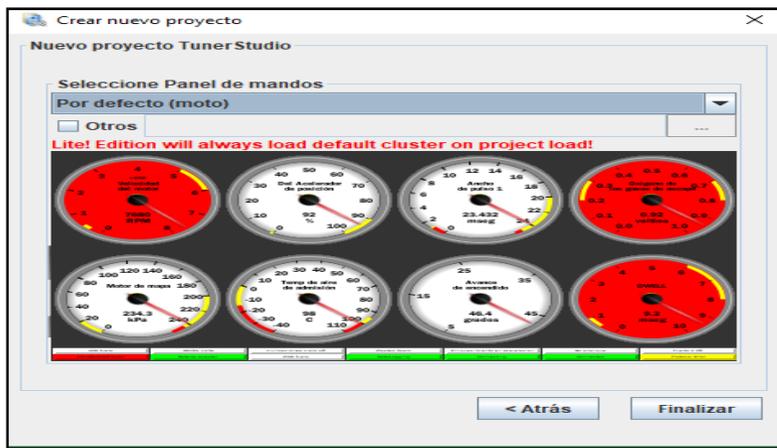
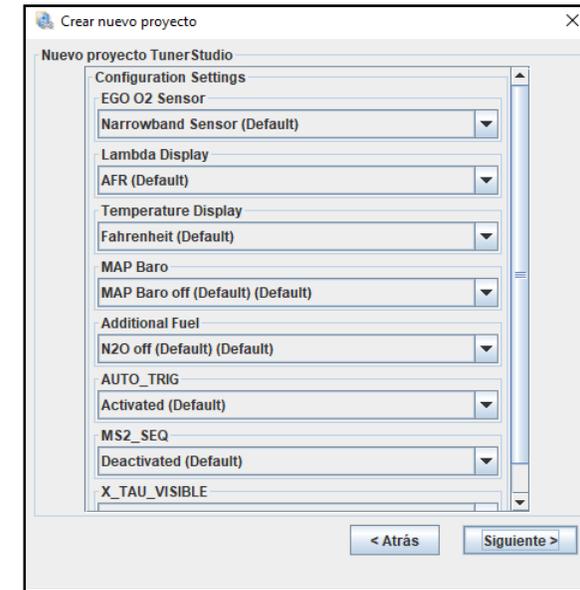
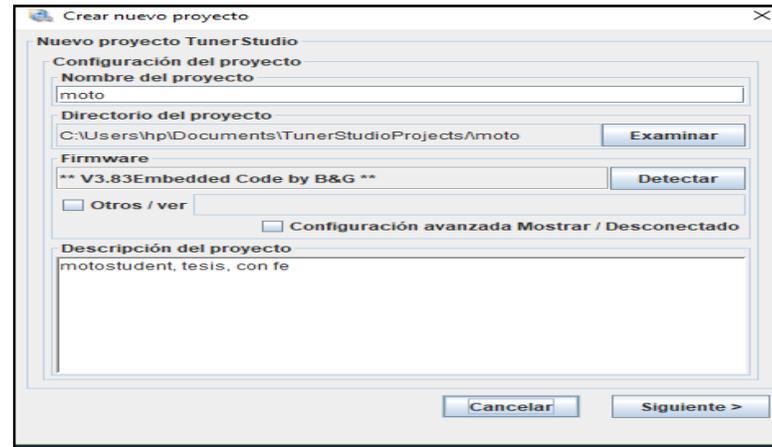
INSTALACIÓN

Para Windows XP, Vista, Windows 7, Windows 8 y Windows 10

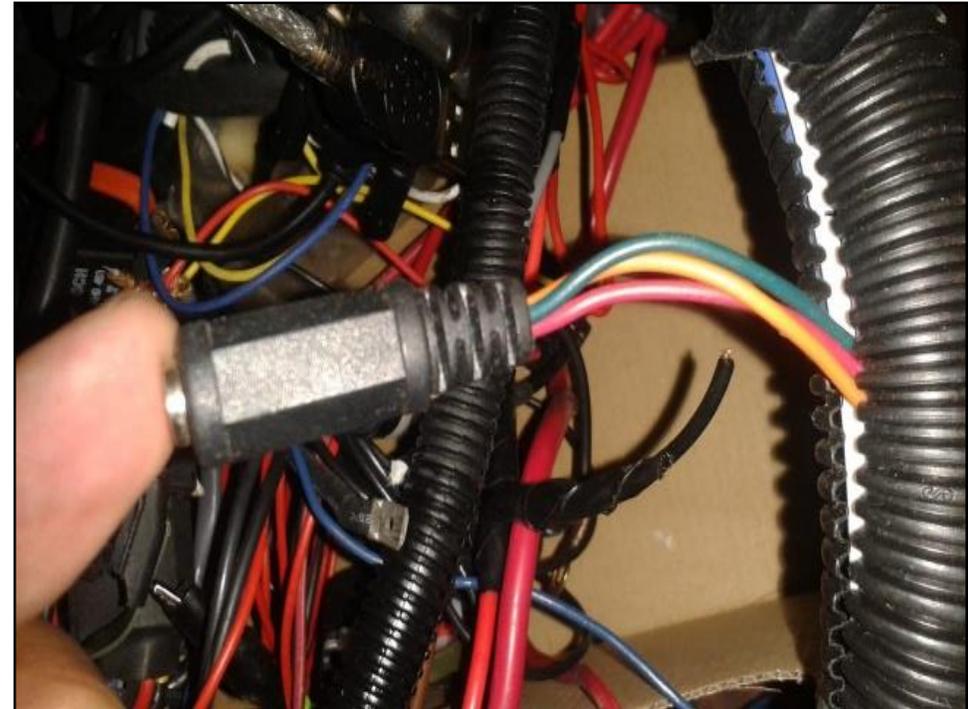
Versión 3.0.28 TunerStudio MS (aproximadamente 76 MB)	descarga
sitio de descarga alternativo de TunerStudio MS	
MegaLogViewer MS Versión 4.3.18 32 Bit (38MB MB)	descargar
MegaLogViewer MS Versión 4.3.18 64Bit (40 MB)	descargar
sitio alternativo de descarga de MegaLogViewer MS	
Aprenda más sobre MegaLogViewer HD	
MegaLogViewer HD Versión 4.3.18 32Bit (38MB MB)	descargar
MegaLogViewer HD Versión 4.3.18 64Bit (40 MB)	descargar
Sitio alternativo de descarga de MegaLogViewer HD	



Creación de nuevo proyecto

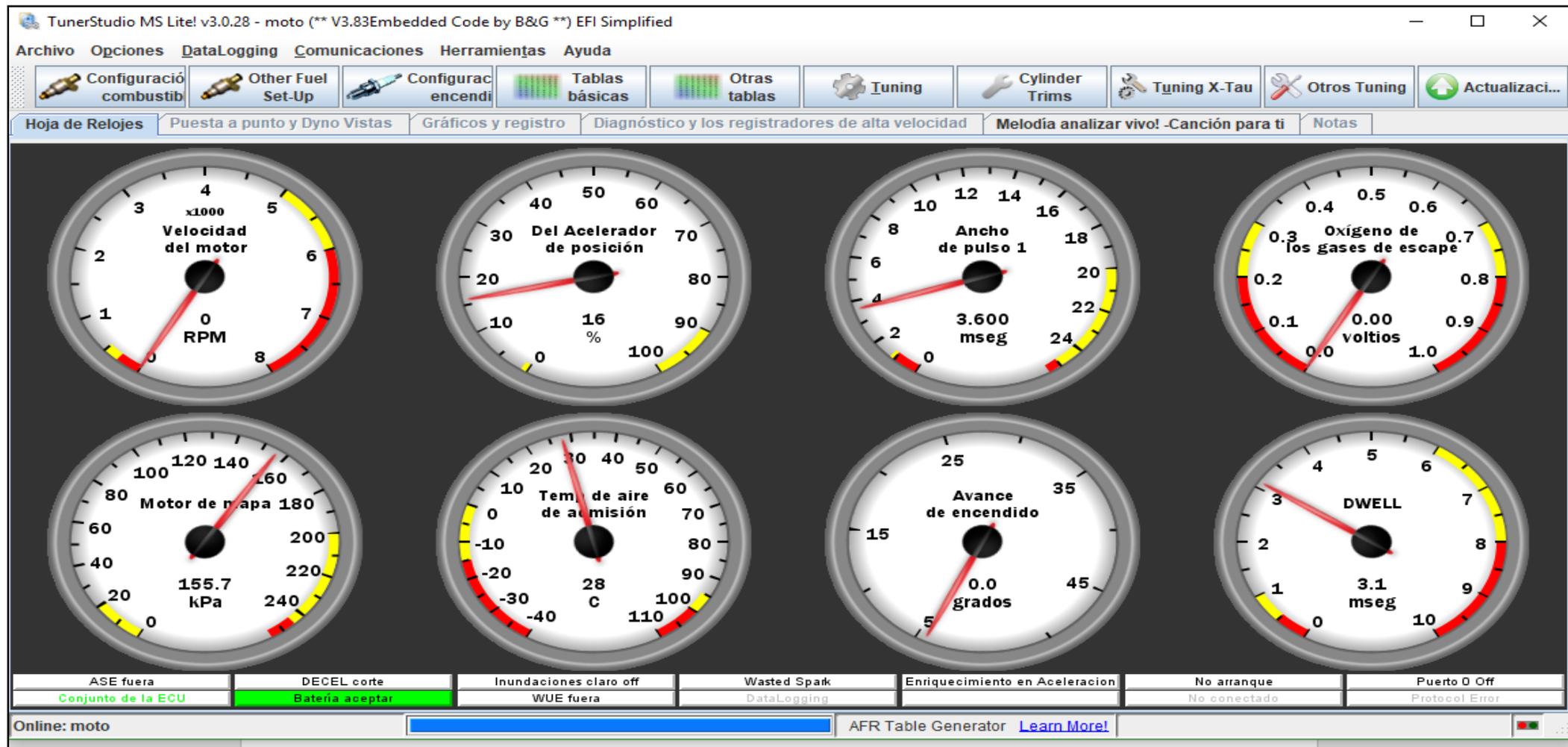


Cable de transferencia de datos





Interfaz TunerStudio MS





Calibraciones iniciales

Engine and Sequential Settings

View Help

Engine and Sequential Settings

Calculate Required Fuel

Required Fuel... 7.0

(ms) 7.00

Control Algorithm Alpha-N

Squirts Per Engine Cycle 1

Injector Staging Simultaneous

Engine Stroke/Rotary Four-stroke

No. Cylinders/Rotors 1

Number of Injectors 1

Engine Type Even fire

Engine Size(cc) 250

Injector Size Each(cc) 300

The number of cylinders or rotors in your engine.

Sequential Injection

Sequential Injection Untimed injection

Timing Trigger Start-of-pulse

Fixed Timing Or Table Fixed Timing

Number Of Timing Values Single value

Fixed Injection Timing 1(deg) 90.0

Fixed Injection Timing 2(deg) 270.0

Fixed Injection Timing 1 When Staging On(deg) 90.0

Fixed Injection Timing 2 When Staging On(deg) 270.0

Cranking Injection Timing 1(deg) 90.0

Cranking Injection Timing 2(deg) 270.0

VE Trim Tables Don't use VE Trim Tables

Injector Drivers Standard drivers

Sequential Siamese Hybrid Mode

Single Pulse Activation RPM 15000

Hysteresis On Single Pulse Activation RPM 100

Fixed Injection Timing 3(deg) 90.0

Fixed Injection Timing 3 When Staging On(deg) 90.0

Buttons: Burn, Close

Required Fuel Calculator

Required Fuel Calculator

Engine Displacement 250

Number of Cylinders 1

Injector Flow 28.6

Air-Fuel Ratio 14.7

Units: CID, CC, lb/hr, cc/min

Buttons: Ok, Cancel

Rev Limiter

View Help

Rev Limiter

HARD REV LIMIT 9000

Soft Limit Zone / Hysteresis(RPM) 200

COOLANT TEMP LIMITER

Rev Limiter CLT Based Normal

Rev Limit TPS Bypass(TPS %) 90.0

SPARK RETARD

Spark Retard Mode Progressive retard

Maximum Retard(deg) 15.0

Retard To(deg) 10.0

SPARK CUT

Enable Spark Cut Limiting Off

FUEL CUT

Enable Fuel Cut Limiting On

Progressive Fuel Cut Off

Options for spark retardation to limit revs. Off = no spark retard used

Buttons: Burn, Close

Coolant Based Rev Limit

Graph: Coolant Temp vs Rev Limit

Coolant Temp	Rev Limit
0.0	2500
20.0	3000
37.8	4000
48.9	4500
60.0	5000
71.1	5500
82.2	6000
93.3	9000

Flip Polarity On Cam Normal

Trigger Wheel Arrangement Single wheel with missing tooth

Trigger Wheel Teeth(teeth) 36

Missing Teeth(teeth) 2

Tooth #1 Angle(deg BTDC) 140.0

Wheel Speed Crank wheel

Second Trigger Active On Rising edge

Level For Phase 1 Low

And Every Rotation Of. Cam

Ignition Options / Wheel Decoder

View Help

Ignition Options / Wheel Decoder

Spark Mode (Dizzy,EDIS,wheel) Toothed wheel

Trigger Angle/Offset(deg) 0.00

Angle Between Main And Return(deg) 50.0

Oddfire First Angle 90

GM HE/IDIS Options Off

Use Cam Signal If Available Off

Oddfire Phasing Alternate

Skip Pulses 2

Ignition Settings

Startup

Ignition Options / Wheel Decoder

Trigger Wizard

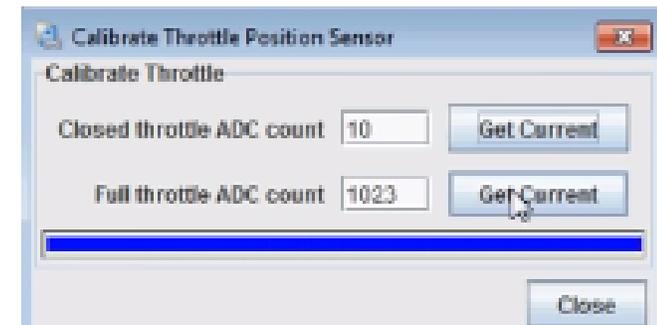
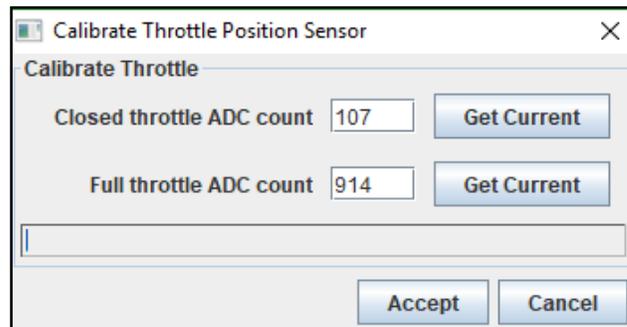
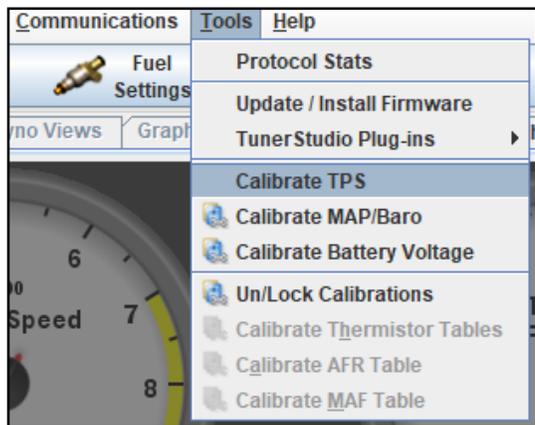
- Dwell Battery Correction
- Cold Advance
- MAT-Based Timing Retard
- Noise Filtering
- Knock Sensor Settings
- Ignition Table 1
- Ignition Table 2
- Ignition Table 3
- Rotary Settings
- Rotary Split Table
- Spark Calculations Summary



Rueda fónica



Calibración de sensor TPS



Salidas programables.

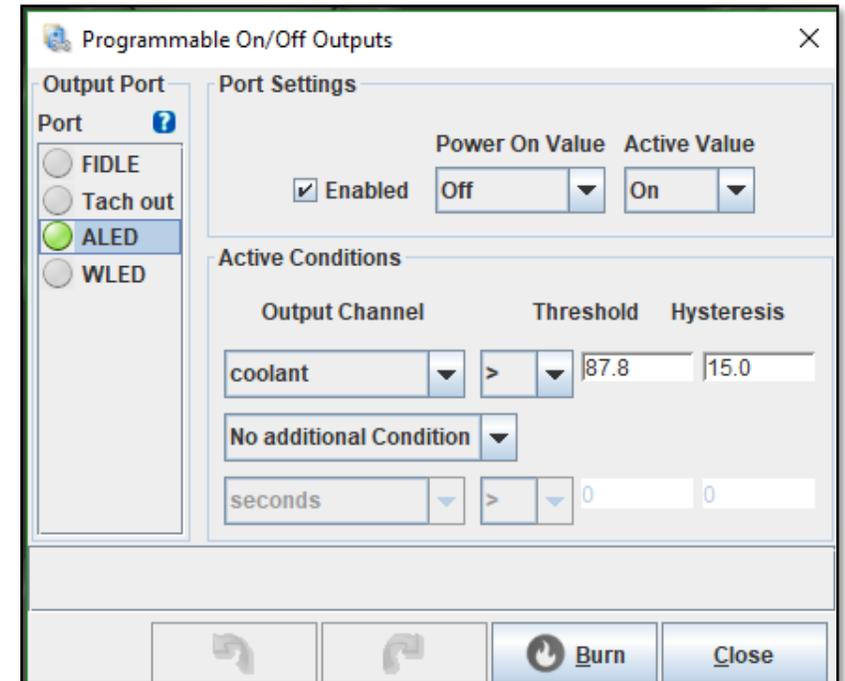
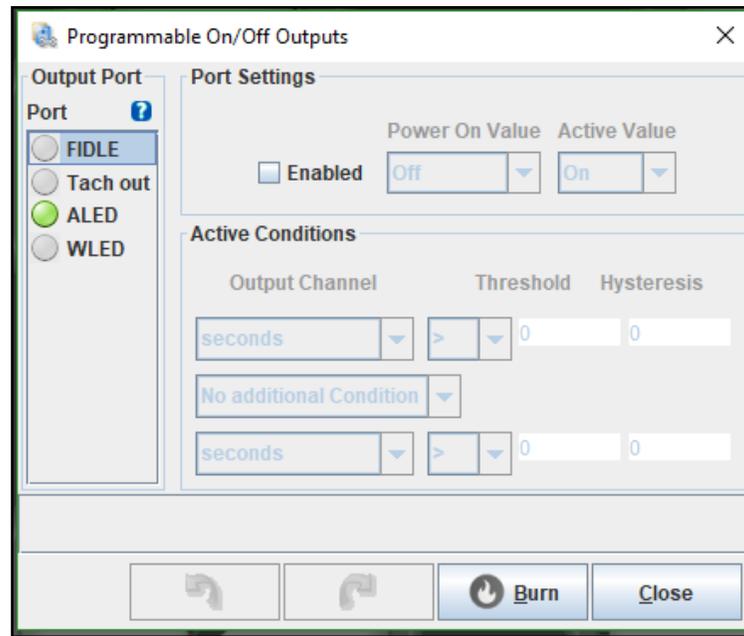
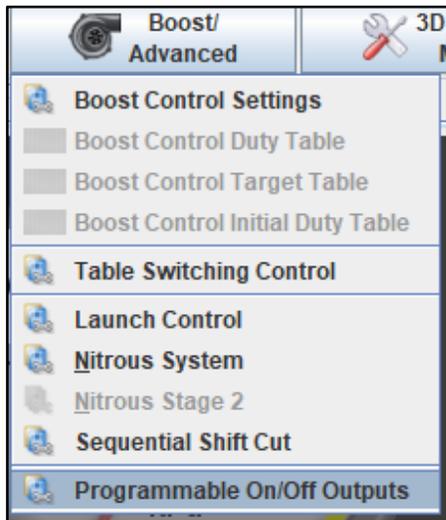


Tabla de eficiencia volumétrica

Fuel VE Table 1

View Tools Help

f u e l o a d %	100.0	78	85	90	95	99	101	104	109	115	128	134	135	136	135	135	109
	93.0	76	84	89	94	98	100	103	108	114	125	133	136	135	135	134	109
	86.0	75	83	88	93	97	99	102	107	113	123	133	135	134	135	133	107
	80.0	74	82	87	92	96	98	101	107	112	122	131	132	133	134	133	112
	73.5	74	81	86	91	95	97	100	105	110	119	128	129	130	131	132	110
	66.8	72	77	82	87	90	93	95	100	104	114	119	121	121	121	118	108
	60.0	68	70	73	80	85	88	91	95	98	100	102	104	105	103	102	102
	53.3	65	66	69	76	79	84	88	92	94	97	98	98	100	99	97	98
	46.5	61	62	65	71	76	80	83	87	90	93	95	96	95	93	90	85
	39.8	57	59	61	67	74	78	80	84	85	89	91	93	91	88	84	75
	33.0	52	54	58	63	70	74	77	80	81	84	86	87	86	84	80	63
	26.3	48	50	53	56	66	71	73	75	78	81	84	84	83	81	78	61
	19.5	43	44	47	53	61	66	68	70	73	76	79	80	79	77	75	59
	12.8	38	39	42	48	56	60	63	67	69	71	73	70	69	67	66	58
	6.7	29	33	36	41	51	53	56	60	63	66	68	65	64	63	63	57
0.0	26	27	32	35	40	46	50	55	58	61	61	60	59	59	58	58	
	↶	501	801	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000
		rpm															

Tabla de avance al encendido

Ignition Table 1 (Spark Advance)

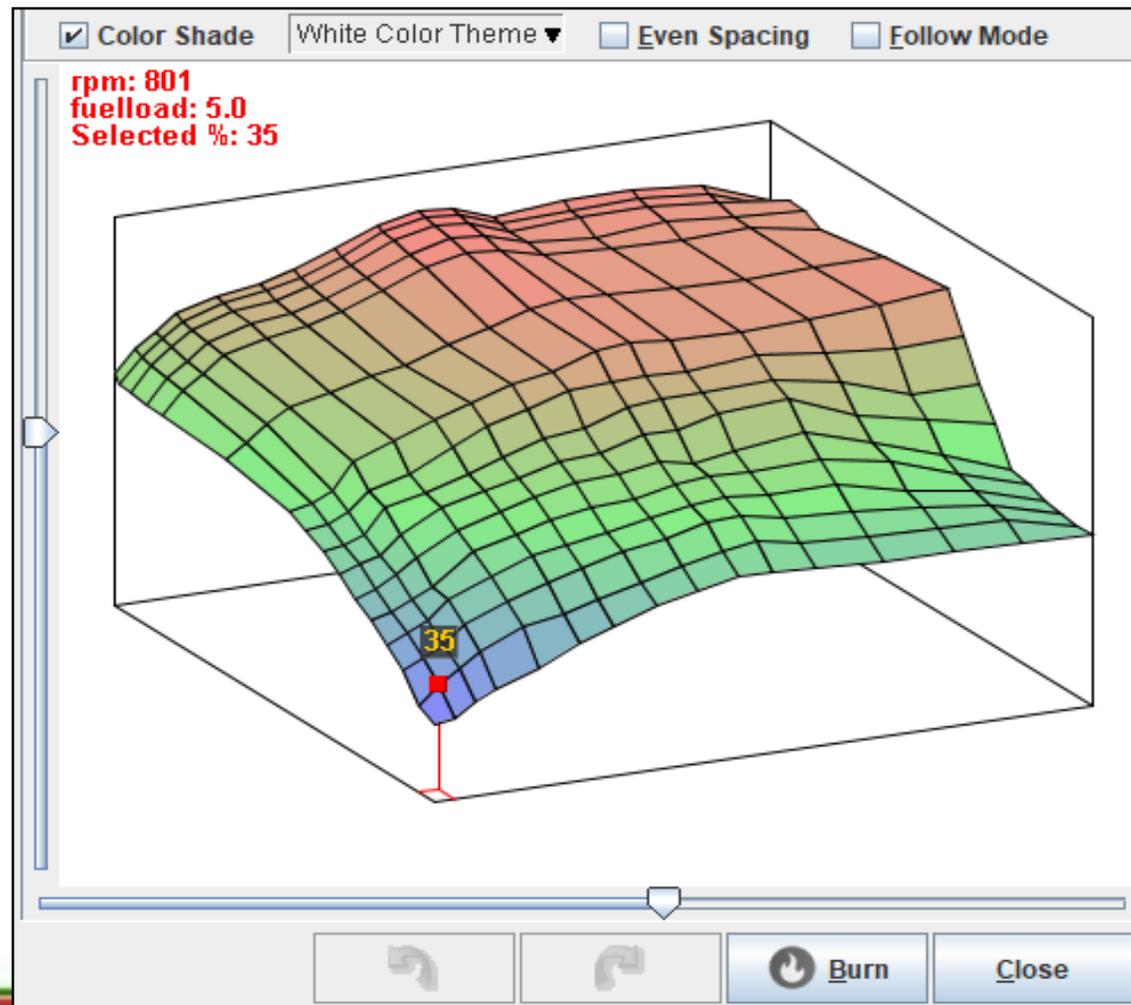
View Help

100.0	20.0	20.5	19.6	25.4	27.9	31.0	35.3	35.4	35.6	36.3	36.4	32.2
90.0	20.0	20.1	19.7	25.3	28.0	30.9	35.3	34.9	35.3	35.4	35.7	32.2
80.0	19.5	19.7	20.0	25.6	28.3	31.4	35.3	35.1	34.8	35.0	35.2	32.2
70.0	18.9	19.3	20.0	25.3	29.1	31.7	34.2	34.5	34.1	34.5	34.9	32.2
60.0	18.4	19.0	20.3	25.5	28.9	31.9	33.8	34.1	33.9	34.1	34.4	32.4
50.0	17.8	18.6	20.5	25.4	28.8	32.0	33.6	34.0	33.7	34.4	34.5	33.2
45.0	17.5	18.4	20.3	25.2	28.9	32.3	32.8	33.4	33.7	33.7	33.7	33.7
40.0	17.3	18.2	20.0	25.0	28.5	32.2	33.0	33.6	33.6	33.8	33.8	34.2
35.0	17.0	17.0	20.0	24.5	28.0	32.0	33.2	33.2	33.7	33.7	33.5	34.2
20.0	17.0	17.0	20.0	24.0	27.5	31.9	32.8	33.5	33.2	33.2	33.4	34.2
10.0	17.0	17.0	20.0	23.5	27.0	31.5	32.9	33.7	33.2	33.8	33.1	34.2
0.0	17.0	17.0	20.0	23.0	26.5	30.6	32.5	33.2	33.2	33.2	32.9	34.2
↩	701	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8500	10000	11500	13000

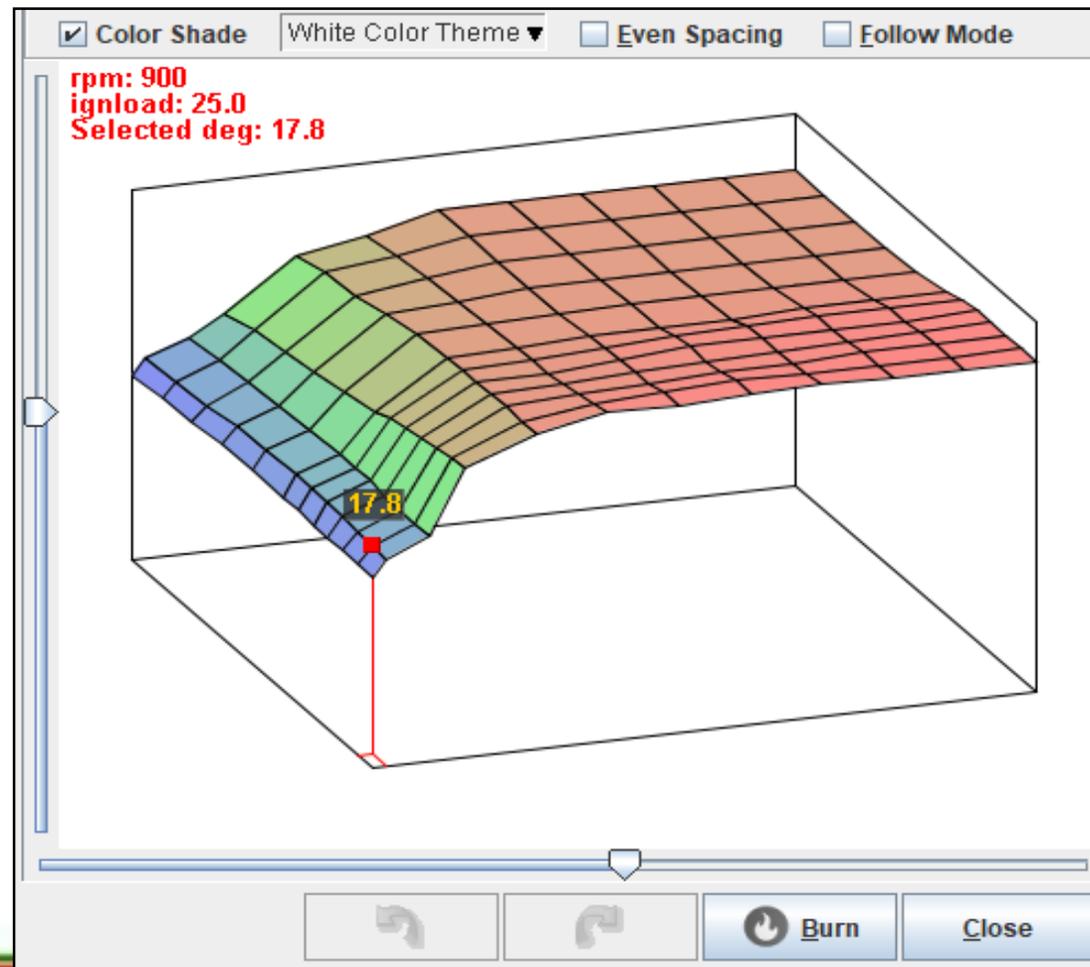
rpm

⏪ ⏩ 🔥 Burn Close

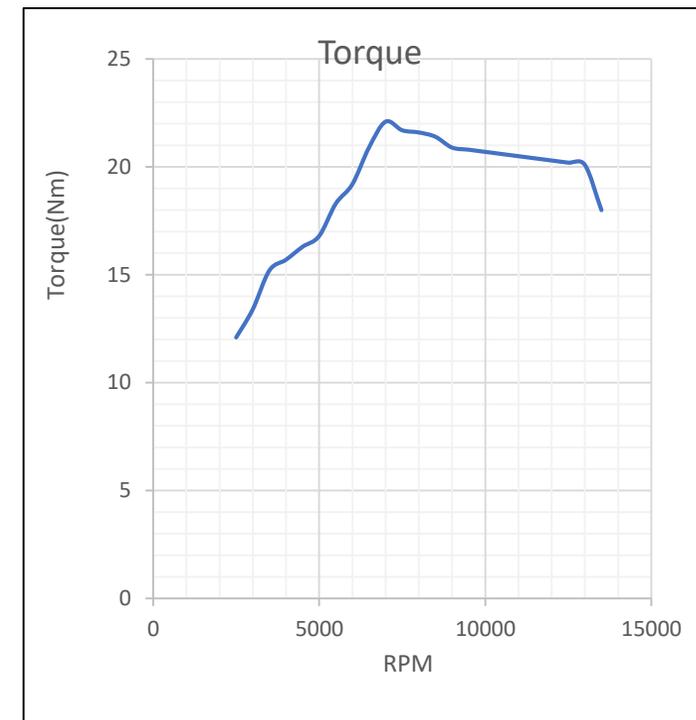
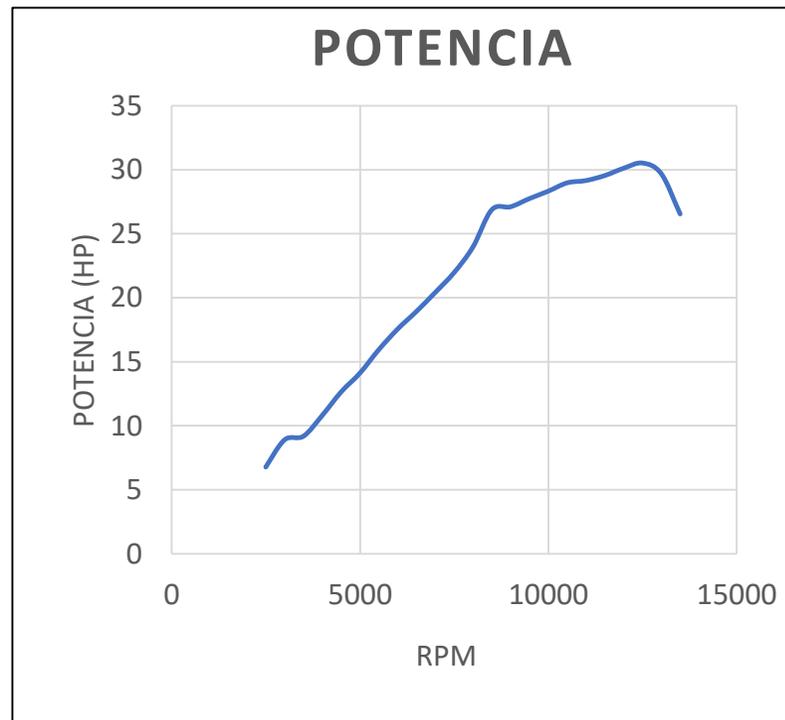
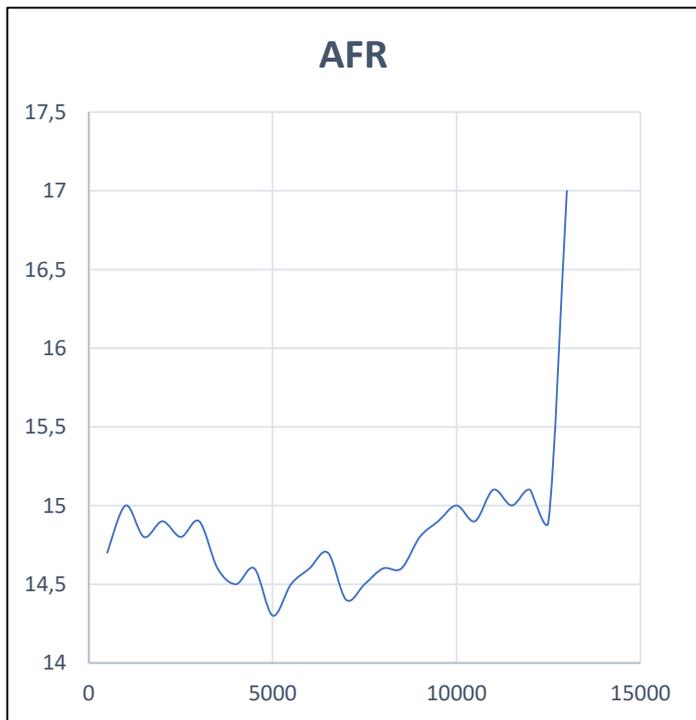
Mapa base de control de combustible



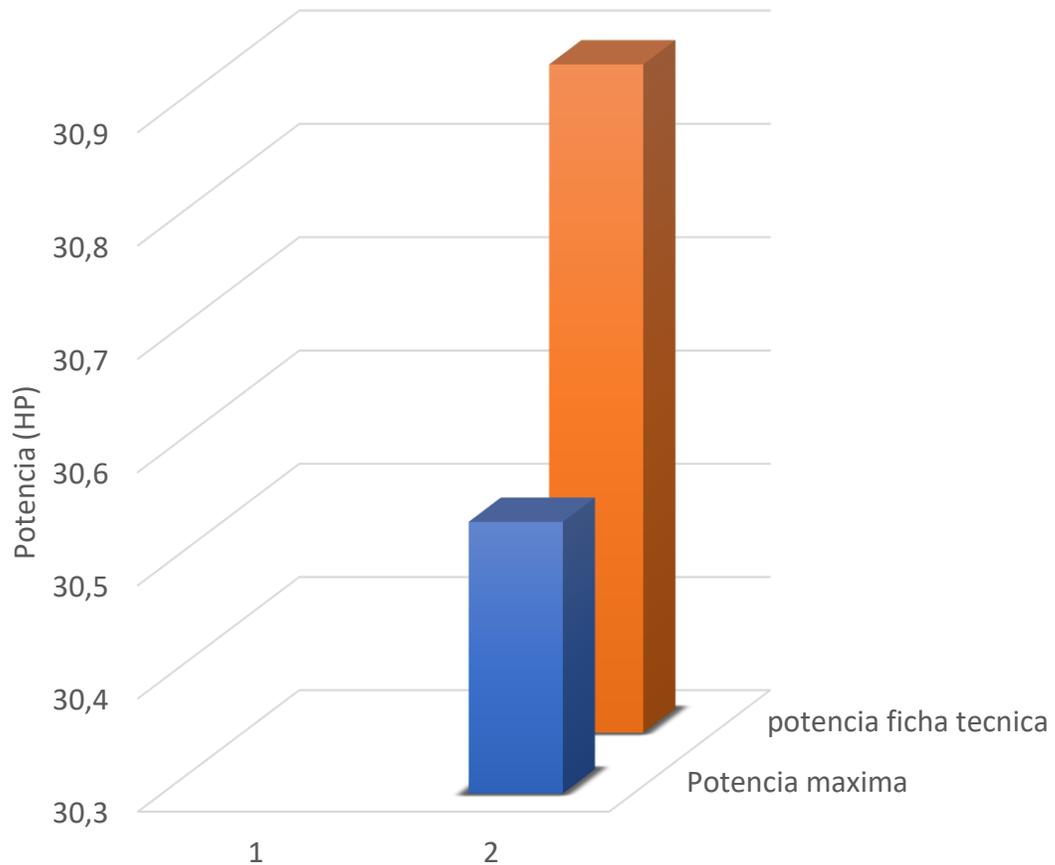
Mapa base de avance al encendido



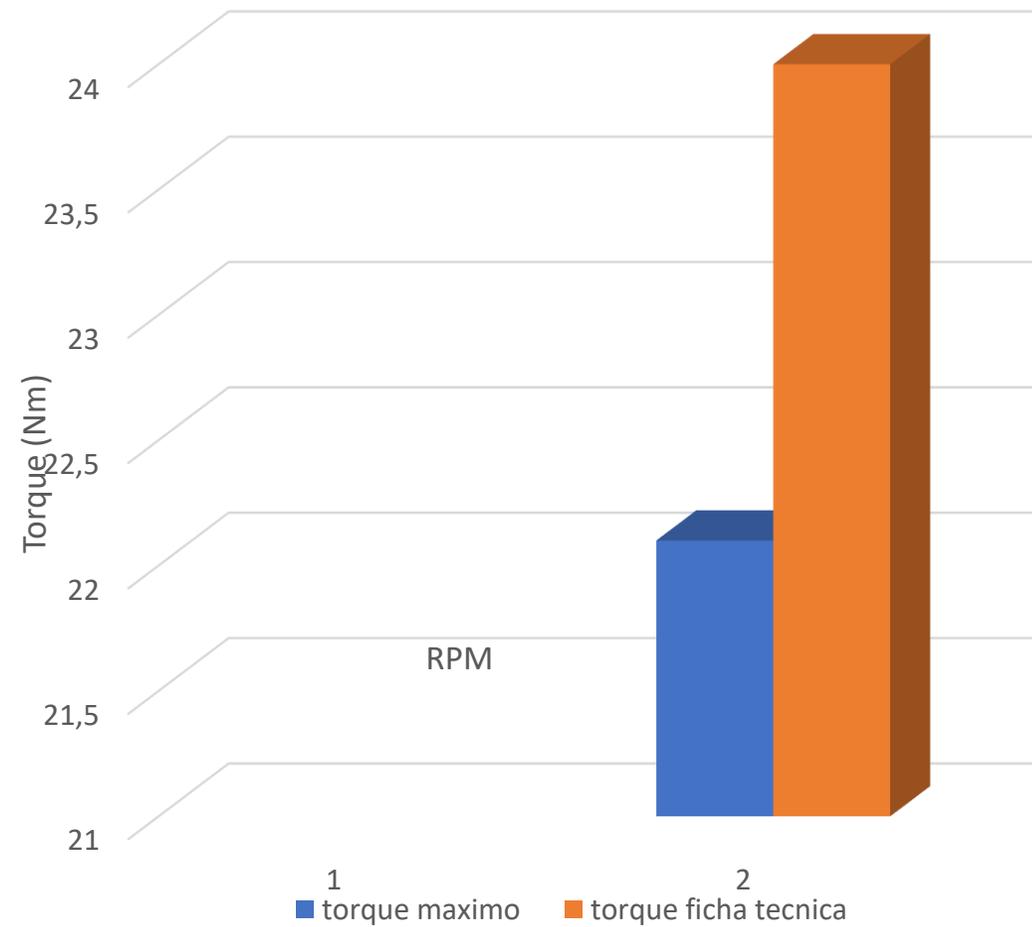
Análisis de rendimiento con el mapa base



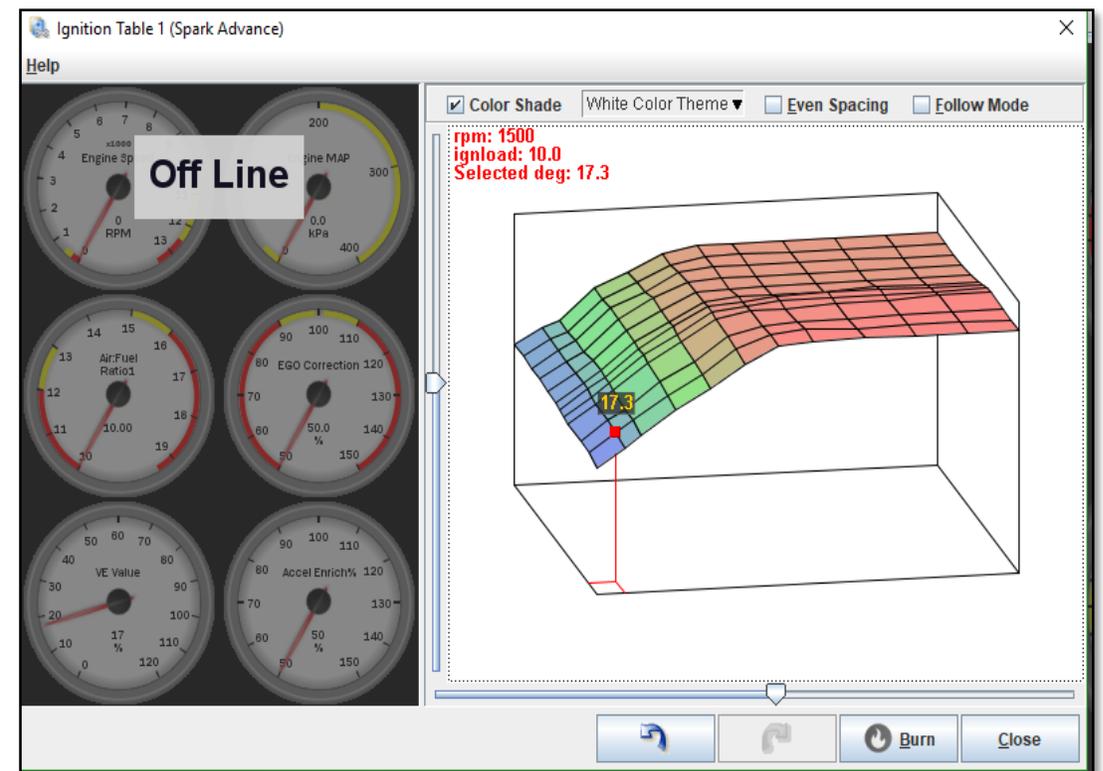
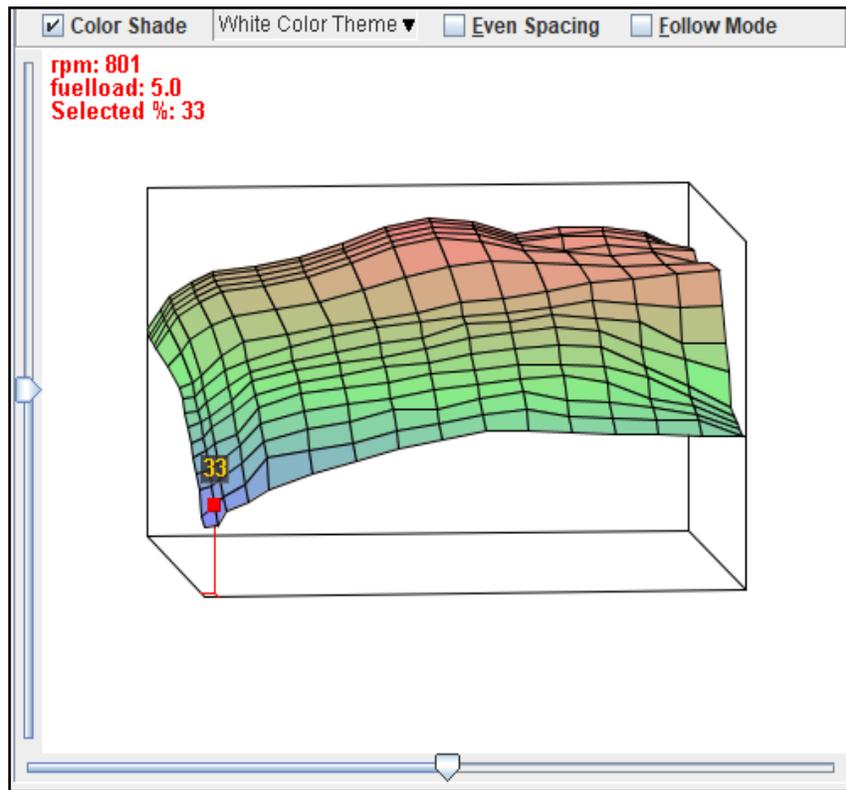
POTENCIA



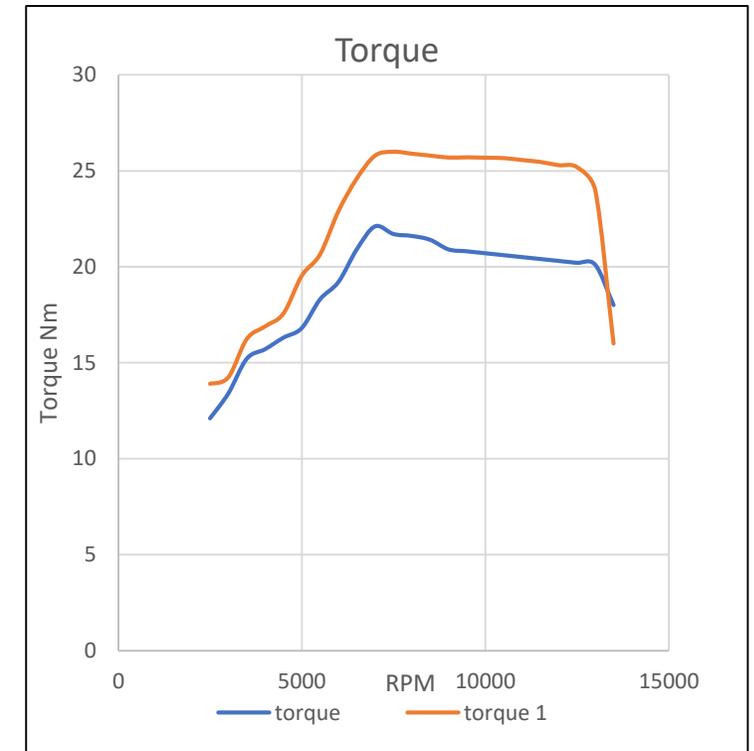
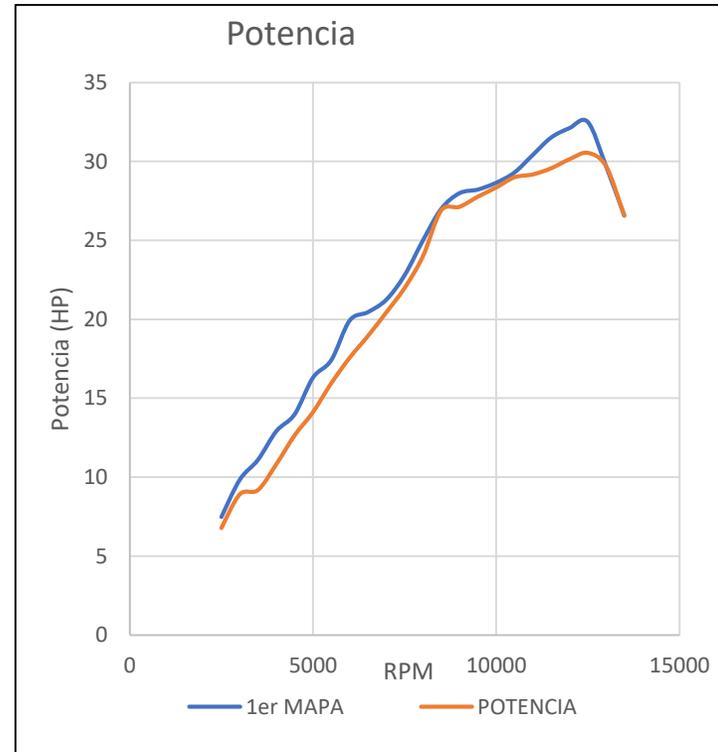
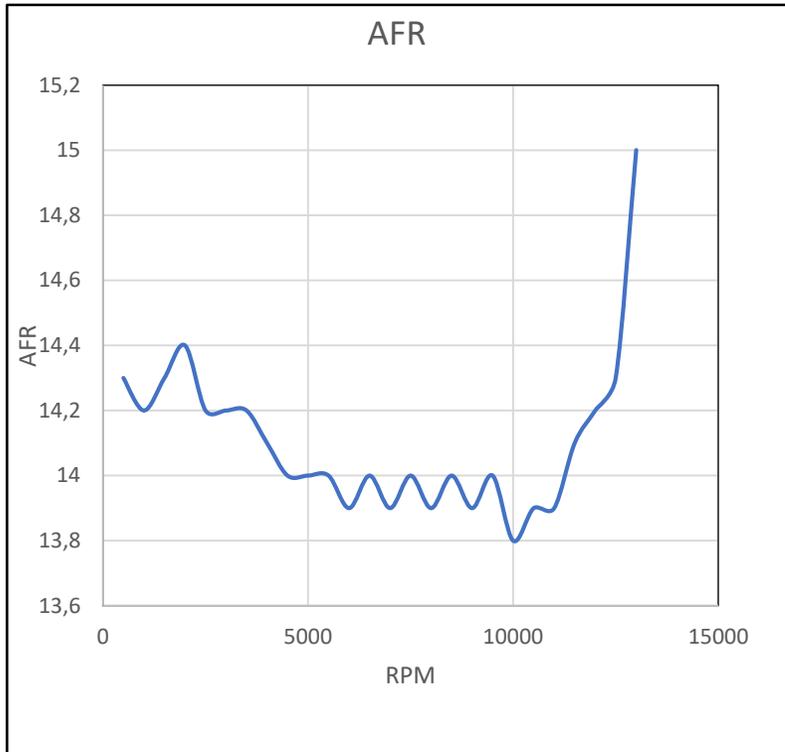
Torque



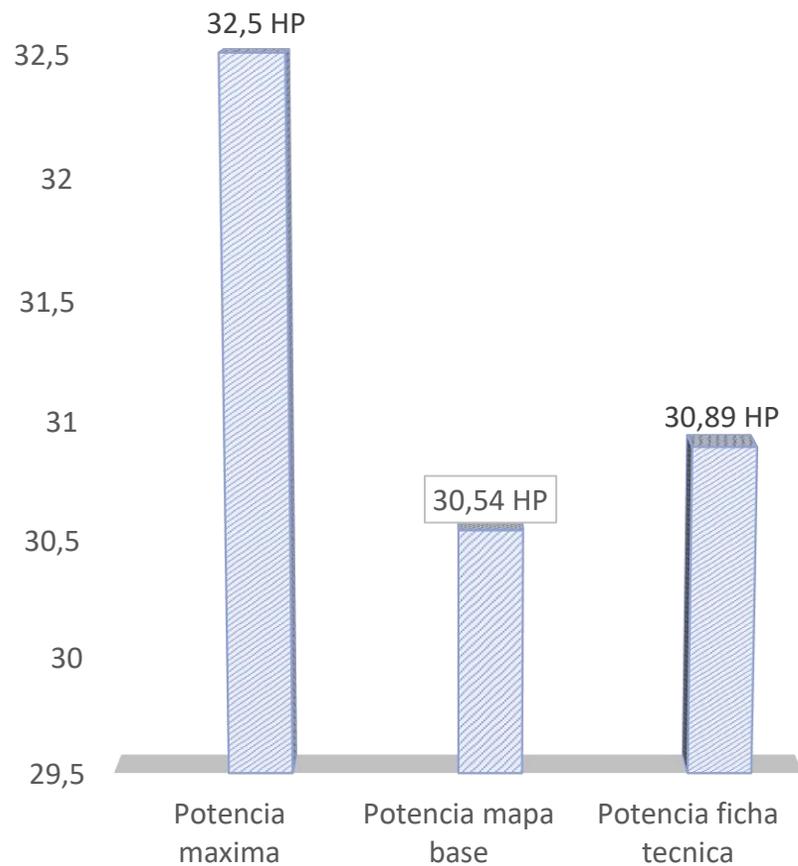
Primera reprogramación



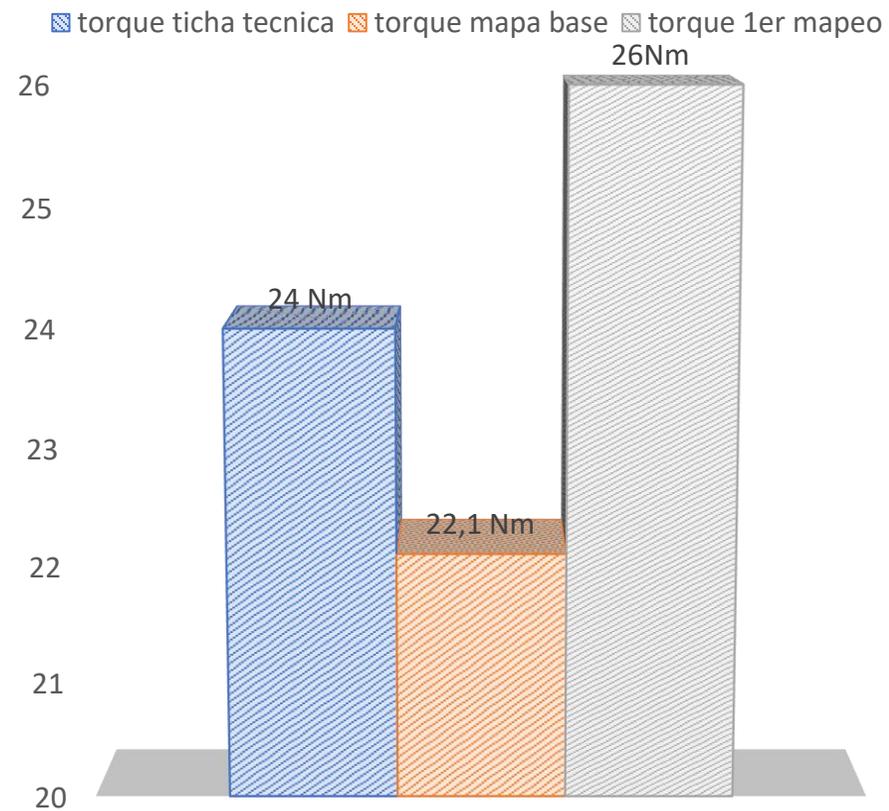
Análisis de rendimiento con la primera reprogramación



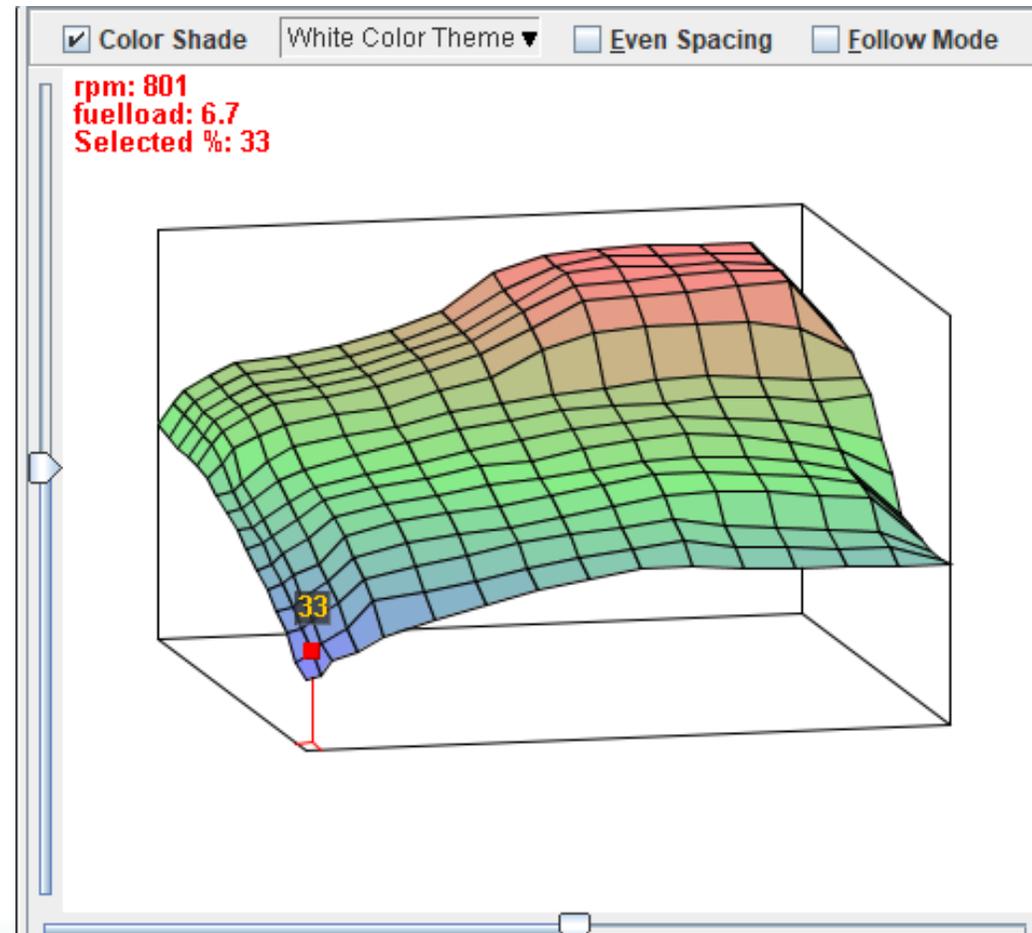
POTENCIA



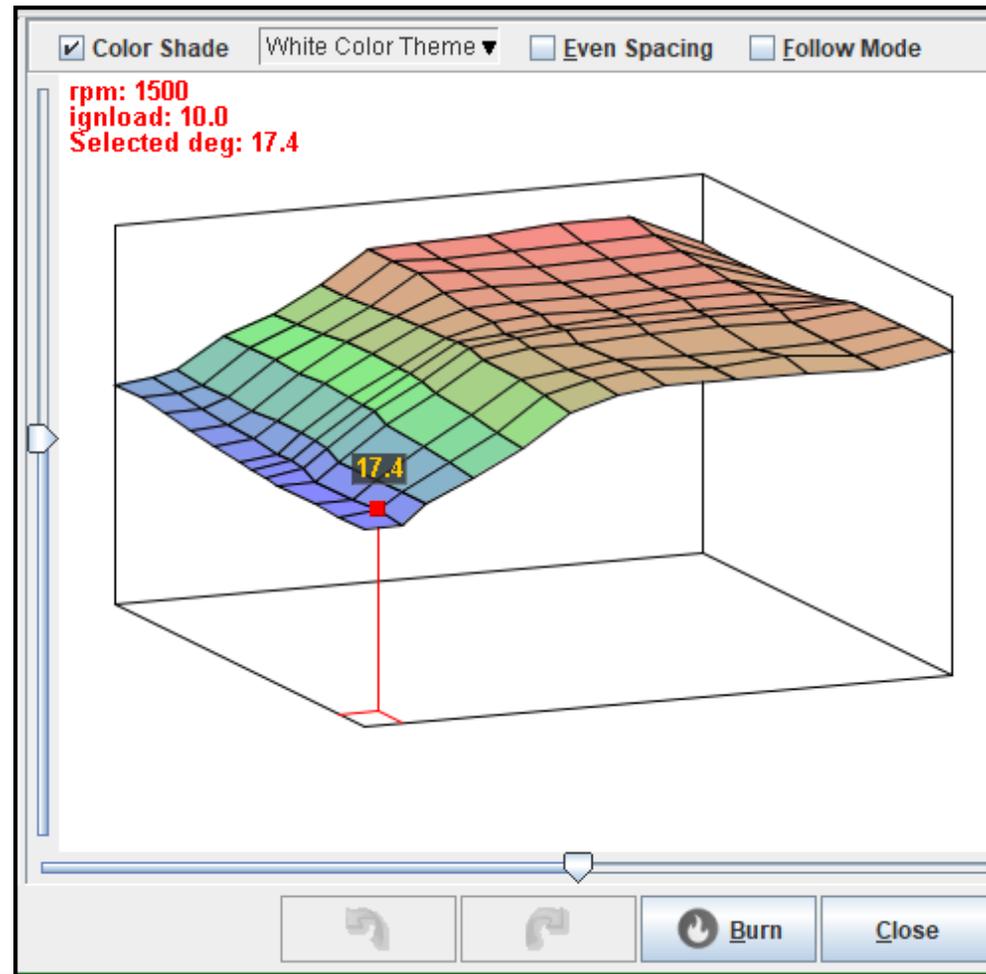
TORQUE



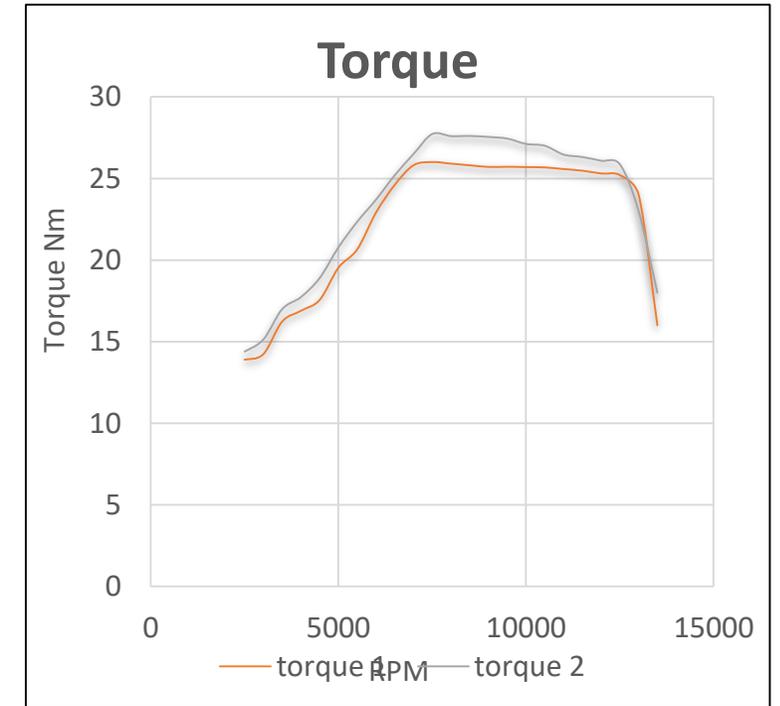
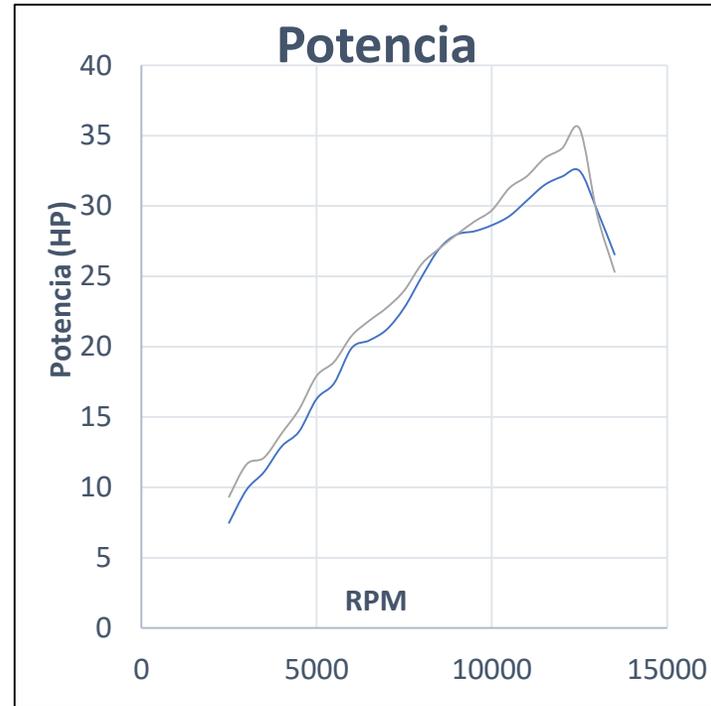
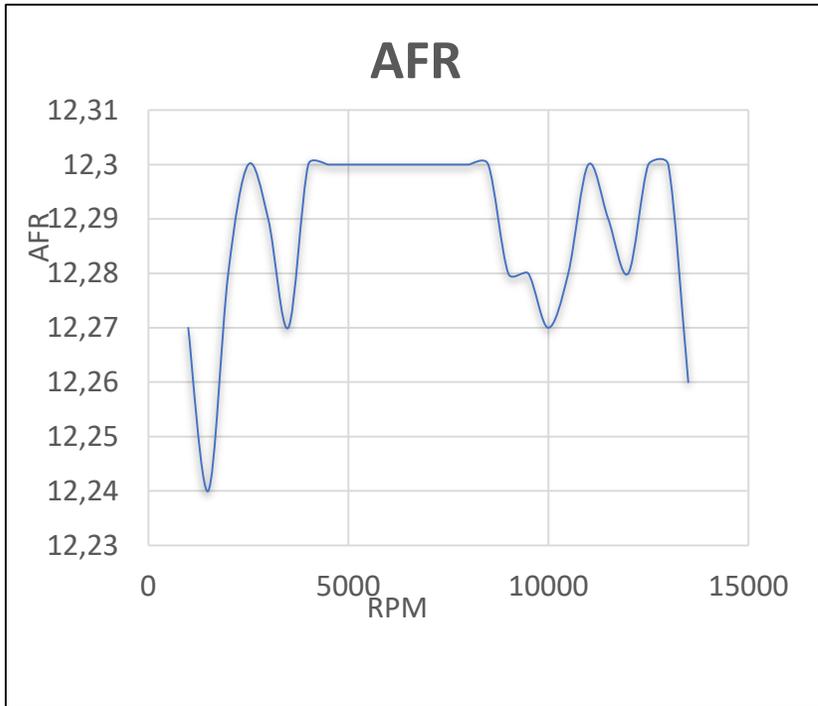
Mapa de combustible optimizado



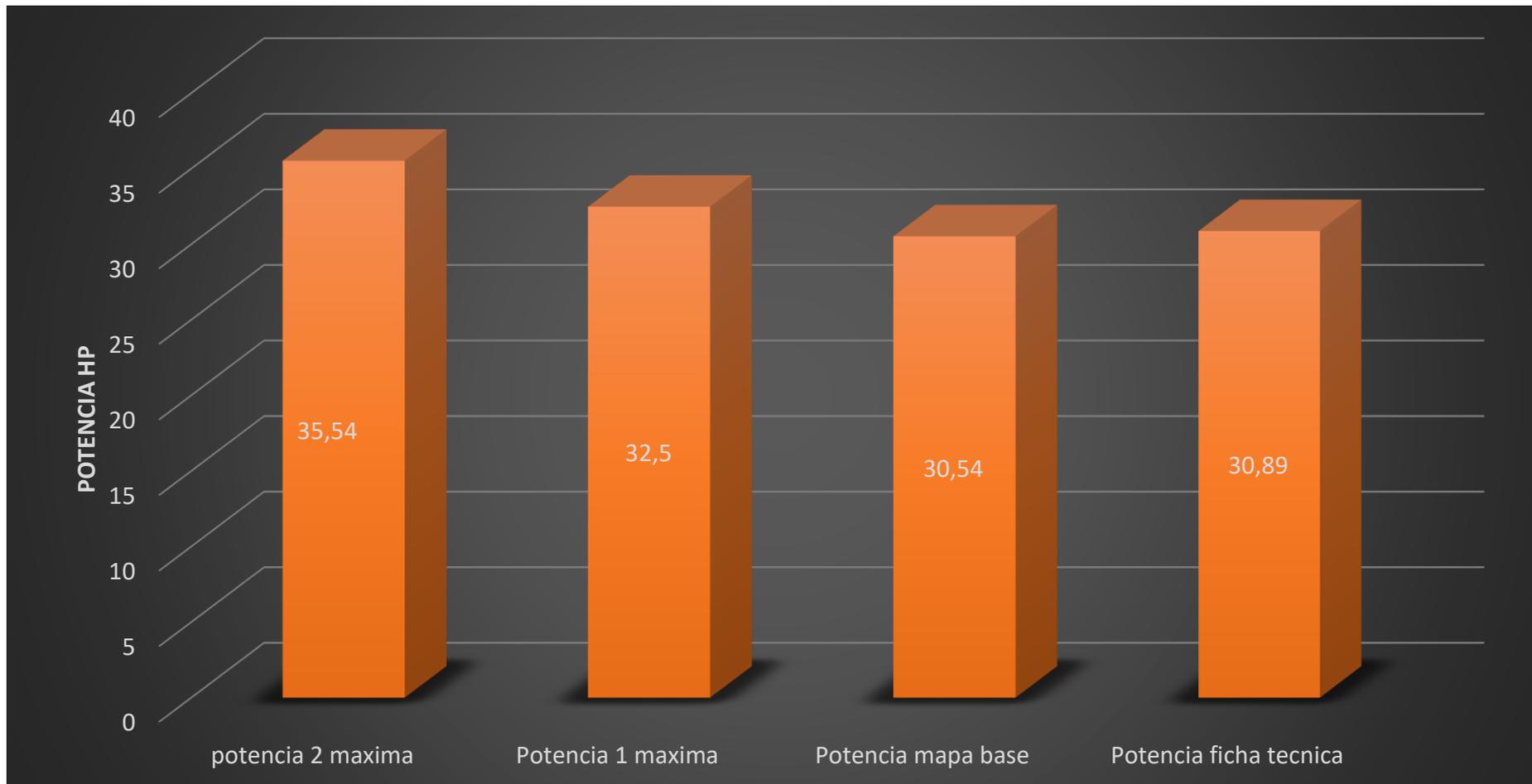
Mapa de avance al encendido optimizado



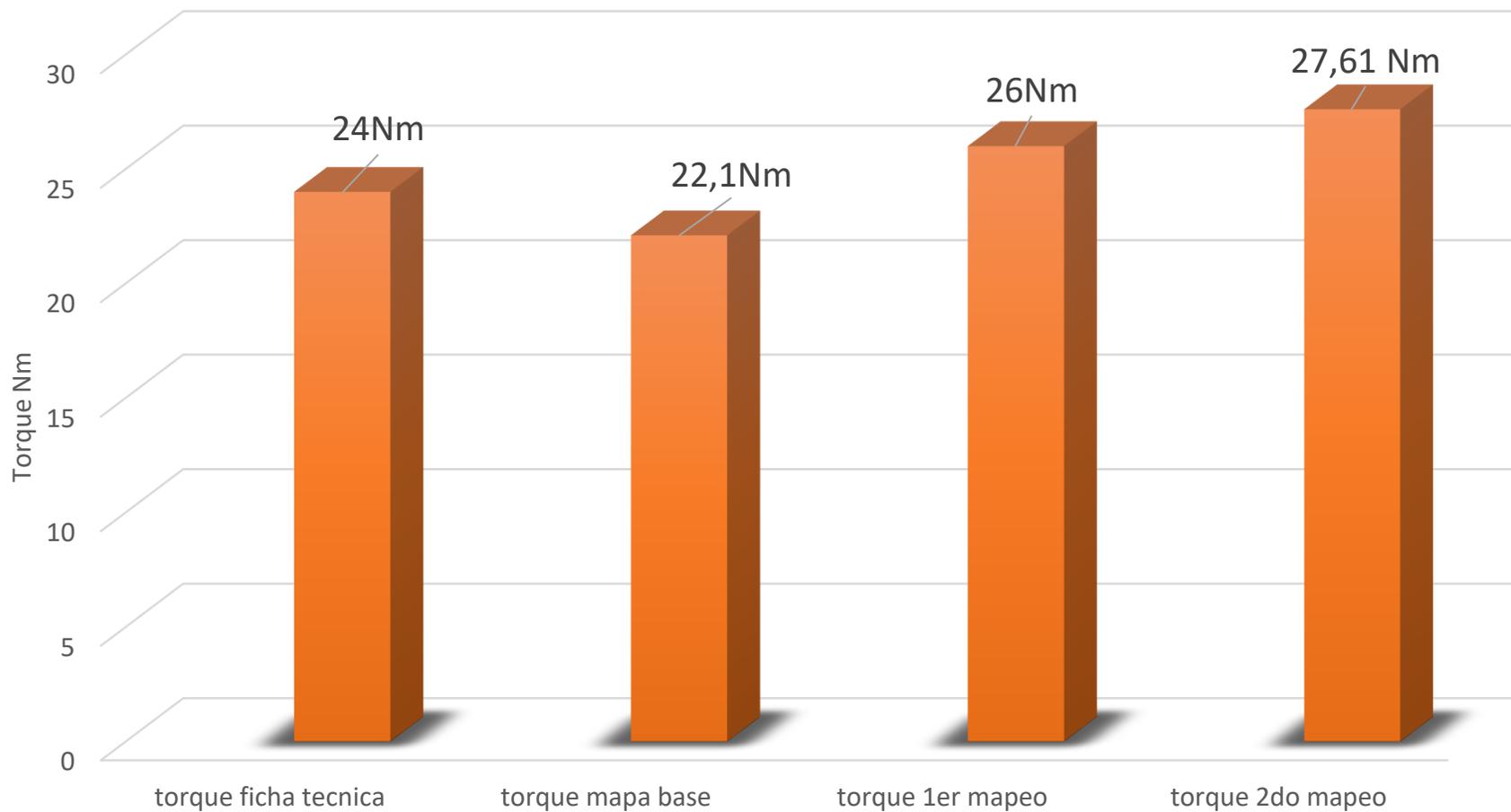
Análisis de rendimiento con la segunda reprogramación



Análisis final de potencia



Análisis final de torque



Consumo de combustible.

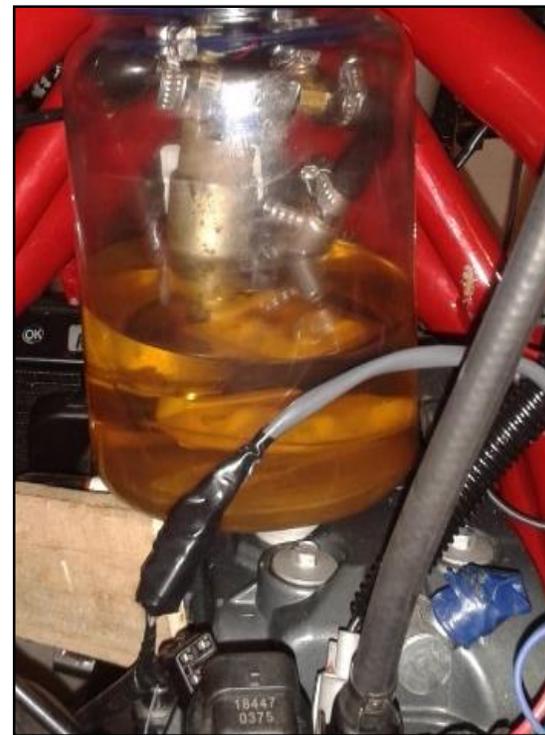
Para las pruebas de consumo de combustible es importante mencionar que se lo realizó en la ciudad de Quito a 2850 msnm, con una temperatura ambiente promedio de 16°C realizadas el día 2 de diciembre de 2018.

En la siguiente figura se observa el circuito que consta de 558 m de distancia, el cual se recorrió 10 vueltas al circuito, es decir 5,58km, es importante mencionar que no tiene ningún grado de inclinación



Primera prueba con mapa base

Combustible	Volumen utilizado (ml)
Vol. Consumido.	550 ml
Vol. Extraído.	1450 ml
Vol. Total	2000 ml





Segunda prueba con mapa modificado

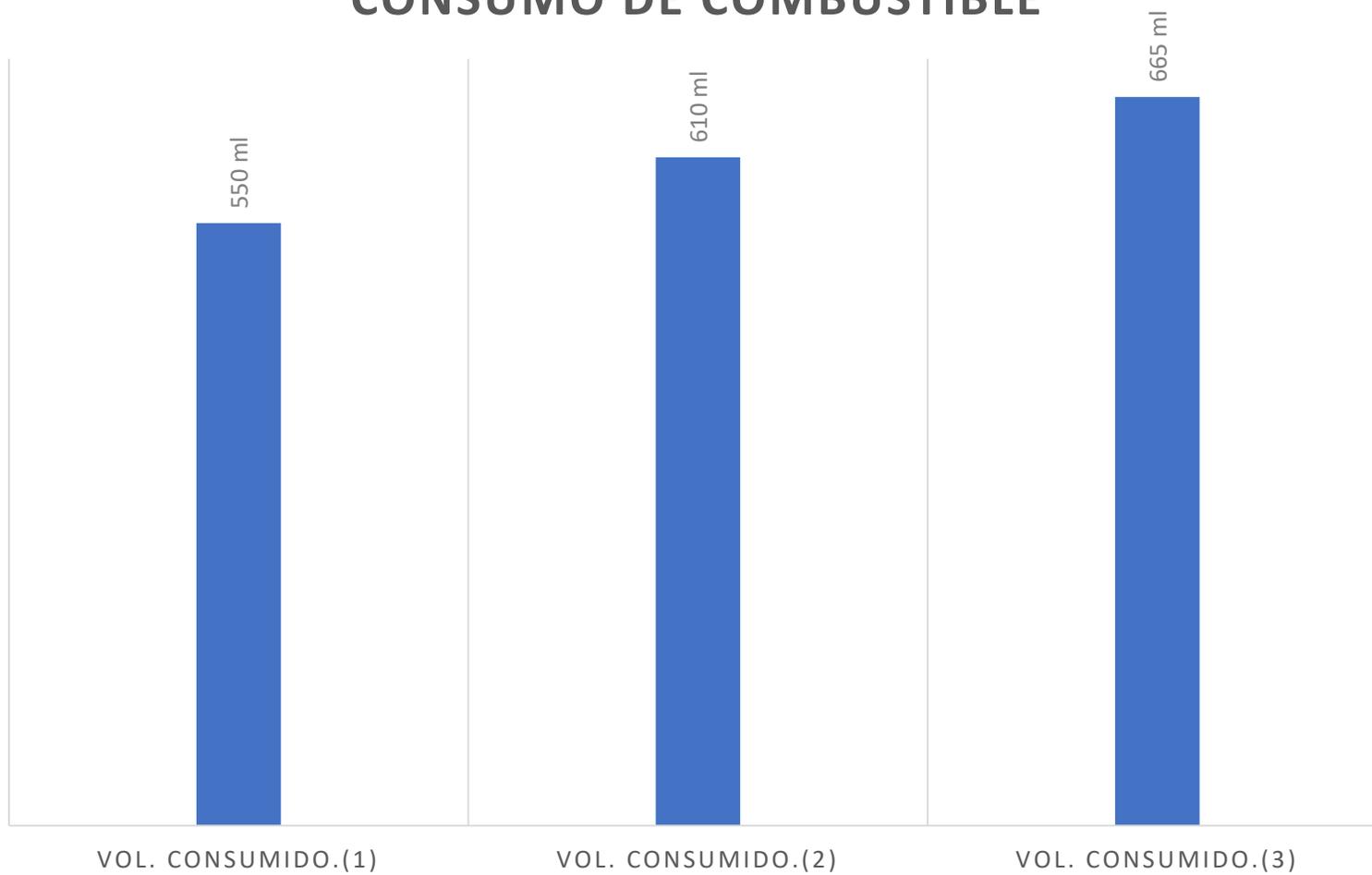
Combustible	Volumen utilizado (ml)
Vol. Consumido.	610 ml
Vol. Extraído.	1390 ml
Vol. Total	2000 ml



Tercera prueba, con los mapas optimizados

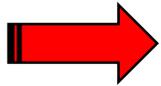
Combustible	Volumen utilizado (ml)
Vol. Consumido.	665 ml
Vol. Extraído.	1335 ml
Vol. Total	2000 ml

CONSUMO DE COMBUSTIBLE



Emisiones contaminantes con mapa base

Primera prueba a ralentí



Tipo de gas	Valor
CO [%]	2.12
CO2 [%]	10.12
HC [ppm]	212
O2 [%]	1,23
NO [ppm]	125
Lambda	1.213

Primera prueba a 6500 rpm



Tipo de gas	Valor
CO [%]	0,22
CO2 [%]	10.98
HC [ppm]	219
O2 [%]	8.13
NO [ppm]	83
Lambda	1.168

Emisiones contaminantes con mapa modificado

Segunda prueba a ralentí



Tipo de gas	Valor
CO [%]	1.15
CO2 [%]	11.7
HC [ppm]	232
O2 [%]	1,68
NO [ppm]	112
Lambda	1.091

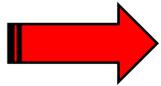
Segunda prueba a 6500 rpm



Tipo de gas	Valor
CO [%]	0,24
CO2 [%]	11,013
HC [ppm]	228
O2 [%]	6.71
NO [ppm]	78
Lambda	0.98

Tercera prueba con mapa optimizado

tercera prueba a ralentí



Tipo de gas	Valor
CO [%]	0,18
CO2 [%]	12,2
HC [ppm]	242
O2 [%]	1,98
NO [ppm]	125
Lambda	0.97

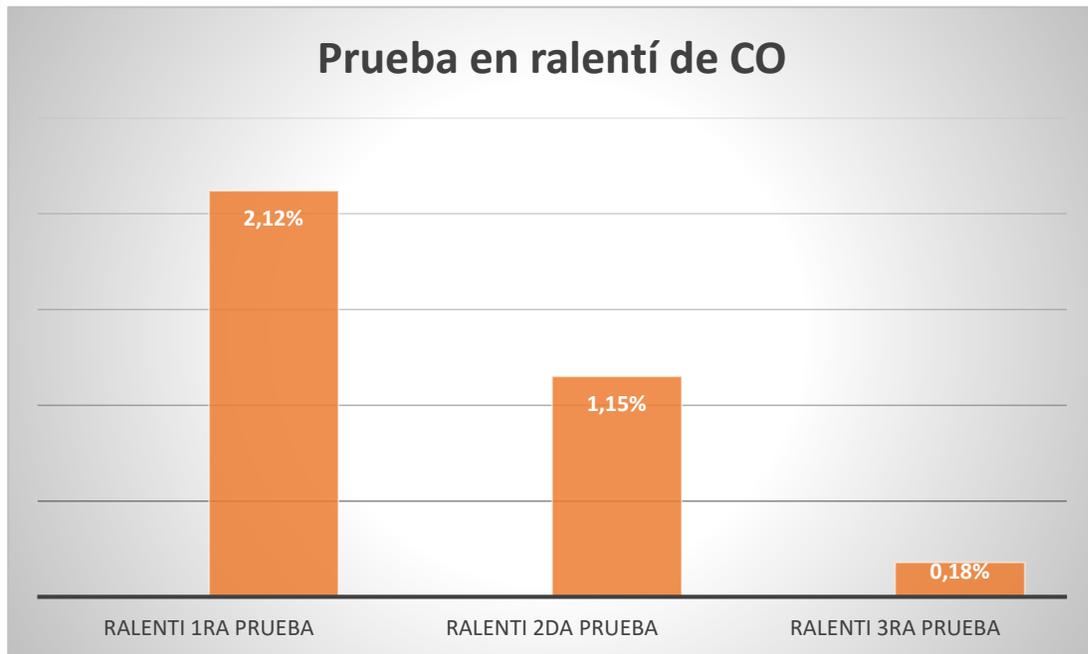
tercera prueba a 6500 rpm



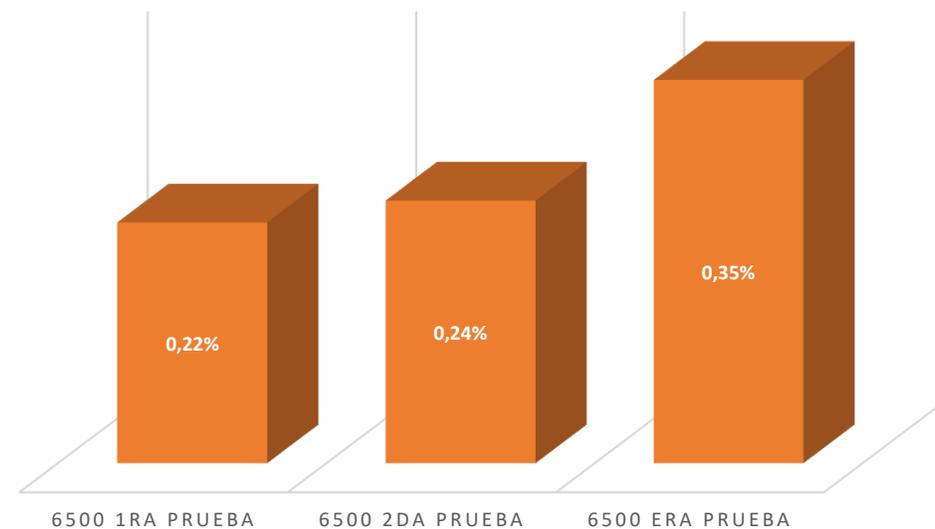
Tipo de gas	Valor
CO [%]	0,35
CO2 [%]	11,2
HC [ppm]	212
O2 [%]	5,21
NO [ppm]	98
Lambda	0.93

Análisis entre las diferentes pruebas

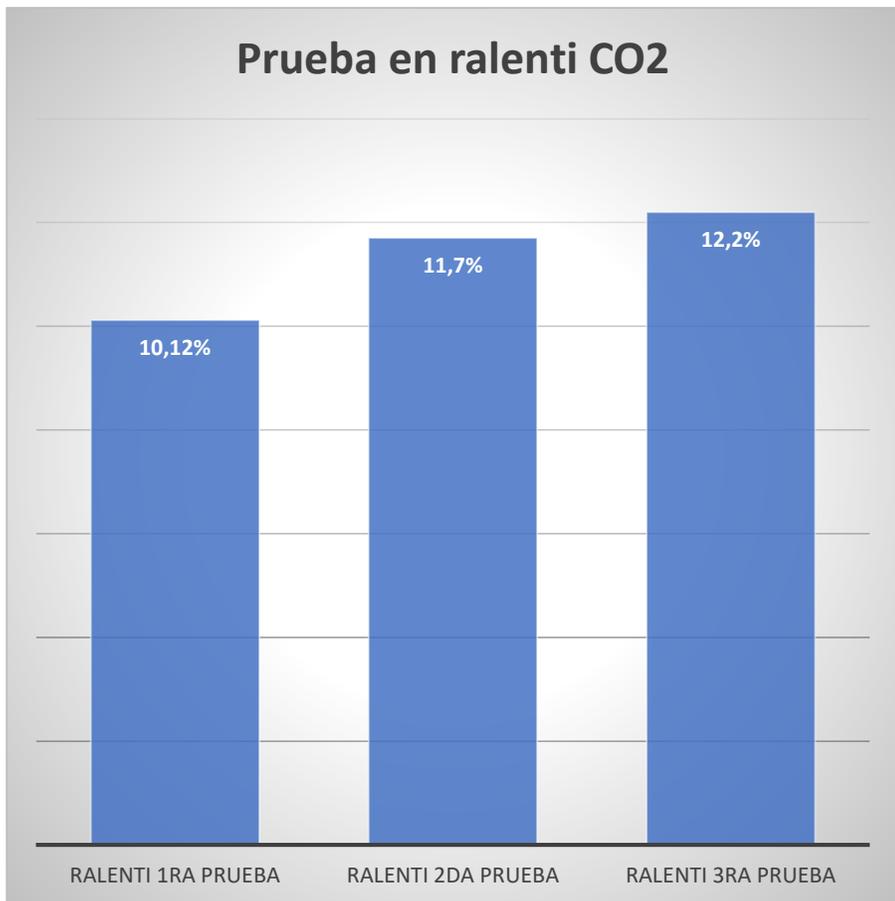
Prueba en ralentí de CO



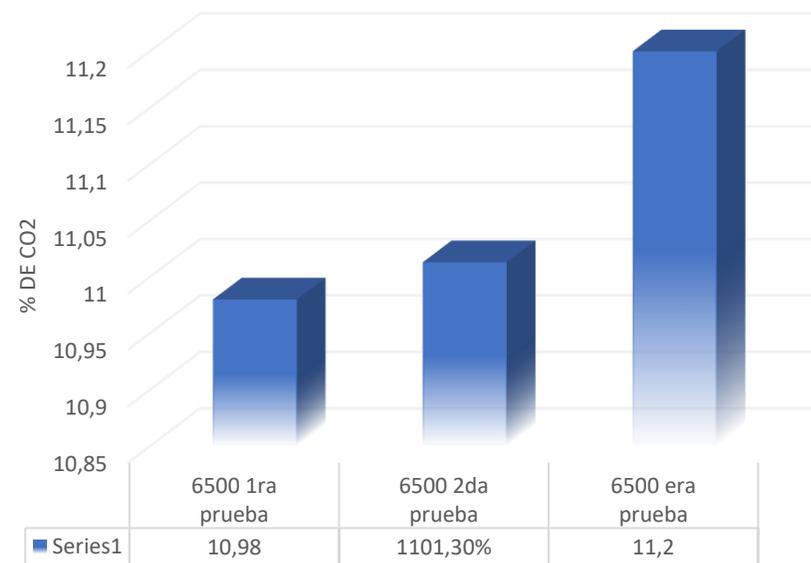
PRUEBA A 6500 DE CO



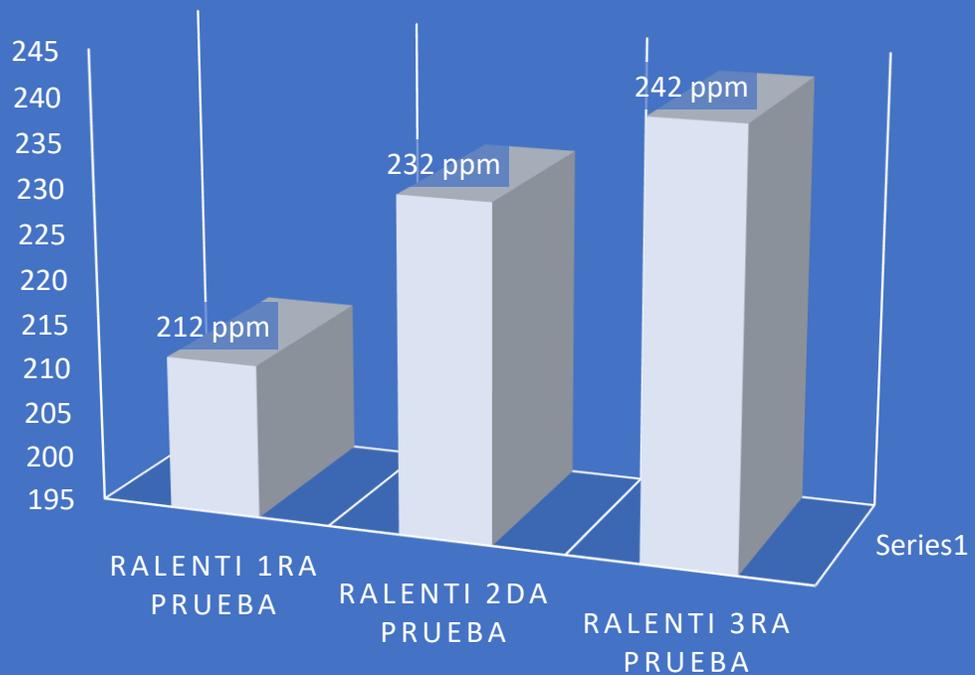
Prueba en ralenti CO2



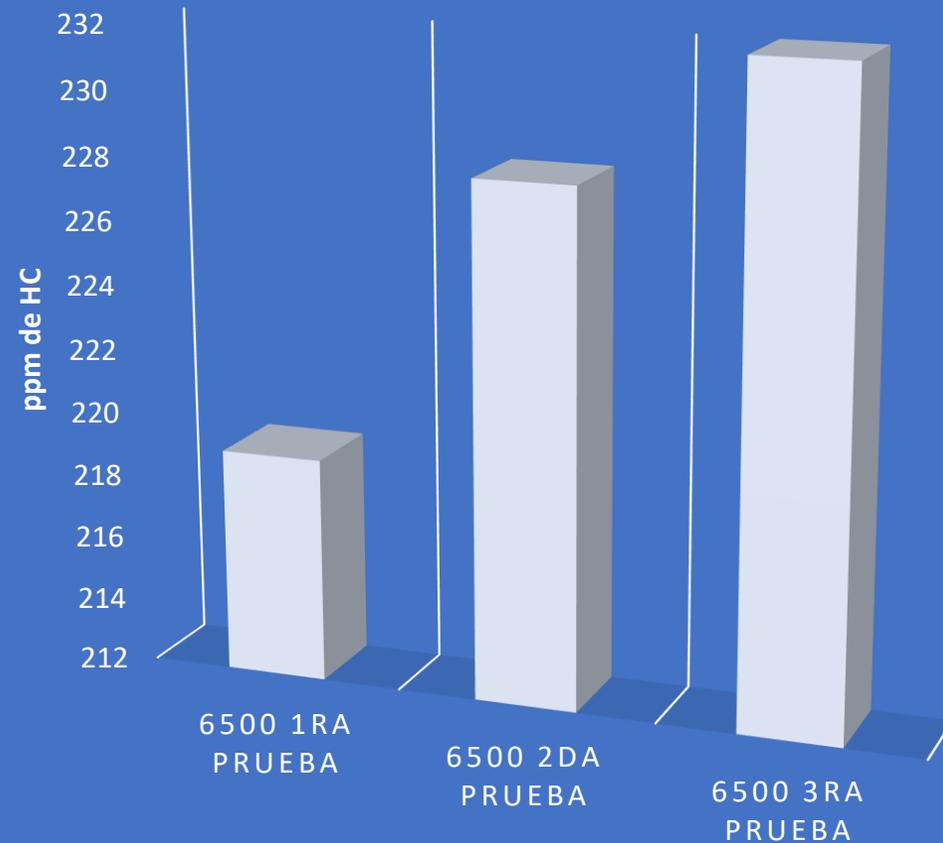
PRUEBA A 6500 RPM DE CO2



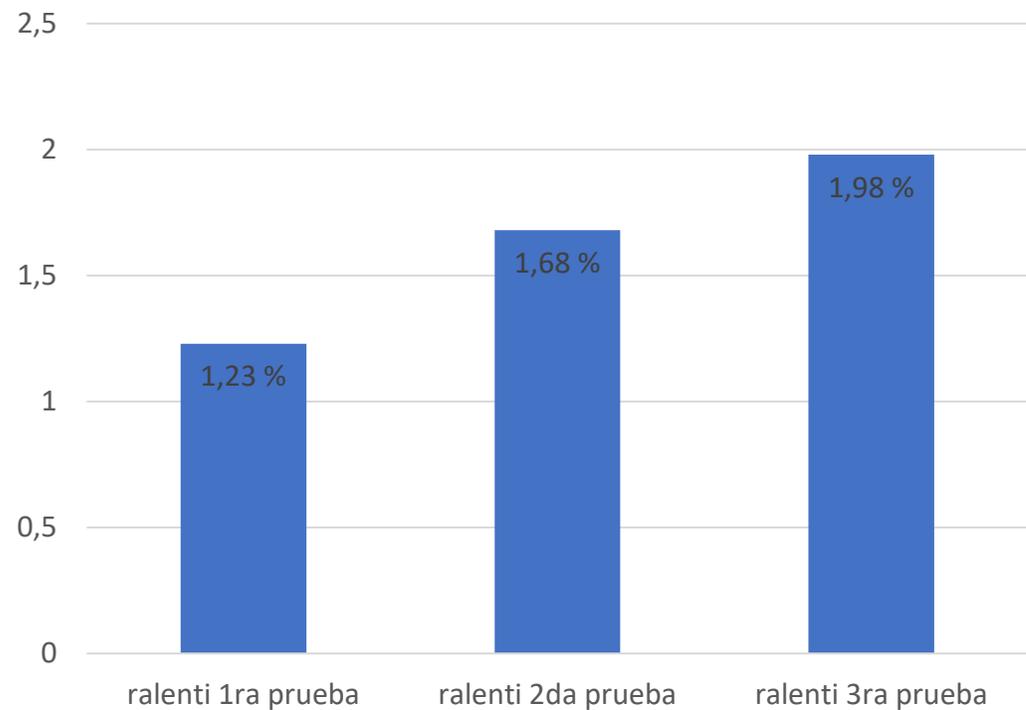
PRUEBA EN RALENTI DE HC



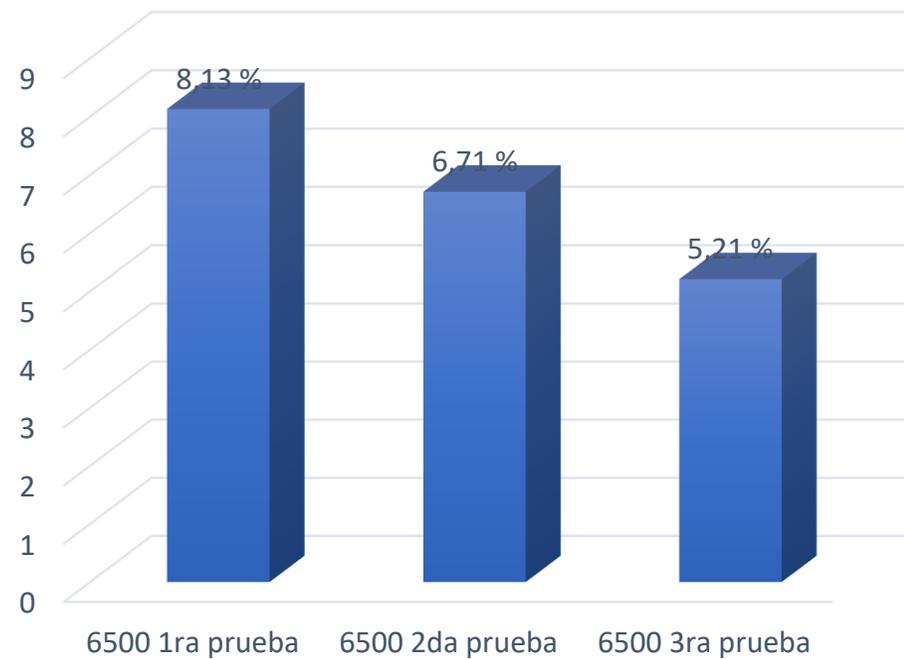
PRUEBA A 6500 RPM DE HC



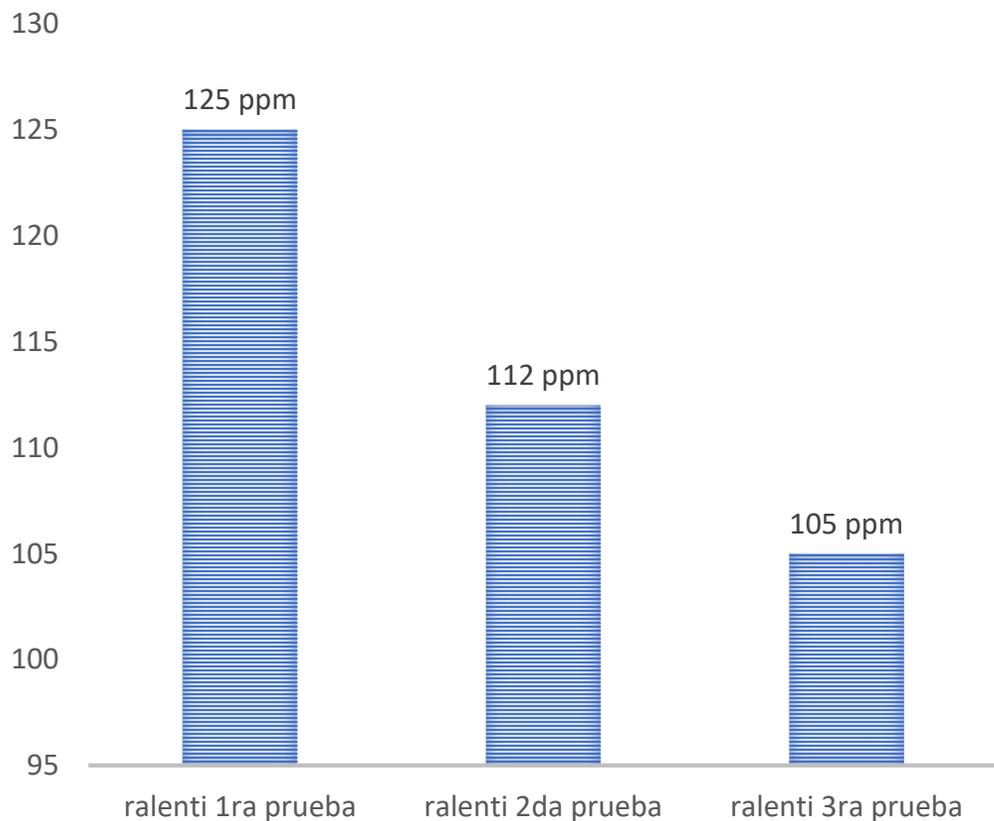
Prueba en ralenti de O2



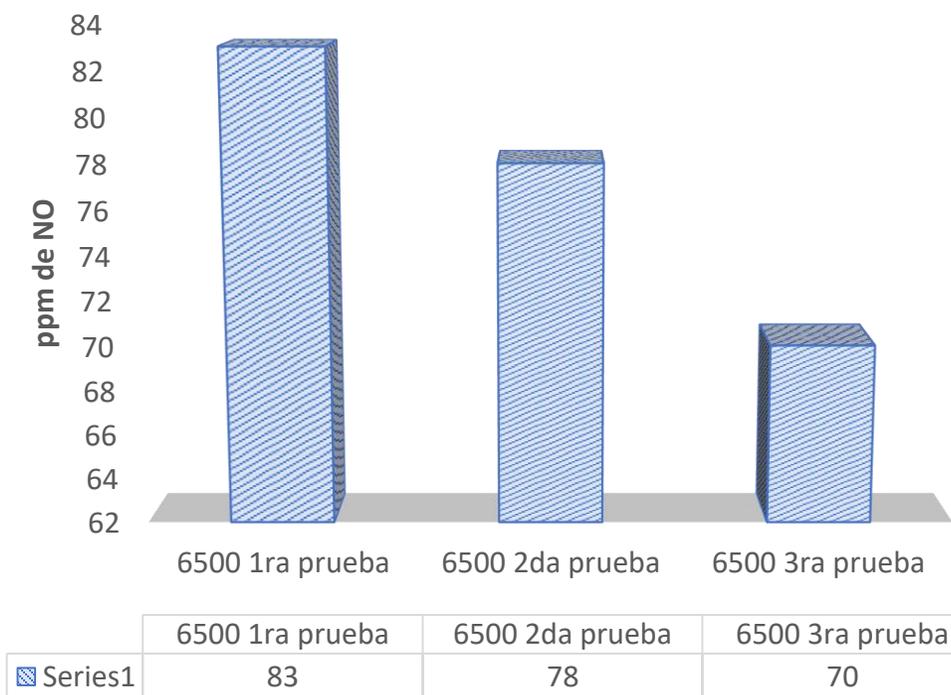
comparación de O2 a 6500 rpm



ANÁLISIS DE NO EN RALENTÍ



ANÁLISIS DE NO A MEDIO RÉGIMEN



Conclusiones

- Se determinó componentes, eléctricos, electrónicos, mecánicos compatibles en su totalidad con la unidad electrónica de control MICROSQUIRT.
- Se realizó la implementación del sistema reprogramable MICROSQUIRT, utilizando componentes de calidad, que garantizan su funcionamiento en las condiciones más exigentes, como es el mundo de la competición.
- Se elaboró tablas y mapas tridimensionales, de eficiencia volumétrica y avance al encendido configurados por sensor TPS, basados en la relación estequiométrica ideal 14,7:1.

- Se realizó cálculos en función al combustible a suministrar, la masa de aire que ingresa al motor, la eficiencia volumétrica a la altura de la ciudad de Latacunga y a 350 msnm, en donde se desarrolló la competencia MOTOSTUDENT.
- Se determinó que para obtener la mayor potencia y torque del motor KTM 250 cc, la mezcla de aire y combustible debe estar entre 12,4 y 12,6 medidos por WIDE BAND, de esta manera se elaboró mapas tridimensionales para un máximo rendimiento de dicho motor.
- Se realizó pruebas de torque y potencia sobre un dinamómetro de rodillo obteniendo una potencia máxima de 35,35 HP, es decir un 15% de potencia adicional, en cuanto al torque se obtuvo un valor de 27,61 Nm, 13% superior al valor de la ficha técnica.
- Se realizó pruebas de consumo de combustible y se determinó que el motor KTM 250 cc consumió un volumen de combustible de 0,8 ml en 5.58 km, para ser una motocicleta de competición, es un valor alto

- Se realizó un análisis comparativo, de potencia y torque en función a la cantidad de combustible suministrado, medido con un sensor de oxígeno tipo wideband, en donde se pudo destacar que este motor trabaja en óptimas condiciones con una mezcla estequiométrica de 12.4.
- Se determinó que las ppm de NO se reducen, debido a que el motor está funcionando en mezcla rica.
- Al suministrar una cantidad alta de combustible los hidrocarburos se elevaron sustancialmente, obteniendo un valor de 212 ppm a 6500 rpm, que es un régimen de revoluciones en donde se obtuvo el máximo torque en las pruebas sobre el dinamómetro.

Recomendaciones

- Implementar un sensor WIDE BAND de mejor calidad, ya que un sensor de mala calidad se avería cuando es sometido a diferentes tipos de combustibles, esto ayudaría a una entonación más precisa sin importar las condiciones del entorno, como puede ser temperatura de aire, humedad relativa, presión atmosférica, entre otros.
- Implementar un sensor de tipo Knock, para poder apreciar de mejor manera el fenómeno knocking, el cual es dañino para los motores, con esto se prevendría serias averías en motores de competición.



- Investigar sobre las correcciones barométricas, ya que un motor al ser controlado por una ECU programable, es propenso a fallas, en cuanto a la cantidad de combustible a suministrar, y el avance al encendido, pudiendo ocasionar graves daños en los motores en el peor de los casos, esto es de gran importancia para otra modalidad de competencias como es el rally, Dakar, entre otras modalidades.
- Durante el proceso de sincronización del PMS con el disparo de la bobina de encendido, tomar en cuenta que los dientes de la rueda fónica se cuentan en sentido antihorario, y después del sensor CKP.
- Al momento de realizar las pruebas sobre el dinamómetro, tomar todas las medidas de seguridad necesarias, para evitar accidentes.
- Tener precaución con la manipulación de la batería, debido a que en su interior contiene ácido, esto puede provocar daños en la salud, del usuario quien la manipule.

