



Diseño de un emulador de señales para realizar el ajuste y modificación de mapas tridimensionales de inyección y encendido de computadores programables automotrices

Palacios Guerrero, Cristian Eduardo y Rocha Pullopaxi, Henry Joel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

8 de agosto de 2022

Latacunga

COPYLEAKS

TESIS PALACIOS_ROCHA.pdf

Scanned on: 17:48 August 8, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	1556
Words with Minor Changes	203
Paraphrased Words	460
Omitted Words	0

Ing. Erazo Laverde Washington Germán
C.I: 0502867146



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, "Diseño de un emulador de señales para realizar el ajuste y modificación de mapas tridimensionales de inyección y encendido de computadores programables automotrices" fue realizado por los señores **Palacios Guerrero, Cristian Eduardo y Rocha Pullopaxi, Henry Joel**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 8 de agosto de 2022

Firma:

Erazo Laverde, Washington Germán

C. C. 0501432637



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Palacios Guerrero, Cristian Eduardo**, con cédula de ciudadanía n°1751441104 y **Rocha Pullopaxi, Henry Joel** con cédula de ciudadanía n°0502867146, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño de un emulador de señales para realizar el ajuste y modificación de mapas tridimensionales de inyección y encendido de computadores programables automotrices** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 8 de agosto de 2022

Firma:

Palacios Guerrero, Cristian Eduardo

C.C.: 1751441104

Firma:

Rocha Pullopaxi, Henry Joel

C.C.: 0502867146



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de publicación

Nosotros **Palacios Guerrero, Cristian Eduardo**, con cédula de ciudadanía n°1751441104 y **Rocha Pullopaxi, Henry Joel** con cédula de ciudadanía n°0502867146, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño de un emulador de señales para realizar el ajuste y modificación de mapas tridimensionales de inyección y encendido de computadores programables automotrices** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 8 de agosto de 2022

Firma

Palacios Guerrero, Cristian Eduardo

C.C.: 1751441104

Firma:

Rocha Pullopaxi, Henry Joel

C.C.: 0502867146

Dedicatoria

El proyecto de investigación realizado y la consecución de esta meta en la etapa de mi vida va dedicada de manera especial hacia mi familia puesto que estuvieron allí ante cualquier logro y adversidad. Asimismo, va dedicado a todos aquellos que en la gran parte de mi etapa formativa y de desarrollo personal estuvieron presentes para brindarme su apoyo incondicional.

Cristian Palacios

Agradecimiento

Con especial agradecimiento hacia Dios por darme la oportunidad de cumplir otra meta importante en mi etapa formativa. De igual forma a mis padres por haberme guiado en todo momento para alcanzar los objetivos planteados. Extiendo también un agradecimiento a toda la comunidad universitaria, docentes y compañeros de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, que estuvieron durante mi etapa formativa guiándome y apoyándome para alcanzar esta meta.

Cristian Palacios

Dedicatoria

La presente investigación va dedicada al esfuerzo que han realizado mis padres para poder cumplir una meta más en mi vida, a mis hermanos y sobrino que han sido un apoyo incondicional en cada etapa de mi carrera universitaria y que me han brindado sus consejos en diferentes situaciones complicadas que se han presentado.

Y por último dedico la investigación a aquellos familiares que hoy no están conmigo, pero sé que les dará mucha satisfacción ver que uno más de la familia es un profesional y que va logrando las metas que se ha propuesto.

Henry Rocha

Agradecimiento

En este punto quiero darle las gracias primero a Dios por la salud y vida que me ha brindado para realizar este proyecto y para seguir cumpliendo mis objetivos, doy las gracias profundas a mis padres que siempre me han dejado tomar mis decisiones y que me han guiado para ser una persona de bien y servir a la sociedad.

Y como no agradecer a la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga que sin duda alguna es de las mejores universidades del país, agradezco a sus docentes, al personal administrativo y operativo, que hacen de esta institución una de las más emblemáticas del Ecuador, agradezco a todas las personas que forman parte de la universidad y que se esfuerzan por cambiar la realidad de un país por un futuro mejor.

Henry Rocha

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Dedicatoria.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenidos	10
Índice de figuras	18
Índice de tablas	22
Índice de ecuaciones.....	24
Resumen	25
Abstract.....	26
Capítulo I: Marco metodológico de la investigación	27
Antecedentes.....	27
Planteamiento del problema	29
Descripción resumida del proyecto.....	31
Justificación e importancia.....	32

Objetivos	33
<i>Objetivo general</i>	<i>33</i>
<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>33</i>
Metas	34
Hipótesis	35
VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	35
<i>Variable independiente.....</i>	<i>35</i>
<i>Variable dependiente</i>	<i>35</i>
<i>Operacionalización de las variables</i>	<i>35</i>
Metodología	36
<i>Método comparativo</i>	<i>36</i>
<i>Método experimental.....</i>	<i>36</i>
<i>Método de matematización</i>	<i>37</i>
<i>Método de modelación</i>	<i>37</i>
<i>Método inductivo.....</i>	<i>37</i>
<i>Método deductivo.....</i>	<i>37</i>
Capítulo II: Marco teórico.....	41
Sistemas automotrices de gestión de electrónica.....	41
Sistemas programables de inyección y encendido	41
Señales electrónicas.....	42
Señales analógicas	42

Señales digitales	43
Señales de entrada	44
<i>Sensor de posición del cigüeñal</i>	44
<i>Sensor de temperatura del aire de admisión</i>	45
<i>Sensor temperatura del motor</i>	46
<i>Sensor de presión absoluta</i>	47
<i>Sensor de oxígeno</i>	49
Señales de salida	50
<i>Inyectores</i>	51
<i>Bobina de encendido</i>	54
<i>Parámetros del encendido</i>	54
<i>Bujías</i>	55
Fundamentos para generar el mapa base en función del aire que ingresa.....	56
<i>Eficiencia volumétrica</i>	57
Unidad de control electrónico	58
Constitución ECU automotriz	59
Clasificación de las memorias de la unidad de control electrónico.....	60
<i>Memoria RAM</i>	61
<i>Memoria ROM</i>	62
<i>Memoria PROM</i>	63
<i>Memoria EPROM</i>	63

<i>Memoria EEPROM</i>	63
<i>Memoria FLASH</i>	64
Unidades de control electrónica programable	65
<i>Megasquirt</i>	66
<i>ECU MOTEC M84</i>	66
<i>RaceTec R1000</i>	67
<i>Speeduino</i>	68
<i>Método de programación</i>	69
<i>Software de programación Tuner Studio MS</i>	70
Mapas tridimensionales	72
<i>Generar mapas tridimensionales de rendimiento volumétrico</i>	73
<i>Método Corners</i>	74
Mapa de combustible	74
Mapa de encendido	75
Capítulo III: Diseño y construcción del banco emulador de señales	77
Características del banco de pruebas	77
Diseño del banco de pruebas	77
<i>Dimensionamiento de la estructura</i>	78
<i>Alimentación del banco</i>	81
<i>Requerimientos de señales a comprobar</i>	83
<i>Descripción de los componentes del banco de pruebas</i>	84

<i>Componentes del banco</i>	87
<i>Panel de control del banco</i>	88
Diseño de los circuitos de conexión	92
Diseño y simulación de los circuitos de entrada	94
<i>Circuito sensor MAP</i>	94
<i>Circuito sensor TPS</i>	95
<i>Circuito sensor CKP</i>	95
<i>Circuito sensores de temperatura</i>	96
<i>Circuito sensor Oxígeno</i>	97
Selección de la ECU programable	98
<i>ECU programable Speeduino</i>	102
<i>Disposición de pines Speeduino V0.4</i>	103
Conexiones de los inyectores	104
<i>Método de emparejado</i>	104
<i>Método secuencial</i>	105
Conexiones de las bobinas de encendido	106
<i>Chispa pérdida</i>	106
<i>Secuencial COP</i>	108
<i>Conexión con distribuidor</i>	108
Ensamblaje del banco de pruebas.....	109
Programación	111

<i>Arduino</i>	111
<i>Ajustes necesarios en Tuner Studio</i>	112
<i>Creación de un programa nuevo desde cero</i>	112
<i>Carga del mapa base</i>	115
<i>Calibración sensor TPS</i>	116
<i>Sensor MAP</i>	116
<i>Sensor IAT</i>	117
<i>Sensor ECT</i>	118
<i>Sensor EGO</i>	118
<i>Wideband</i>	119
<i>Sensor CKP</i>	120
<i>Configuración para actuadores</i>	120
<i>Cálculos del mapa base</i>	122
<i>Ajuste mediante el método Corners</i>	125
Mapa de encendido	131
Ajustes adicionales del usuario	133
Comunicación	134
Operabilidad	135
Capítulo IV: Pruebas y análisis de resultados en el banco de pruebas	136
Encendido y configuración del banco de pruebas	136
Señales simuladas en banco	136

Señal CKP	139
Señal MAP	140
Señal TPS	141
Señal IAT	142
Señal ECT	142
Señal EGO1	143
Señal EGO2	144
Pruebas en la bobina de encendido	145
<i>Medición de la corriente según el tiempo de carga</i>	146
<i>Mediciones en el circuito primario</i>	148
<i>Mediciones en el circuito secundario</i>	150
Señal obtenida de los inyectores	151
Análisis de mapas tridimensionales	152
<i>Mapa de inyección</i>	152
<i>Mapa de encendido</i>	158
Salidas para inyectores y bobina	160
Capítulo V: Marco administrativo	167
Presupuesto y financiamiento	167
Recursos humanos	167
Recursos materiales	167
Recursos tecnológicos	168

Costo neto del proyecto	169
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones	170
 Conclusiones	170
 Recomendaciones	171
Bibliografía	174
Anexos	180

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Árbol de problemas</i>	29
Figura 2 <i>Señal analógica</i>	43
Figura 3 <i>Señal digital</i>	43
Figura 4 <i>Divisor de voltaje</i>	44
Figura 5 <i>Sensor CKP</i>	45
Figura 6 <i>Disposición de cables del sensor IAT</i>	45
Figura 7 <i>Voltaje de señal de los sensores de temperatura</i>	46
Figura 8 <i>Conexión del sensor con la ECU</i>	47
Figura 9 <i>Disposición de cables sensor MAP</i>	48
Figura 10 <i>Sensor MAP voltaje de señal</i>	48
Figura 11 <i>Disposición de cables sensor de oxígeno</i>	49
Figura 12 <i>Voltaje de señal del sensor de oxígeno</i>	50
Figura 13 <i>Señales de salida que opera la ECU</i>	51
Figura 14 <i>Inyector de combustible</i>	52
Figura 15 <i>Valores de voltaje del inyector</i>	53
Figura 16 <i>Diagrama de conexión de una ECU para el control del encendido</i>	54
Figura 17 <i>Bujía</i>	56
Figura 18 <i>Circuitos internos de la Unidad de Control Electrónico</i>	59
Figura 19 <i>Componentes de una ECU automotriz</i>	60
Figura 20 <i>Tipos de memorias</i>	61
Figura 21 <i>Familia de las memorias RAM</i>	62
Figura 22 <i>Familia de las memorias ROM</i>	62
Figura 23 <i>Memoria EEPROM</i>	64
Figura 24 <i>Memoria FLASH</i>	65
Figura 25 <i>Megasquirt ECU programable</i>	66

Figura 26 <i>MOTEC M84 ECU programable</i>	67
Figura 27 <i>RaceTec R1000 ECU programable</i>	68
Figura 28 <i>Speeduino ECU programable</i>	69
Figura 29 <i>Esquema de gestión con ECU programable</i>	70
Figura 30 <i>Cuadros gráficos personalizados en tiempo real de los parámetros de gestión</i>	71
Figura 31 <i>Interpretación de los colores presentes en los mapas del software</i>	72
Figura 32 <i>Mapa tridimensional</i>	73
Figura 33 <i>Mapa tridimensional de combustible</i>	75
Figura 34 <i>Mapa tridimensional de avance al encendido</i>	76
Figura 35 <i>Diseño del banco emulador de señales</i>	78
Figura 36 <i>Diseño de soportes o bases cuadrangulares de la estructura</i>	79
Figura 37 <i>Fuente de alimentación del banco de pruebas</i>	81
Figura 38 <i>Circuito de voltaje</i>	82
Figura 39 <i>Circuito de alimentación de los sensores del banco</i>	83
Figura 40 <i>Esquema de bloques de los sensores de entrada para la ECU programable</i>	84
Figura 41 <i>Esquema donde se describen los componentes del banco de pruebas</i>	85
Figura 42 <i>Diseño en CAD del panel de control del banco de pruebas</i>	89
Figura 43 <i>Circuito del sistema de indicadores de inyección</i>	92
Figura 44 <i>Circuito del sistema de indicadores de encendido</i>	93
Figura 45 <i>Circuito del sensor MAP</i>	95
Figura 46 <i>Circuito del sensor TPS</i>	95
Figura 47 <i>Circuito del sensor CKP</i>	96
Figura 48 <i>Circuito del sensor ECT</i>	97
Figura 49 <i>Circuito del sensor IAT</i>	97
Figura 50 <i>Circuito del sensor de oxígeno</i>	98
Figura 51 <i>Esquema físico de la placa Speeduino V0.3</i>	102

Figura 52 Configuración de pines del 1-40 placa Speeduino V0.4.....	103
Figura 53 Conexión de 4 inyectores por el método de emparejado.....	105
Figura 54 Conexión de 4 inyectores por el método secuencial.....	106
Figura 55 Conexión de 2 bobinas para 4 cilindros por el método chispa pérdida.....	107
Figura 56 Conexión de 4 bobinas COP para 4 cilindros por el método secuencial.....	108
Figura 57 Conexión de 1 canal de encendido en sistema de encendido con distribuidor.....	109
Figura 58 Armado de la estructura del banco de pruebas.....	109
Figura 59 Instalación de los accesorios del sistema de encendido.....	110
Figura 60 Capa de pintura y montaje de accesorios en el banco de pruebas.....	110
Figura 61 Pestaña de bienvenida del software de gestión Tuner Studio.....	112
Figura 62 Carpeta que contiene el firmware actualizado.....	113
Figura 63 Ajustes en el software respecto de a la temperatura.....	114
Figura 64 Configuración del modo de comunicación ECU - PC.....	114
Figura 65 Selección de la interfaz de visualización de los parámetros.....	115
Figura 66 Selección del mapa base.....	115
Figura 67 Calibración del sensor TPS.....	116
Figura 68 Calibración del sensor MAP.....	117
Figura 69 Calibración del sensor IAT.....	118
Figura 70 Calibración del sensor EGO.....	119
Figura 71 Calibración wideband.....	119
Figura 72 Calibración del sensor CKP.....	120
Figura 73 Calibración de los inyectores.....	121
Figura 74 Calibración de la bobina de encendido.....	121
Figura 75 Mapa tridimensional base.....	125
Figura 76 Mapa tridimensional base mejorado.....	130
Figura 77 Configuración del tipo de sistema de encendido.....	131

Figura 78 <i>Mapa tridimensional de encendido</i>	132
Figura 79 <i>Enriquecimiento en la mariposa aceleración</i>	133
Figura 80 <i>Ajustes en el arranque</i>	134
Figura 81 <i>Comunicación del banco de pruebas con el software de gestión TunerStudio</i>	134
Figura 82 <i>Señales simuladas en el software de gestión Tuner Studio</i>	137
Figura 83 <i>Señal simulada sensor CKP</i>	139
Figura 84 <i>Señal simulada sensor MAP</i>	140
Figura 85 <i>Señal simulada sensor TPS</i>	141
Figura 86 <i>Señal simulada sensor IAT</i>	142
Figura 87 <i>Señal simulada sensor ECT</i>	143
Figura 88 <i>Señal simulada sensor EGO1</i>	144
Figura 89 <i>Señal simulada sensor EGO2</i>	145
Figura 90 <i>Mediciones en la bobina de encendido</i>	146
Figura 91 <i>Ajuste del tiempo de carga de la bobina</i>	146
Figura 92 <i>Señal del circuito primario de la bobina de encendido a 580 rpm</i>	149
Figura 93 <i>Señal del circuito primario de la bobina de encendido a 830 rpm</i>	149
Figura 94 <i>Señal del circuito secundario de la bobina de encendido a 500 rpm</i>	150
Figura 95 <i>Señal del circuito secundario de la bobina de encendido a 850 rpm</i>	151
Figura 96 <i>Señal del inyector a 1000 rpm</i>	151
Figura 97 <i>Señal del inyector a 4000 rpm</i>	152
Figura 98 <i>Mapa tridimensional base comprobando el pulso de inyección</i>	153
Figura 99 <i>Valores de los parámetros de funcionamiento del motor y sensores</i>	154
Figura 100 <i>Valores de los parámetros del motor en ralentí con valores entre 2.5 y 3.5 ms</i>	155
Figura 101 <i>Modificación del mapa de VE en la zona de baja carga y velocidad en ralentí</i>	155
Figura 102 <i>Aumento del ciclo de trabajo del inyector</i>	156
Figura 103 <i>Valores de avance de encendido en función de las RPM</i>	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de la variable independiente.....	35
Tabla 2 Operacionalización de la variable dependiente.....	36
Tabla 3 Metodología de investigación	38
Tabla 4 Dimensiones de los soportes de la estructura.....	80
Tabla 5 Especificaciones de los componentes del sistema de encendido.....	85
Tabla 6 Especificaciones de los componentes del sistema de inyección.....	86
Tabla 7 Listado de los componentes implementados en el banco de pruebas	88
Tabla 8 Indicadores visuales de cada sensor del panel de control.....	90
Tabla 9 Fabricación placas de los circuitos de control y conexión del banco de pruebas	93
Tabla 10 Computadoras programables automotrices	98
Tabla 11 Arduino Mega 2560.....	101
Tabla 12 Configuración de pines 1-40 placa Speeduino.....	103
Tabla 13 Valores para generar el mapa VE en función de la presión absoluta.....	124
Tabla 14 Valores de presión absoluta en función de las revoluciones para generar el mapa.	124
Tabla 15 Delimitación de la zona de altas RPM.....	126
Tabla 16 Delimitación de la zona de alta carga.....	127
Tabla 17 Efecto de la desaceleración brusca en los valores con AFR 1.02.....	128
Tabla 18 Incremento de 1.8% en la zona de alta demanda a partir de 2800 RPM.....	129
Tabla 19 Disminución de 1.8% en la zona de baja demanda a partir de 1400 RPM	130
Tabla 20 Valores de encendido variando el avance con el valor de carga del sensor MAP....	132
Tabla 21 Señales simuladas en el banco de pruebas visualizadas por osciloscopio	137
Tabla 22 Valores de voltaje y frecuencia sensor CKP	140
Tabla 23 Valores de voltaje sensor MAP.....	141
Tabla 24 Valores de voltaje sensor TPS.....	141
Tabla 25 Valores de voltaje sensor IAT.....	142

Tabla 26 <i>Valores de voltaje sensor ECT</i>	143
Tabla 27 <i>Valores de voltaje y frecuencia sensor EGO1</i>	144
Tabla 28 <i>Valores de voltaje sensor EGO2</i>	145
Tabla 29 <i>Corriente de la bobina de encendido en función del tiempo de carga</i>	147
Tabla 30 <i>Valores de VE en función de las RPM, PW y carga aplicada</i>	153
Tabla 31 <i>Valores del ciclo de trabajo del inyector según las RPM</i>	156
Tabla 32 <i>Proceso de suavización del mapa tridimensional con herramienta linealización</i>	157
Tabla 33 <i>Evolución del mapa tridimensional de encendido base respecto con el modificado</i> . 160	
Tabla 34 <i>Condiciones iniciales para la realización de las pruebas con osciloscopio</i>	161
Tabla 35 <i>Gráficas del pulso de inyección del inyector utilizando el mapa VE base</i>	161
Tabla 36 <i>Gráficas del pulso de inyección del inyector utilizando el mapa VE modificado</i>	162
Tabla 37 <i>Graficas variando los grados de avance utilizando mapa de encendido base</i>	164
Tabla 38 <i>Gráficas variando los grados de avance utilizando mapa de encendido modificado</i>	165
Tabla 39 <i>Recursos humanos</i>	167
Tabla 40 <i>Recursos materiales</i>	167
Tabla 41 <i>Recursos tecnológicos</i>	169
Tabla 42 <i>Costo neto del proyecto</i>	169

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>masa de aire que ingresa al motor</i>	57
Ecuación 2 <i>masa de aire desplazada</i>	57
Ecuación 3 <i>rendimiento volumétrico</i>	58

Resumen

El banco de pruebas desarrollado en el proyecto de investigación emula las señales provenientes de los sensores de un motor de combustión interna que sirven como parámetros de entrada en una ECU programable en el ajuste de mapas tridimensionales de inyección y encendido. La investigación inicia con la recopilación de información bibliográfica inherente a la emulación de señales y fundamentos teóricos esenciales para obtener y ajustar mapas tridimensionales haciendo uso de computadoras programables. Se recaba información actualizada que permita establecer criterios de selección de la ECU programable, componentes eléctricos y electrónicos de fácil acceso comercial. Se realizan simulaciones de circuitos a implementar mediante software para un funcionamiento similar a una señal proveniente de un sensor automotriz autentico. Para la obtención del mapa tridimensional base se explican los cálculos matemáticos para obtener la eficiencia volumétrica como algoritmo de partida, así como los pasos a seguir para la programación en Arduino y la configuración de Tuner Studio. Para analizar los resultados obtenidos se utiliza el osciloscopio Hantek 1008C para visualizar las curvas características de las señales emuladas. Además, se comparan los mapas de inyección y encendido base con los ajustados. Para finalizar se analiza la señal de salida de los actuadores con el osciloscopio cuando se aplican mapas base y modificado.

Palabras clave: ECU programable, mapa de inyección, mapa de encendido, inyección, encendido electrónico

Abstract

The test bench developed in the research project emulates the signals from the sensors of an internal combustion engine and uses them as input parameters in a programmable ECU in the adjustment process for three-dimensional injection and ignition maps. The research begins with the compilation of bibliographic information inherent to the emulation of signals and essential theoretical foundations to obtain and adjust three-dimensional maps using programmable computers. Updated information is collected to establishing the best selection criteria for the programmable ECU, electrical and electronic components of easy commercial access.

Simulations of electric circuits to be implemented are made by software to reach the similar operation of a signal from an authentic automotive sensor. To obtain the three-dimensional base map, the mathematical calculations to obtain the volumetric efficiency as a starting algorithm are explained, as well as the steps to follow for programming in Arduino and the configuration of Tuner Studio. To analyze the results obtained, the Hantek 1008C oscilloscope is used to visualize the characteristic curves of the emulated signals. In addition, the base injection and ignition maps are compared with the adjusted ones. Finally, the output signal of the actuators is analyzed with the oscilloscope in two conditions, both when base and modified maps are applied.

Keywords: programmable ECU, injection map, ignition map, injection, electronic ignition.

Capítulo I

Marco metodológico de la investigación

Antecedentes

La electrónica programable involucra un conjunto de tecnologías enfocadas al mapeo de sistemas, control de señales, eficiencia de combustibles y cuidado del medio ambiente (Bosch, 2008) menciona que:

La innovación de los sistemas automotrices electrónicos y programables, forma parte de los más de 100 años de investigación dedicados a la inyección de gasolina. Desde 1967 en donde surge la primera normativa de gases de escape en EE. UU se introdujeron sistemas de inyección electrónica para mitigar el impacto ambiental causado por el uso de combustibles fósiles, que se venían desarrollando años atrás. Por otra parte, para tener un funcionamiento del motor más suave, económico y menor cantidad de gases nocivos, el motor debe recibir una mezcla aire/combustible perfecta, en cada nivel de rotación algo que sin duda brindan sistemas avanzados de inyección que cumplan con los requerimientos de cada vehículo en el lugar en que se encuentren (pp. 3, 5).

La inyección programada de combustible es adaptable a cualquier vehículo que tenga a la electrónica como eje principal en el funcionamiento del motor, según (Pozo & Puentestar, 2014):

La electrónica programable en vehículos de competencia suprime el trucaje de los elementos mecánicos de un motor como el cepillado y aplanado, rectificación del cigüeñal, bielas y pistones, a través de un software dedicado a la programación de una ECU. Por otra parte, está la facilidad con la que se pueden variar los parámetros de inyección y encendido en el vehículo, tal es así que los vehículos de competición que

hacen uso de una ECU programable obtienen un incremento significativo en el torque y potencia en relación con un sistema electrónico convencional. (p. 15).

En Ecuador existe gran aceptación por la electrónica programable sobre todo en proyectos enfocados a competencias automovilísticas puesto que brinda grandes prestaciones y contribuyen al cuidado del medio ambiente. Según (Montero & Paguay, 2021):

Una ECU programable va a permitir ajustar la mezcla estequiométrica de 14,7 a 1 entre aire y combustible, con esta mezcla ideal se consigue un Lambda de 1, es decir, la mezcla no será muy rica tampoco muy pobre durante la ignición, logrando así la disminución de gases nocivos que se dan en el escape y así mismo una reducción del consumo de combustible. (p. 9).

La manipulación de equipos programables requiere de monitoreo de cada mapa que se genera, (Amaya & Villareal, 2017) explican que:

En las unidades de control electrónico se realizan mapeos de distintos sistemas en tiempo real como el sistema de inyección, encendido entre otros. Donde se observa cambios que tengan influencia los parámetros característicos del motor de combustión interna y así facilitar al piloto obtener mayor potencia del vehículo según sean las condiciones de manejo. (p. 1).

A través del control y ajuste de las señales de entrada para la ECU programable la gestión de los sistemas de inyección y encendido permite establecer un consumo óptimo de combustible y el mayor rendimiento del vehículo durante una competencia (Pérez & Sellan, 2021) indican:

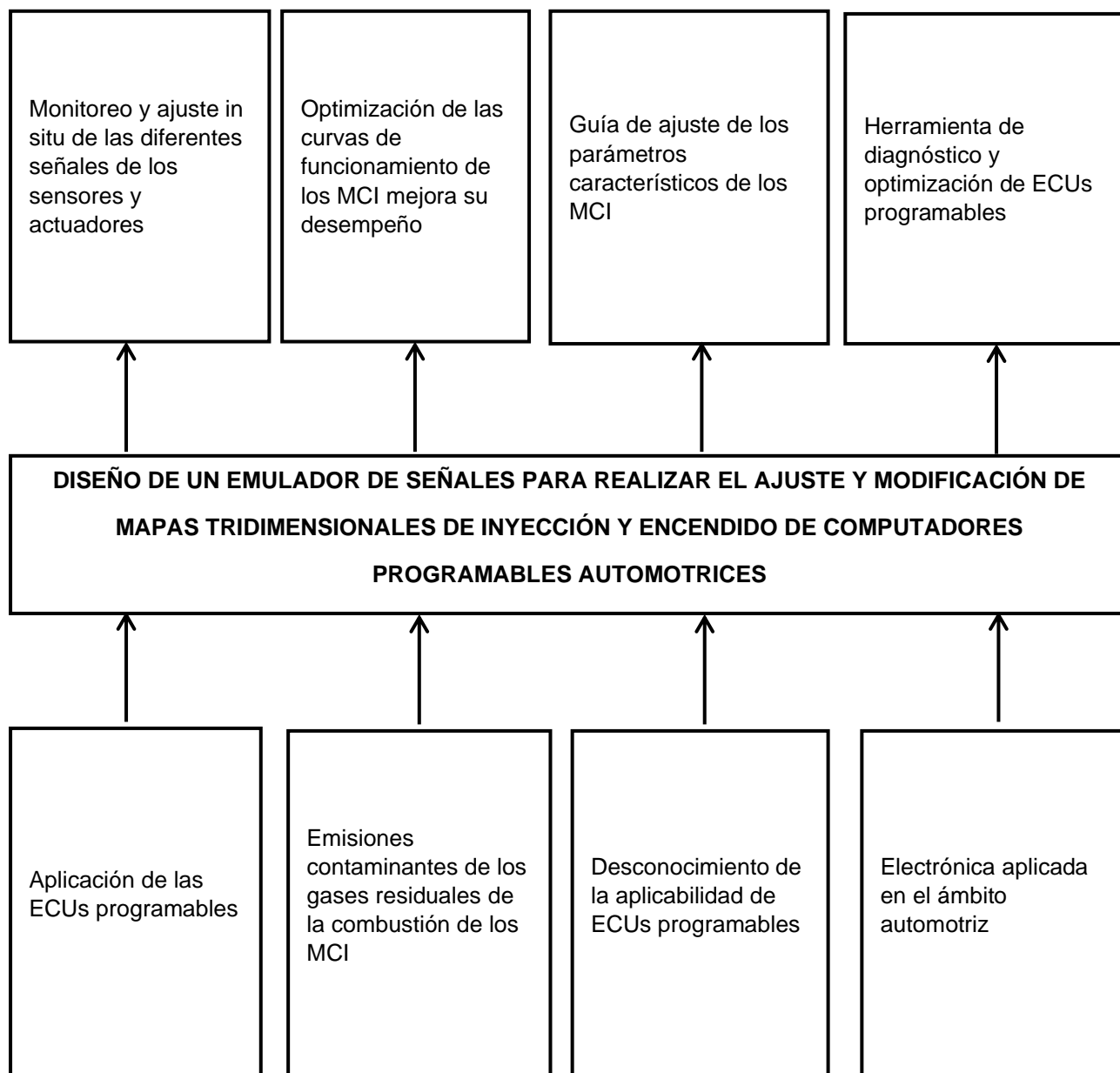
Los enfoques se complementan con la necesidad de diseñar sistemas inteligentes o modificar parámetros en las computadoras del vehículo para tener una mayor diversidad

al momento de realizar una automatización en la parte automotriz teniendo complementos que ayuden a su óptimo funcionamiento. (p. 8).

Planteamiento del problema

Figura 1

Árbol de problemas



Nota. Diagrama del árbol de problemas.

En la actualidad, la electrónica aplicada en el sector automotriz ha tenido avances tecnológicos considerables, puesto que para la programación de una ECU resulta imprescindible el uso de software dedicados que intervienen sobre las señales de sensores específicos para potenciar el funcionamiento del MCI.

La Unidad de Control Electrónica en un automotor con inyección electrónica de combustible es la encargada de recibir y administrar las señales provenientes de los sensores y enviarlas hacia los actuadores para el funcionamiento óptimo del MCI y todos los subsistemas presentes en un automóvil.

Por otro lado, una ECU programable cumple con similares funciones, pero adicionalmente permite ser gobernada bajo una programación externa la cual busca la optimización de los parámetros característicos para mejorar el desempeño del MCI y así mitigar el impacto ambiental que representan las emisiones de gases quemados producto de la combustión.

La electrónica aplicada constituye un medio efectivo para diagnosticar, controlar y modificar tanto el sistema de encendido como el de inyección de combustible, por medio de una ECU cuya programación mejore el rendimiento o bien potencialice los parámetros de funcionamiento de los motores de combustión interna.

Considerando todo lo anterior, el proyecto propone investigar sobre emuladores de señales de mapas tridimensionales de computadoras programables, representando una alternativa y a su vez, una herramienta didáctica capaz de diagnosticar, monitorear y optimizar las señales ejemplificando el funcionamiento de una ECU programable.

Descripción resumida del proyecto

En la elaboración del proyecto “Diseño de un emulador de señales para realizar el ajuste y modificación de mapas tridimensionales de inyección y encendido de computadores programables automotrices”, se desarrolló lo siguiente:

Se investigó sobre la tecnología aplicada a los sistemas automotrices para el control programado de los mapas motor, basándose en información actualizada de investigaciones, proyectos de tesis, revistas, informes y artículos científicos.

Se seleccionó los componentes que mejor se adapten al banco para la elaboración del proyecto y que sean compatibles con la ECU programable a utilizar y con su software, para el monitoreo de mapas tridimensionales.

Se dimensionó un banco de monitoreo basado en el control mediante una ECU programable, teniendo en cuenta el ajuste de las señales de entrada, así como la simulación de los sistemas automotrices que intervienen mediante el uso de software especializado.

Se construyó el banco controlado por una ECU programable con el afán de obtener datos que influyen en el monitoreo de mapas tridimensionales mediante la emulación de señales del MCI.

Se elaboró una base de cálculo que permita establecer los parámetros necesarios a ser ingresados en las matrices de encendido e inyección para el óptimo desempeño en motores de combustión interna ciclo Otto.

Se realizó una base de mapas de inyección y encendido que puedan ser implementados en un motor de combustión interna ciclo Otto, mediante el cálculo de parámetros de rendimiento para ambos sistemas.

Se realizó diversas pruebas y ensayos prácticos a través de un protocolo que permite establecer parámetros pertinentes a los sistemas, que controla la ECU programable, que a su vez permiten determinar la configuración de los sistemas automotrices.

Se analizó de acuerdo con mapas tridimensionales la influencia de la señal simulada en la inyección y encendido del MCI, para determinar una configuración adecuada basada en el ahorro de combustible, disminución de gases contaminantes, y rendimiento óptimo de torque y potencia, de tal manera que se generó una guía de manejo del banco de monitoreo, junto con la toma de datos de señales y valores obtenidos en el protocolo de pruebas a desarrollar.

Justificación e importancia

El parque automotor en Ecuador está sufriendo grandes cambios, principalmente por el impacto medioambiental que envuelve el uso de los combustibles fósiles para movilidad y transporte, lo que requiere un esfuerzo adicional para seguir mejorando los sistemas convencionales de inyección a gasolina.

Las diferentes aplicaciones de la electrónica en vehículos de competencia sin duda alguna han traído consigo variedad de mejoras en los sistemas de inyección de los autos tanto es así que en la preparación del motor, la gestión electrónica por medio de una ECU programable puede sustituir al trucaje de componentes mecánicos al monitorear las señales provenientes de los sensores y, a partir de un análisis de estas se ajusta el funcionamiento de los actuadores, dando lugar resultados favorables en el consumo de combustible, las emisiones de gases, y el rendimiento en general del motor.

Los mayores avances tecnológicos desarrollados en los motores de combustión interna para reducir las emisiones contaminantes radican en la implementación de nuevos componentes que regulen los gases residuales producto de la combustión, sin embargo, por

medio de una programación efectiva en una ECU programable se optimizan las curvas de funcionamiento para un mejoramiento de su desempeño.

Existen diferentes ejemplos sobre los que la aplicación de una ECU programable resulta en un sinnúmero de consecuencias favorables a la hora de potenciar el desempeño de un MCI, por lo que al diseñar un emulador de monitoreo y ajuste se ejemplifica su funcionamiento como una guía de ajuste de los parámetros característicos de un motor de combustión interna.

La aplicación de la electrónica bajo un emulador de monitoreo y ajuste por medio de una ECU programable en los vehículos representada de manera didáctica a través de un banco de aprendizaje significará una herramienta de diagnóstico y optimización útil al servicio de las personas ligadas a la carrera de ingeniería automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Latacunga que forme a futuros profesionales especializados en el área de la Autotrónica.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y construir un emulador de señales de ajuste y modificación de mapas tridimensionales de inyección y encendido de computadoras programables automotrices.

Objetivos específicos

- Investigar sobre los parámetros que influyen en la generación de mapas tridimensionales de inyección y encendido aplicados en motores de combustión interna y ajustados con una ECU programable, en fuentes de información confiable.
- Seleccionar los componentes eléctricos y electrónicos adecuados para el uso de una ECU programable que permita el monitoreo de señales de entrada y salida.

- Diseñar un emulador de señales para monitoreo de mapas tridimensionales con una ECU programable, para el control de actuadores en los sistemas de inyección y encendido.
- Construir un emulador de señales para monitoreo de mapas tridimensionales de inyección y encendido, que permita el ajuste y control a través de una ECU programable.
- Generar una base de cálculo que permita establecer los parámetros necesarios a ser ingresados en las matrices de encendido e inyección para el óptimo desempeño en motores de combustión interna ciclo Otto.
- Elaborar una base de mapas de inyección y encendido que puedan ser implementados en un motor de combustión interna ciclo Otto, mediante el cálculo de parámetros de rendimiento para ambos sistemas.
- Realizar ensayos prácticos a través de un protocolo de pruebas, para determinar bajo qué parámetros la ECU programable ajusta la configuración del sistema de inyección y encendido.
- Analizar la influencia de la emulación de señales en el banco de monitoreo de señales tridimensionales en la inyección y encendido, utilizando software especializado en ECU's programables con el fin de generar una guía de uso y configuración del banco de monitoreo de mapas tridimensionales proyectado a motores de combustión interna ciclo otto.

Metas

Emular las señales de entrada y salida de los sistemas de inyección y encendido de motores ciclo Otto, que permita obtener mapas tridimensionales, para el ajuste y modificación de los mismos a través de una ECU programable.

Hipótesis

La emulación de señales automotrices permitirá obtener mapas tridimensionales de inyección y encendido que sean aplicables en motores de combustión interna a gasolina para la optimización de sus parámetros característicos.

Variables de investigación

Variable independiente

Emulador de señales

Variable dependiente

Mapas tridimensionales de inyección y encendido

Operacionalización de las variables

- **Variable independiente**

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es un dispositivo destinado a la simulación de señales analógicas y digitales que son procesadas mediante una ECU automotriz, para el control de los sistemas de inyección y encendido en motores de combustión interna ciclo Otto.	Generación de señales	Revoluciones	RPM	Trabajos de campo	Guía metodología
		Temperatura	°C	Trabajos de campo	Guía metodología
		Carga del motor	kPa	Trabajos de campo	Guía metodología
		Posición del acelerador	%	Trabajos de campo	Guía metodología

Nota. La tabla detalla la variable independiente según su categoría, indicadores, ítem, técnicas e instrumentos.

- **Variable dependiente**

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Se trata de la configuración que necesita de sistemas de inyección y encendido, para regular la mezcla aire combustible y el punto de encendido de la misma.	Mapas tridimensionales	Encendido	grados	Trabajos de campo	Protocolo de pruebas
		Inyección	ms	Trabajos de campo	Protocolo de pruebas
		Revoluciones	V	Trabajos de campo	Protocolo de pruebas
		Cantidad de flujo de aire	g/s	Trabajos de campo	Protocolo de pruebas
		Presión absoluta en el múltiple	PSI	Trabajos de campo	Protocolo de pruebas
		Consumo de combustible	ml	Trabajos de campo	Protocolo de pruebas
	Software	Libre	unidad	Experimentación	Protocolo de pruebas

Nota. La tabla detalla la variable dependiente según su categoría, indicadores, ítem, técnicas e instrumentos.

Metodología

Método comparativo

Este método se encarga de evaluar la incidencia que tiene la variación de cada mapa tridimensional considerando la modificación de las señales de entrada que tiene la ECU programable y demostrar con ello la variación que se presenta en los sistemas de inyección y encendido.

Método experimental

A través del presente método se plantea el desarrollo de las diferentes pruebas de funcionamiento del emulador de señales de los sensores y actuadores para la obtención de

mapas tridimensionales de los sistemas de inyección y encendido del vehículo para determinar la configuración más adecuada en las señales de entrada y salida.

Método de matematización

Con la ayuda de este método se determina con exactitud el mapa tridimensional de inyección y encendido, de acuerdo al cálculo y modulación de las señales de entrada a la ECU programable, para la obtención de una matriz de cálculo que permita satisfacer parámetros de eficiencia de combustible y encendido de la mezcla.

Método de modelación

Se utiliza este método para la creación del sistema de monitoreo de sensores y actuadores, basándose en la gestión electrónica que realiza la ECU programable y su influencia con la generación de cada mapa tridimensional, esto junto con la simulación pertinente de cada señal de entrada mediante software especializado.

Método inductivo

A través de este método se establecen bajo la experimentación y observación los parámetros con los que deberá ser configurado la emulación de señales del banco, con el fin generar y monitorear en tiempo real los mapas tridimensionales de inyección y encendido, esta experimentación determinará las variables a modificar para la optimización del funcionamiento y rendimiento de los motores de combustión interna.

Método deductivo

Con este método se establece el mapa base con el cual se comienza para su optimización, considerando los valores iniciales de la ECU y las condiciones de entrada para la emulación de cada señal con el fin de incrementar el rendimiento del sistema con la variación del mapa tridimensional.

Tabla 3*Metodología de investigación*

Metodología	Descripción	Equipo	Instalaciones y citas-virtual
Comparativo	Este método se encarga de evaluar la incidencia que tiene la variación de cada mapa tridimensional considerando la modificación de las señales de entrada que tiene la ECU programable y demostrar con ello la variación que se presenta en los sistemas de inyección y encendido.	Protocolo de pruebas, computador, Tunner Studio, Livewire, Office/Excel	- Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"
Experimental	A través del presente método se plantea el desarrollo de las diferentes pruebas de funcionamiento del emulador de señales de los sensores y actuadores para la obtención de mapas tridimensionales de los sistemas de inyección y encendido del vehículo para determinar la configuración más adecuada en las señales de entrada y salida.	Protocolo de pruebas, computador, Tunner Studio	- Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"
Matematización	Con la ayuda de este método se determina con exactitud el mapa tridimensional de inyección y encendido, de acuerdo al cálculo y modulación de las señales de entrada a la ECU programable, para la obtención de una matriz de cálculo que permita satisfacer parámetros de eficiencia de combustible y encendido de la mezcla.	Computador, Tunner Studio	- Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"

Metodología	Descripción	Equipo	Instalaciones y citas-virtual
Modelación	Se utiliza este método para la creación del sistema de monitoreo de sensores y actuadores, basándose en la gestión electrónica que realiza la ECU programable y su influencia con la generación de cada mapa tridimensional, esto junto con la simulación pertinente de cada señal de entrada mediante software especializado.	Computador, Tunner Studio, Livewire	- Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE
Medición	Método mediante el cual se obtienen valores cuantitativos y cualitativos de cada actuator involucrado en el banco de monitoreo, que se miden en base a condiciones de la mezcla aire/combustible ideal de 14.7:1, y se ven reflejados en cada mapa tridimensional de inyección y encendido tabulado en una matriz.	Protocolo de pruebas, Computador, Tunner Studio, Livewire, Office/Excel	- Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE
Inductivo	A través de este método se establecen bajo la experimentación y observación los parámetros con los que deberá ser configurado la emulación de señales del banco, con el fin generar y monitorear en tiempo real los mapas tridimensionales de inyección y encendido, esta experimentación determinará las variables a modificar para la optimización del funcionamiento y rendimiento de los motores de combustión interna.	Protocolo de pruebas	- Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE

Metodología	Descripción	Equipo	Instalaciones y citas-virtual
Deductivo	Con este método se establece el mapa base con el cual se comienza para su optimización, considerando los valores iniciales de la ECU y las condiciones de entrada para la emulación de cada señal con el fin de incrementar el rendimiento del sistema con la variación del mapa tridimensional.	Protocolo de pruebas, Computador, Tunner Studio, banco de monitoreo	- Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"

Nota. La tabla describe cada una de la metodología que se utiliza en la investigación.

Capítulo II

Marco teórico

Sistemas automotrices de gestión de electrónica

(Pérez D. , 2017) describe que:

El desarrollo industrial de los años 60 y 70 brindó un aumento de las prestaciones de los vehículos, con el propósito de responder a la exigencia de tener vehículos más grandes y veloces con un precio económico, junto con el desarrollo de la parte electrónica y mecánica de los sistemas del vehículo (p. 2).

(Pumarica & Tonato, 2018) mencionan que:

La rama de la ingeniería automotriz a lo largo de la historia se ha encargado del desarrollo de los antiguos sistemas con carburador utilizados para vehículos a gasolina, convirtiéndolos en un sistema electrónico capaz de cumplir con los estándares de emisiones ambientales y aumentando la fiabilidad de los motores (p. 13).

Con la introducción de sistemas de inyección y encendido electrónicos en los vehículos hace que la denominada “reprogramación automotriz” se aplique en el ámbito deportivo, con el fin de cuidar la integridad del motor y reducir los tiempos del vehículo en cada vuelta de una competición automovilística, esto se consigue con el control en el avance del encendido y la variación de la mezcla estequiométrica (Pumarica & Tonato, 2018).

Sistemas programables de inyección y encendido

La innovación automotriz hace posible que existan diversas mejoras que se han aplicado en el motor de combustión interna, siendo una de ellas la electrónica programable.

(Semanate, 2016) plantea que:

La reprogramación electrónica en vehículos convencionales puede eliminar problemas que aparecen como una mala respuesta del motor, lo que provoca inestabilidad en el manejo, por otra parte, los vehículos de uso deportivo y de competencia también hacen uso de la reprogramación de sus sistemas lo que ha permitido obtener mejores prestaciones en potencia y torque de un 5% hasta un 10% (p. 13).

Según (Tinizaray, 2015):

En una reprogramación de centralita se modifican parámetros dependiendo de lo que se pretenda conseguir, ajustando dichos parámetros a la mecánica del vehículo y a los deseos del conductor. Los ajustes más conocidos son la cantidad de inyección, encendido, presión de sobrealimentación y recirculación de gases de escape. (p. 7).

Señales electrónicas

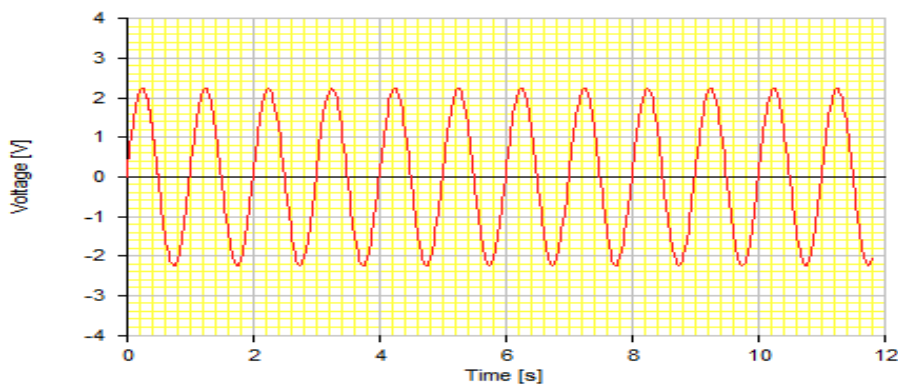
Las señales electrónicas forman parte fundamental de los sistemas automotrices modernos, a través del procesamiento de las mismas se logra controlar el funcionamiento del motor en tiempo real. Las señales son generadas por los sensores que captan las condiciones de funcionamiento del motor como masa de aire, revoluciones, presión y temperatura.

(Columba, 2021, p. 83).

Señales analógicas

(Álvarez, 2007) indica que:

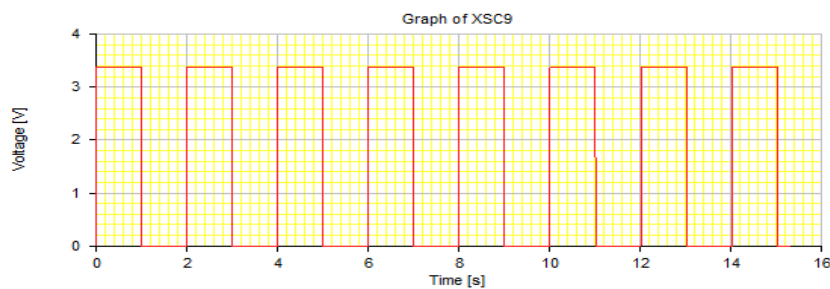
Las señales análogas toman varios valores a la entrada de un controlador lógico, es decir el voltaje es variable durante un determinado tiempo de funcionamiento. Una señal analógica se genera por una magnitud física y la interacción de una resistencia variable como es el caso de los sensores de temperatura, presión, velocidad entre otros (p. 94).

Figura 2*Señal analógica*

Nota. Señal analógica del sensor de cigüeñal CKP.

Señales digitales

Este tipo de señales se caracterizan por tomar un valor fijo, en donde el valor de tensión depende del voltaje de alimentación del controlador lógico. La señal digital se genera desde la tensión de entrada, a través de un interruptor o contactor. (Sanchez & Taipe, 2018)

Figura 3*Señal digital*

Nota. Señal digital del sensor VSS.

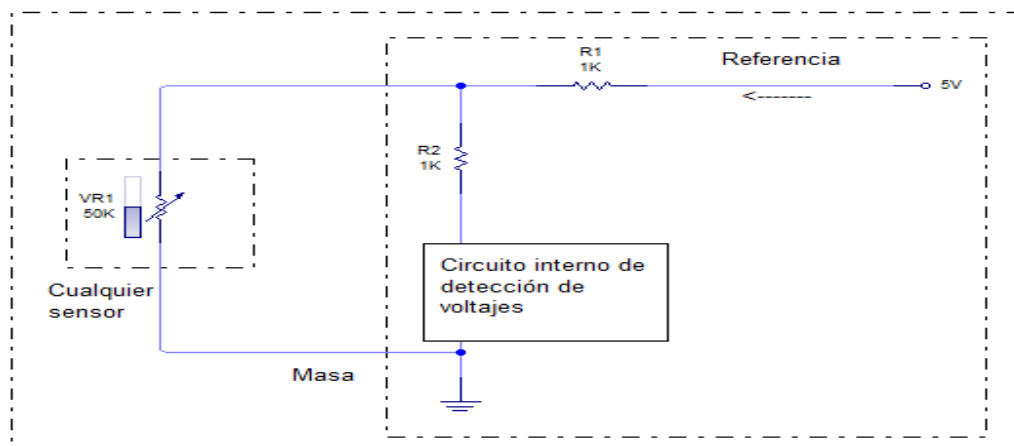
Señales de entrada

La ECU se encargan de monitorear los sensores por medio de un circuito divisor de voltaje, dicho circuito genera un voltaje diferente al de suministro proveniente de la batería, por lo regular la ECU controla en voltaje a los sensores con un valor de 5 voltios de referencia.

El circuito divisor de voltaje se muestra en la figura 4, en la cual se observa el voltaje de referencia que se envían al sensor para que a través del circuito interno de detección del voltaje se pueda leer la señal que está enviando el sensor.

Figura 4

Divisor de voltaje

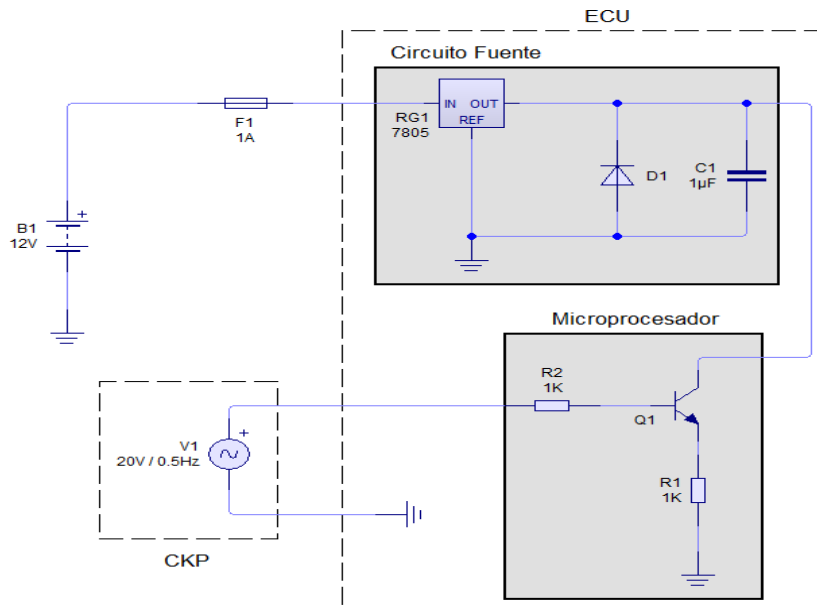


Nota. Circuito divisor de voltaje elaborado en Livewire.

Sensor de posición del cigüeñal

Es el encargado de enviar por medio de una señal de voltaje el número y las secuencias de las ranuras presentes en el plato del convertidor de torsión para que juntamente con la señal del sensor CMP, la ECU ubique la posición del primer cilindro, así como que tanto la generación de chispa e inyección se encuentren sincronizadas con el motor. (Beltrán, 2017)

Figura 5
Sensor CKP

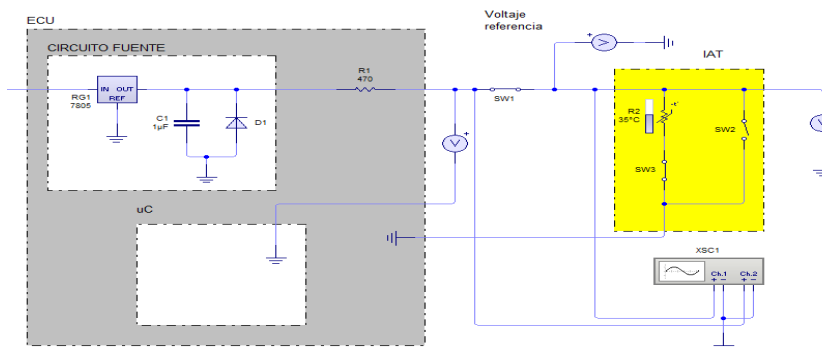


Nota. Diagrama de conexión y disposición de cables del sensor CKP.

Sensor de temperatura del aire de admisión

“El sensor IAT es un sensor externo de dos cables que mide la temperatura del aire que ingresa al motor. Se utiliza para calcular la densidad del aire y representa un factor clave para el cálculo del algoritmo Speed-Density”. (James, 2014)

Figura 6
Disposición de cables del sensor IAT

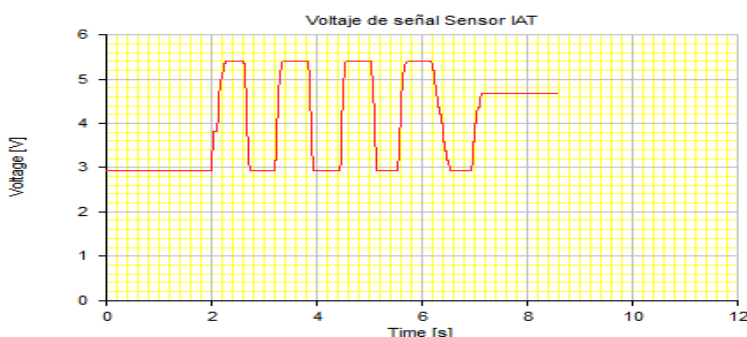


Nota. Diagrama de conexión y disposición de cables del sensor IAT.

Es un resistor variable (termistor) que mide a altas temperaturas una menor resistencia y su respuesta es no lineal. En cuanto a su arquitectura, se recomienda la instalación de un sensor ya sea de elemento abierto o elemento cerrado. Los sensores de elemento abierto se instalan generalmente para aplicaciones de turbo cargados debido a que el termistor se encuentra directamente expuesto al flujo de aire.

Figura 7

Voltaje de señal de los sensores de temperatura



Nota. Voltaje de señal del sensor IAT hacia la ECU.

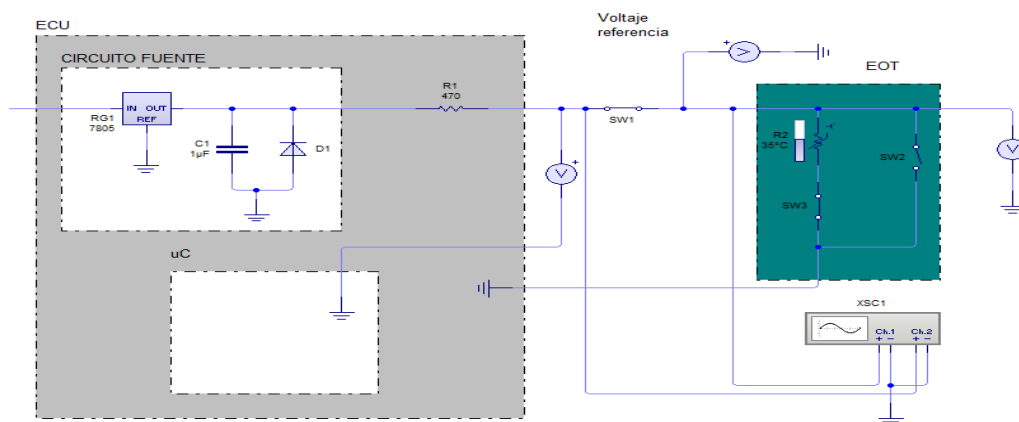
Por otro lado, en los sensores de elemento cerrado el termistor se encuentra encapsulado y resulta muy similar al sensor CTS. Sin embargo, no es recomendado en aplicaciones turbo cargadas puesto que su respuesta es muy lenta respecto de los de elemento abierto.

Sensor temperatura del motor

La función de este sensor es monitorear la temperatura del refrigerante, este se encuentra ubicado dentro del circuito de refrigeración del motor antes del termostato y tiene dos puertos. La señal de este sensor permite ajustar la mezcla aire/combustible y la duración del pulso de los inyectores. (Buitrón & Narváez, 2018)

Figura 8

Conexión del sensor con la ECU



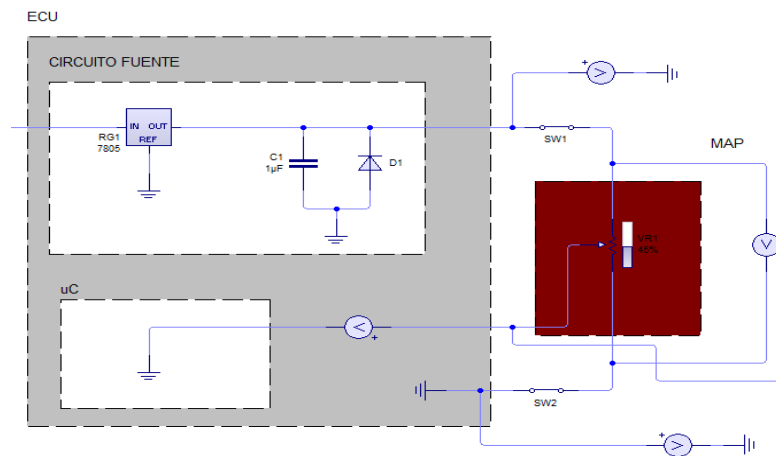
Nota. Diagrama de conexión y disposición de cables del sensor EOT.

Al ser un sensor de temperatura sus valores de operación son similares al sensor IAT. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que este tipo de sensores se conectan mediante una resistencia interna de la ECU.

Sensor de presión absoluta

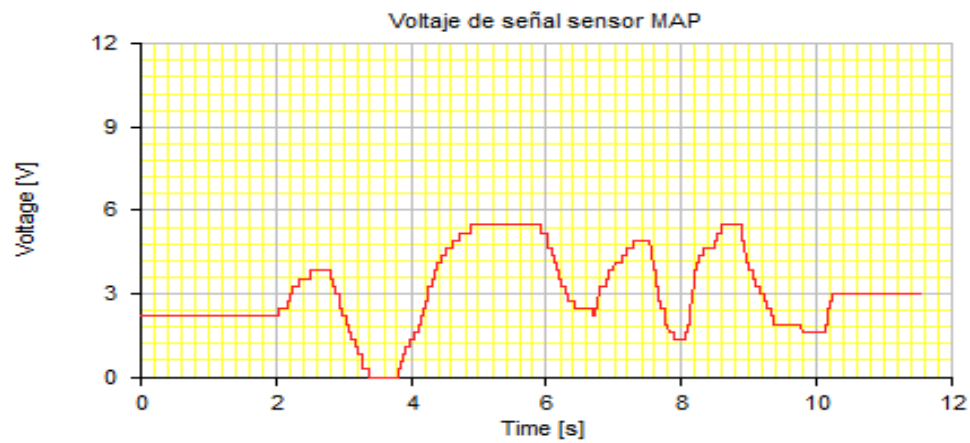
El sensor de presión absoluta MAP se encarga de medir la presión del aire en una escala absoluta, lo que implica que el 0 es el vacío y la presión ambiental al nivel del mar se encuentra alrededor de los 101 kPa.

Es un sensor de 3 cables, siendo uno para el voltaje de referencia (5 voltios), el que sigue corresponde a la tierra y el tercero es el de señal, cabe destacar que la señal de este sensor varía entre los 0 a 5 V que se envían a la ECU programable.

Figura 9*Disposición de cables sensor MAP*

Nota. Diagrama de conexión y disposición de cables del sensor MAP.

En la gran mayoría de los casos, los sensores MAP van montados directamente en la toma de aire del depurador de aire de admisión, aunque existen algunos donde están diseñados para ir instalados en un punto más cercano a la admisión del MCI. (James, 2014)

Figura 10*Sensor MAP voltaje de señal*

Nota. Voltaje de señal del sensor MAP hacia la ECU.

Un segundo sensor que trabaja de forma similar se instala para medir la presión barométrica (sensor BARO), cuya escala máxima sea de 1 bar.

La principal función de este segundo sensor de presión es la de medir e informar a la ECU en caso de que exista cualquier variación en cuanto a la presión ambiente o altitud.

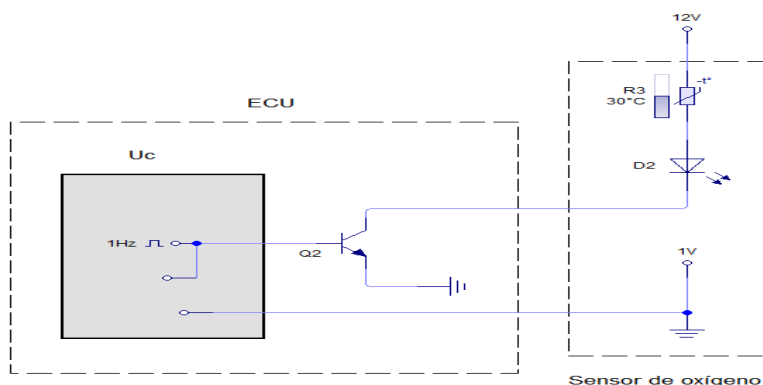
Por otro lado, al implementar sensores MAF en el cuerpo de aceleración del motor se determina un valor específico de la cantidad de aire que ingresa en el múltiple de admisión. Por lo que una correcta calibración de este sensor es determinante para que exista correlación entre el flujo másico de aire actual y el indicado.

Sensor de oxígeno

El sensor de oxígeno entrega una retroalimentación de la mezcla aire-combustible del motor, se encuentra atornillado en un tapón roscado que va unido al sistema de escape que garantiza que no existan fugas de aire que puedan producir fallas en las lecturas de la señal.

Figura 11

Disposición de cables sensor de oxígeno



Nota. Diagrama de conexión y disposición de cables del sensor O2.

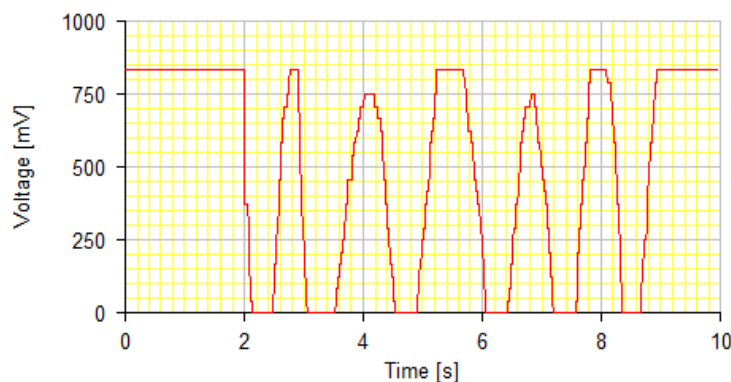
Según (James, 2014) existen los siguientes tipos de sensores de oxígeno:

- **Sensores de 1 cable:** usualmente van montados cerca del colector de escape

- **Sensores de 4 cables:** incluyen un calentador y una señal de tierra, pueden ir instalados en algún punto más alejado del colector de admisión. El cable negro son la señal y tierra del calentador, el cable azul es la señal de tierra del sensor y el cable blanco es la señal de oxígeno
- **Sensores de banda ancha:** es requerido un controlador externo para utilizarlo junto con la ECU programable, estos sensores son más costosos que los anteriores mencionados dado que ofrecen rangos de mezcla elevados. Al ser gestionados por la ECU programable se modifica la calidad de la mezcla en las regiones de frontera. (pp. 22-23).

Figura 12

Voltaje de señal del sensor de oxígeno



Nota. Voltaje de señal del sensor O2 hacia la ECU.

Señales de salida

La Unidad de control electrónico es la encargada de realizar el control de masa de cada uno de los diferentes actuadores, puesto que estos reciben en la mayoría de los casos los 12 V de alimentación directa de la batería.

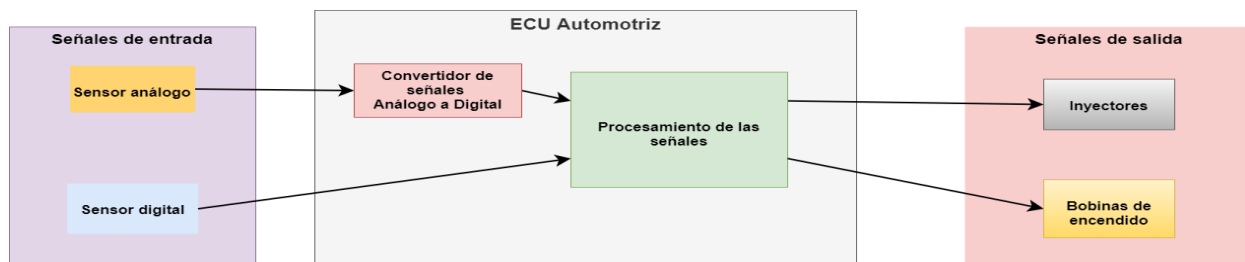
El componente interno de la ECU responsable del funcionamiento correcto de los actuadores del automóvil son los transistores ubicados en los circuitos internos de la misma.

Entre los diferentes dispositivos de salida que opera la ECU se tiene:

- Inyectores
- Bobinas de encendido
- Actuadores de seguros de puerta
- Actuadores de compuertas direccionadoras de aire en sistemas A/C
- Testigos o lámparas indicadoras como la MIL

Figura 13

Señales de salida que opera la ECU



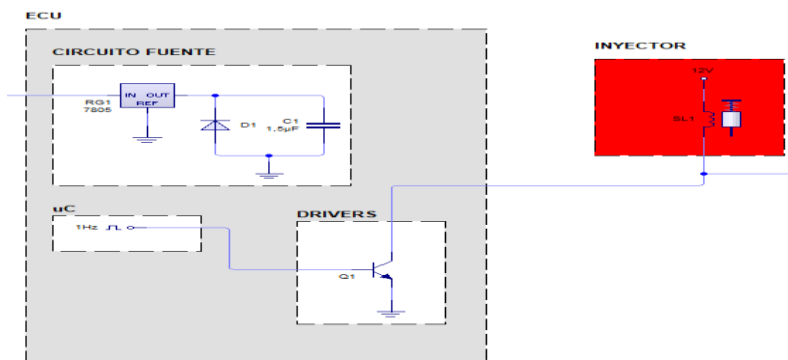
Nota. Diagrama del procesamiento de las señales de la ECU.

Inyectores

El inyector presenta un valor óhmico de resistencia comprendido entre 2 y 16 Ohm, el cual se encuentra asociado en serie a un valor de inductancia que alcanza valores de 15 mH, esta inductancia se debe a la bobina por la cual circula la corriente y de esta forma se retira la aguja del asiento que impide la salida del combustible sometido a presión que se encuentra situado a la salida del inyector. (Mendoza, 2010)

Figura 14

Inyector de combustible



Nota. Representación eléctrica del inyector junto con la ECU.

Como paso previo a la determinación de la cantidad de combustible inyectado se necesita conocer la masa de combustible necesaria, esta se calcula a partir de la masa de aire de entrante y la relación de aire-combustible deseada.

La cantidad de combustible entregada por el inyector depende de la velocidad de flujo del inyector y de su ciclo de trabajo o su ancho de pulso del inyector.

En cuanto a la relación aire combustible AFR (Banish, 2009) menciona que:

La combustión estequiométrica de la gasolina ocurre en una relación de 14,68:1, sin embargo, existen numerosas condiciones de operación entre 7,5:1 y 26:1.

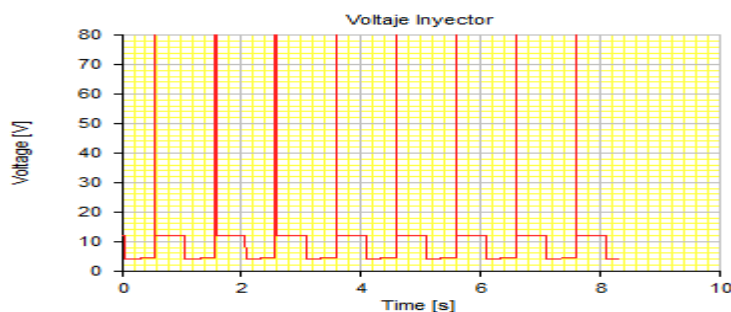
Generalmente una mezcla rica (exceso de combustible) sucede con un valor lambda menor a 0,95, mientras que una mezcla ligeramente pobre (exceso de aire) se desarrolla cuando el valor lambda es equivalente a 1,05. (p. 24).

Tomando en consideración los valores de lambda críticos (Tinizaray, 2015), menciona que:

El valor de $\lambda \approx 0,95$ es ideal dado que proporciona mayor potencia al motor siempre y cuando la relación aire combustible oscile entre los puntos 13,2:1 y 13,4:1. Por otro lado, un valor de $\lambda \approx 1,05$ proporciona una mejor economía de combustible puesto que se encuentra en el punto superior al balance estequiométrico en cuanto a los valores aire combustible aproximados en un índice de 15,5:1. (p. 27).

Figura 15

Valores de voltaje del inyector



Nota. Valores de voltaje del inyector.

Se debe considerar que el inyector permanece abierto por un tiempo muy corto donde solo una pequeña cantidad de combustible es inyectada. Este intervalo de tiempo es conocido como ancho de pulso y su relación con el tiempo total disponible en un ciclo de inyección representa un ciclo de trabajo del inyector. (Tinizaray, 2015)

El ancho de pulso del inyector depende de la velocidad nominal de flujo del inyector la cual es proporcionada por el fabricante y se expresa en lb/h.

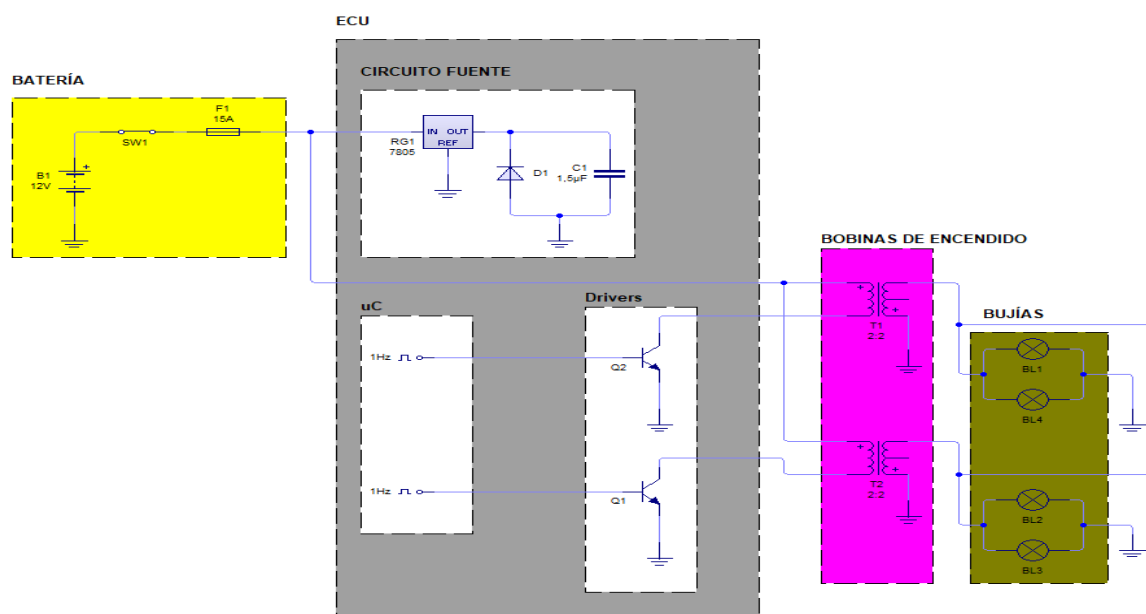
Se debe considerar que los cambios en la presión del aire del múltiple de admisión también afectan la velocidad de flujo del inyector

Bobina de encendido

La generación de la chispa de la bujía se basa en la interrupción de la corriente en el primario de un transformador de relación 100:1, este transformador se denomina bobina de encendido, que se encarga de provocar sobretensiones de un valor entre 10 a 45 kV para que se produzca el arco eléctrico en la bujía. (Mendoza, 2010)

Figura 16

Diagrama de conexión de una ECU para el control del encendido



Nota. Diagrama de bloques que representa la conexión de las bobinas de encendido y bujías con la ECU.

Parámetros del encendido

El tiempo de encendido controla la eficiencia mecánica del ciclo de combustión, y la sincronización del adelanto al encendido es diferente para cualquier motor, por lo que existen ciertos factores que explican esa diferenciación.

- Ubicación de la bujía

- Relación de compresión
- Diámetro del cilindro

En cuanto a los sistemas de encendido electrónico (Tinizaray, 2015) menciona que:

Son controlados por una centralita y se utiliza una tabla de referencia donde se indica el valor del adelanto para diferentes condiciones de velocidad y carga del motor, sustituyendo la operación de un distribuidor. En la tabla se opera tanto con los valores de velocidad como la revolución del motor y la carga. Depende de la programación, pero en general se incrementa en 1 a 5° según aumente la carga y la velocidad. (p. 49).

Las condiciones a las que trabaja el motor que deben ser divididas en regiones para determinar que el adelanto de cada celda sea el adecuado son:

- Baja velocidad y baja carga
- Baja velocidad y alta carga
- Alta velocidad y baja carga
- Alta velocidad y alta carga

Bujías

“Las bujías se encargan de transmitir el salto de chispa a cada uno de los cilindros del motor en el tiempo correspondiente para un correcto funcionamiento del ciclo Otto, dicho salto de corriente es de 12 voltios”. (Silva, Pasuy, & Recalde, 2018)

Figura 17

Bujía



Nota. Diseño y construcción bujías Denso. Tomado de: Denso. (2013). [Fotografía]. <https://bit.ly/3GXOMpa>

Determinar el ángulo de encendido correcto permite obtener mayor o menor fuerza sobre la cabeza del pistón, considerando que, si el adelanto es excesivo, provoca detonaciones y picado de bielas debido a que el sentido de la presión efectuada es contrario al movimiento del motor. Por otro lado, si el adelanto es bajo, no se aprovecha toda la energía en compresión.

Según (Tinizaray, 2015):

Un método efectivo para determinar el momento exacto del salto de chispa necesario es en un dinamómetro o bien en el recorrido en pista con el motor en marcha. Así se omite el conocer valores de presión de compresión instantánea en el cilindro, la velocidad de expansión de la flama y la geometría de la cámara de combustión. (p. 50).

Fundamentos para generar el mapa base en función del aire que ingresa

“El tiempo de inyección depende de las revoluciones y de la carga del motor. Por lo que para calcularlo se debe considerar las características del inyector y sus valores de funcionamiento (caudal másico)” (Pérez A. , 2007)

Sin embargo, adicionalmente es necesario determinar la cantidad de masa de aire que ingresa al motor la cual resulta del producto entre el volumen del motor y la densidad atmosférica en condiciones ideales.

$$G_0 = V_a * \rho_0$$

Ecuación 1 masa de aire que ingresa al motor

Fuente: (Mena, 2019)

Por otro lado, para calcular la cantidad de masa efectiva desplazada en un llenado teórico (100%), se calcula tanto a presión como a temperatura estándar.

$$G_a = \frac{P_{abs} * V_a}{R_{gases} * T_{aire}}$$

Ecuación 2 masa de aire desplazada

Fuente: (Mena, 2019)

Al existir variaciones en la mariposa de aceleración (posición: cerrado), se reduce el flujo de aire y por ende la potencia, puesto que solo se desplaza una fracción de masa de aire. En consecuencia, bajo esta condición la eficiencia volumétrica disminuye.

Respecto a los valores de carga típica de un motor (Tinizaray, 2015) menciona que:

En ralentí es del 10 al 18%, mientras que en conducción en carretera es del 20 al 30%, por su parte una ligera aceleración incrementa el valor de carga del 30 al 60% y si fuera el caso de que la mariposa se encuentre totalmente abierta la carga estará entre el 60 y 105% (motores atmosféricos). (p. 42).

Eficiencia volumétrica

La eficiencia volumétrica VE es la representación numérica del volumen de la carga del cilindro, generalmente expresada en porcentaje. Representa el volumen equivalente que la

carga de entrada ocupara si se encuentra en condiciones ambientales (estándar) dividido por el volumen actual del cilindro. (Banish, 2009).

$$VE = \frac{G_a}{G_0} * 100\%$$

Ecuación 3 rendimiento volumétrico

Fuente: (Banish, 2009)

Según (Tinizaray, 2015) los sistemas de flujo másico de aire dependen en su mayoría de la señal del sensor MAF, con enfoque hacia la carga del motor y combustible requerido.

Unidad de control electrónico

La Unidad Electrónica de Control (ECU) está compuesta por un conjunto de dispositivos electrónicos colocados en una placa de circuito impreso, a la cual llegan varias señales de entrada que se originan por los sensores, estas indican el funcionamiento del motor y son evaluadas para calcular el tiempo de activación de los actuadores por medio de señales de salida. (Cangás & Yáñez, 2015)

Uno de los tipos de control que realizan dichas ECU son los sistemas de diagnóstico a bordo presente en los diferentes vehículos mediante el cual se realiza un monitoreo y control total del motor.

Según (Báez & Mogro, 2008) mencionan que:

El OBD II es una norma que procura disminuir los niveles de polución producida por los vehículos automotores. La primera en ser implementada se dio en 1988 con el OBD I que monitorea la sonda lambda, sistema EGR y ECM. Por su parte, el OBD II fue adoptado a partir de 1996, teniendo como requerimiento principal el monitoreo virtual de todas las

emisiones, sistemas de control y componentes que presenten mal funcionamiento. (p. 53).

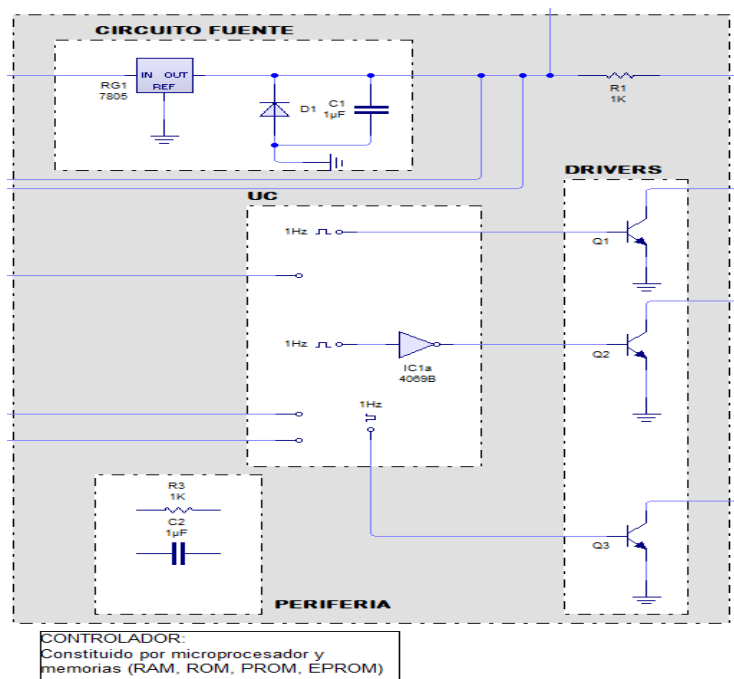
En síntesis, la UCE se encarga de determinar la cantidad de combustible, el punto de ignición y de monitorizar diversos parámetros a partir de las señales de entrada básicas que incluyen a los sensores MAP, APP, IAT, sensor de oxígeno, entre otros que tengan que ver con la operación del MCI.

Constitución ECU automotriz

Una ECU está compuesta tanto por una parte de hardware representada por varios componentes electrónicos dispuestos en una placa de circuito impreso (PCB), como de software que constituyen los diversos códigos ejecutados en el microcontrolador. (Rodríguez, 2019)

Figura 18

Circuitos internos de la Unidad de Control Electrónico



Nota. Diagrama de bloques que representa los diferentes circuitos internos de la ECU.

Bajo esa consideración, en el interior de una unidad de control electrónico se ubican diferentes circuitos independientes adheridos a la PCB, como los transistores (Drivers), el circuito fuente (alimentación), el microcontrolador (generalmente incorpora un chip de memoria Flash).

Figura 19

Componentes de una ECU automotriz



Nota. Esquema de los componentes y sus funciones en una ECU.

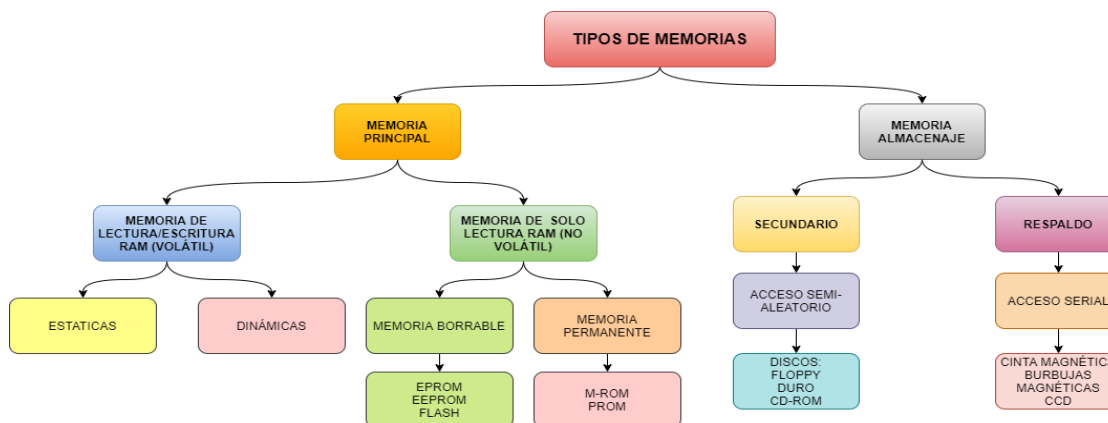
Clasificación de las memorias de la unidad de control electrónico

Los sistemas digitales en contraste con los analógicos permiten almacenar grandes cantidades de datos de información digital ya sea en períodos cortos o largos. Esta es la razón por la que los sistemas digitales se vuelven versátiles y adaptables en diferentes circunstancias.

“Las memorias son circuitos digitales que almacenan datos binarios en un sistema de computadoras, por ejemplo: memorias de semiconductores, cintas magnéticas, discos magnéticos, discos ópticos, entre otros”. (Báez & Mogro, 2008)

Figura 20

Tipos de memorias



Nota. Esquema sobre la clasificación de las memorias de una ECU.

Cabe señalar que puede existir un almacenamiento con una memoria auxiliar separada de la memoria interna de la computadora, su principal ventaja es que almacena grandes cantidades de datos sin que exista corriente eléctrica.

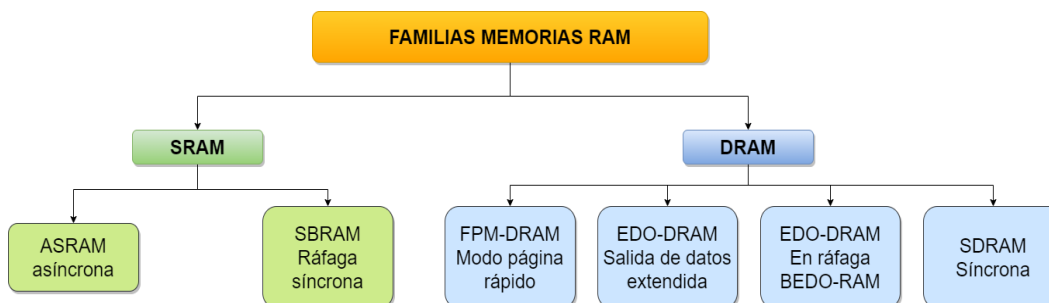
Memoria RAM

La memoria RAM también conocida como memoria de acceso aleatorio, representa un dispositivo que guarda la información utilizada, dado que el acceso al disco duro resulta lento. En esta memoria se almacenan las instrucciones que realizan los diferentes microcontroladores y otras unidades de procesamiento. (Abello, 2008)

La condición para que una memoria RAM tenga la capacidad de almacenar datos es que exista alimentación eléctrica. Razón por la cual, al momento de retirar dicha alimentación todo el contenido se elimina, determinando un tipo de memoria volátil.

Figura 21

Familia de las memorias RAM



Nota. Esquema descriptivo de la familia de las memorias RAM.

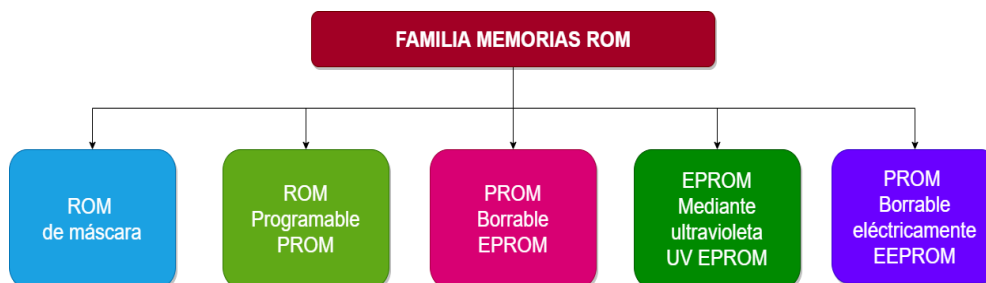
Memoria ROM

La memoria ROM de máscara según (Penagos, 2018) menciona que:

Este tipo de memorias almacenan datos de forma permanente o semipermanente y solo tienen la opción de ser leídas. Sin embargo, hay algunas que se les puede escribir o programar datos. Su principal diferencia con las memorias RAM es que no son volátiles dado que conservan los datos, aunque no exista alimentación. (p. 37).

Figura 22

Familia de las memorias ROM



Nota. Esquema descriptivo de la familia de memorias ROM.

Memoria PROM

“En este tipo de memorias de hilo-fusible su proceso de grabación es irreversible, por lo que una vez programada no se puede cambiar”. (Penagos, 2018)

El proceso de grabación tiene lugar al fundir los fusibles necesarios por lo que la memoria PROM permite la grabación en pastillas de memoria de sólo lectura de microprogramas de manera que las tareas se realizan en poco tiempo, por otro lado, esto significa una desventaja al momento de programar un error, puesto que es irreversible. (Jiménez & Arregui, 2009)

Memoria EPROM

Conforme tuvieron lugar los diferentes avances tecnológicos para superar el inconveniente de la irreversibilidad del proceso de grabación en estas memorias se desarrollaron las memorias EPROM.

“Las memorias EPROM son memorias PROM borrables, donde es necesario borrar el programa grabado para volver a programarla”. (Penagos, 2018)

Además, incorporan un tipo de chip ROM no volátil con transistores de puerta flotante, su proceso de grabación se realiza por medio de un dispositivo electrónico que proporciona voltajes superiores, para que las celdas que reciben carga pasen de ser leídas como 1 a 0. (Gómez, 2014)

Memoria EEPROM

Este tipo de memorias son de lectura, programables y borrables eléctricamente. Su proceso de programación y el de borrado se realiza de forma eléctrica.

Dentro de sus características principales se encuentra que no dispone de una ventana de cristal en su superficie y que para realizar el grabado y borrado las veces que se requiera se

hace uso de un grabador de circuito brindando flexibilidad y rapidez al momento de realizar modificaciones en el programa. (Aguayo, 2004)

Figura 23

Memoria EEPROM



Nota. Memorias EEPROM. Tomado de: Ingeniería y Mecánica. (2020). [Fotografía].
<https://bit.ly/3tSpUvf>

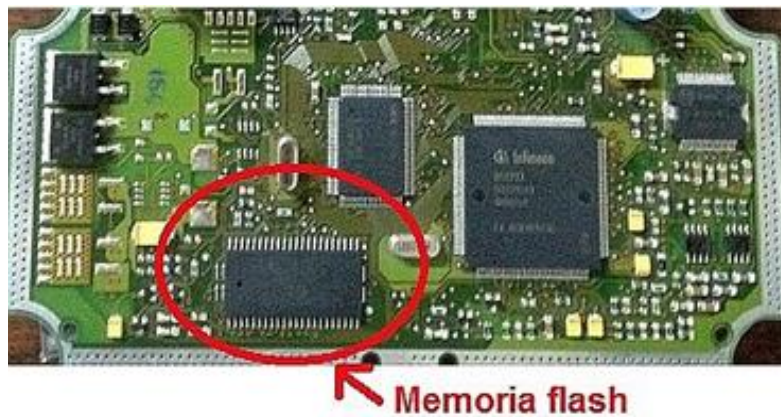
Memoria FLASH

“Representa un tipo de memoria ideal puesto que es capaz de leer y escribir en el circuito que se encuentre implementada, además incorpora una alta capacidad de almacenamiento y no es volátil”. (Penagos, 2018)

Las memorias FLASH se contraponen a los otros tipos de memorias debido a que funcionan a la vez como una memoria ROM y RAM, pero con un consumo menor y de dimensiones menores. Su programación se realiza en el circuito, por lo que no es necesario un desmontaje, para efectuar una reprogramación en cualquier programa. (Aguayo, 2004)

Figura 24

Memoria FLASH



Nota. Lectura de memorias FLASH. Tomado de: Augeri, F. (2015). [Fotografía]. CISE. <https://bit.ly/3nRwY7G>

Debido a sus características este tipo de memoria es ampliamente incorporado para el control del motor de un automóvil, pues permite realizar modificaciones del programa durante el mantenimiento periódico.

Unidades de control electrónica programable

“A diferencia de las ECU convencionales una unidad de control electrónico programable permite modificar a partir de una programación configurar el comportamiento y rendimiento adecuado del automóvil”. (Lincango & Ramírez, 2021)

Para la realización de las modificaciones pertinentes se hace necesaria la conexión de un equipo externo para la visualización de las características de funcionamiento, así como también la variación de ciertos parámetros fundamentales como la cantidad de combustible inyectada, la mezcla estequiométrica de aire-combustible los cuales intervienen en el funcionamiento del motor de combustión interna.

Megasquirt

La megasquirt es una ECU versátil utilizada en competición debido a las configuraciones que brinda al momento de realizar el control del motor. Tiene un conector en donde irán ubicados sensores inductivos y ópticos, así como las salidas para los sistemas de inyección y encendido de acuerdo al modelo que se implemente. El control de la ECU se realiza mediante un software libre nombrado Tuner Studio MS, este programa ofrece una interfaz fácil de entender y manipular que lleva los registros de datos y las correcciones aplicadas en cada mapa (Pumarica & Tonato, 2018).

Figura 25

Megasquirt ECU programable



Nota. Microsquirt 3 Pro. Tomado de: GOFLOWFORCE.(s.f.). [Fotografía]. <https://n9.cl/ht2yc>

ECU MOTEC M84

(MOTEC, 2017) informa que:

La versátil ECU MoTeC M84 ofrece un paquete único de características de nivel profesional a un precio de nivel de entrada. El M84 es adecuado para una amplia gama de aplicaciones de motores de alto rendimiento, incluyendo Motores de hasta 8 cilindros. También se adapta a motores rotativos con doble, rotores triples o cuádruples. (p. 12)

Con este tipo de computadora se debe tener el programa que provee el fabricante al momento de adquirir debido a que se tratan de equipos profesionales usados para competición y proyección de gran alcance.

Figura 26

MOTEC M84 ECU programable



Nota. MoTec M84 ECU. Tomado de: MoTec. (2017). [Fotografía]. <https://afly.co/1717>

RaceTec R1000

(Hidalgo, 2019) indica que:

Este módulo reprogramable RaceTec R1000 facilita la puesta a punto de cualquier motor de 4T de ciclo Otto, además ofrece todas las ventajas de un sistema de inyección secuencial. En su memoria se puede almacenar hasta 7 mapas diferentes y posee un display donde se visualiza distintos valores en tiempo real sobre el estado o funcionamiento del motor y sus componentes. (p. 69)

Figura 27

RaceTec R1000 ECU programable



Nota. RaceTec Automotive Electronics. Tomado de: RaceTec. (sf). [Fotografía].
<https://n9.cl/x8dsp>

Speeduino

“Speeduino es una forma de gestionar MCI con firmware y hardware de código abierto, además de documentación totalmente abierta. Es una solución lista para usar, con un diseño de placa personalizada y sistema a instalar según las necesidades del usuario” (Speeduino, 2019).

La principal ventaja frente a las demás computadoras programables es su precio y versatilidad del producto, puesto que al ofrecer una placa PCB totalmente personalizada según las necesidades del usuario abarata los costos. Además, permite la comunicación del software de gestión conocidos como por ejemplo Tuner Studio.

Figura 28*Speeduino ECU programable*

Nota. Corelc electrónica & computadores. Tomado de: (Corelc, 2021). [Fotografía].
<https://corelc.com.ar/speeduino/>

Método de programación

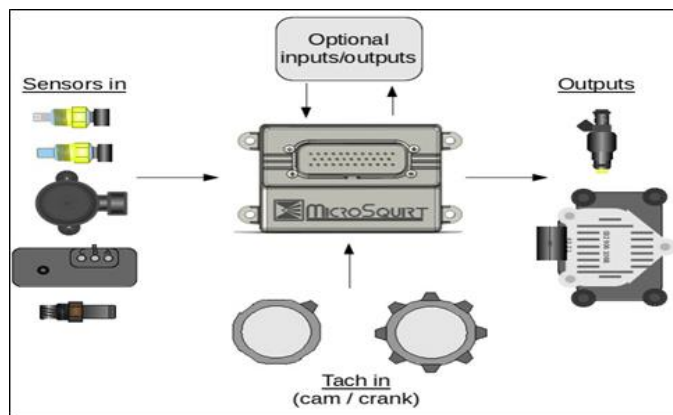
(Navas & Sánchez, 2016) afirman que:

La programación de la inyección se realiza en base a mapas y cuadros de valores que representan la estequiometría de la mezcla aire-combustible, por lo que resulta imprescindible ingresar los parámetros iniciales de funcionamiento en la ECU programable previo al primer arranque. (p. 39).

Al utilizar una ECU programable se entiende implícitamente que el sistema de gestión recibe y analiza las señales de entrada para posteriormente ajustar las señales de salida pertinentes. Por lo que la selección de un controlador o bien un módulo externo que se encargue de gestionar el sistema de inyección electrónica será necesario para modificar todos aquellos parámetros en tiempo real.

Figura 29

Esquema de gestión con ECU programable



Nota. Microsquirt system hardware. Tomado de: James, M. (2014). [Fotografía].
<https://bit.ly/3fRbfq>

La gestión es posible realizarla ya sea por un código genérico perteneciente al controlador PIC o bien por medio de mapas y cuadros de valores de los diferentes parámetros presentes en la inyección de combustible.

Software de programación Tuner Studio MS

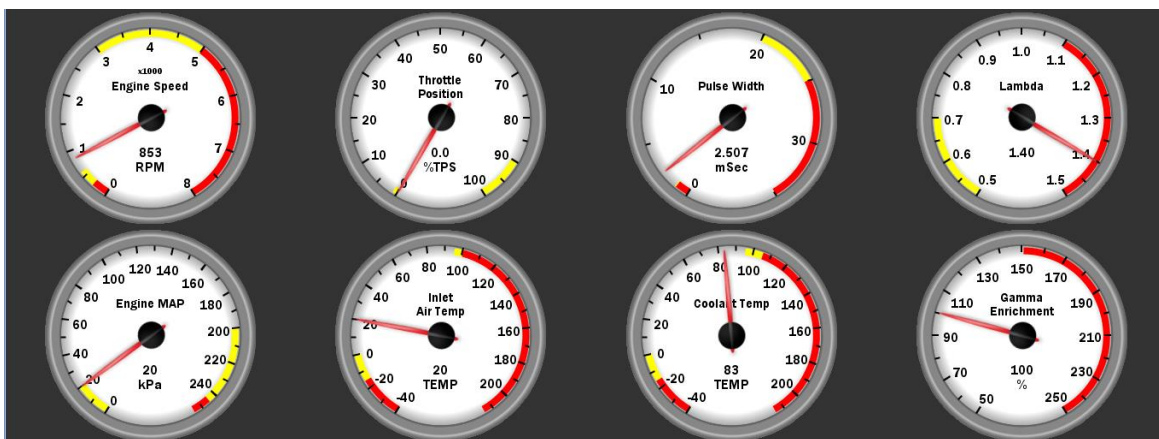
“El software Tuner Studio MS permite modificar el tiempo de ignición e inyección, realizar correcciones ya sean barométricas, de temperatura del aire o del líquido refrigerante y la eficiencia volumétrica de una ECU programable”. (Navas & Sánchez, 2016).

Tuner Studio MS constituye un aplicativo versátil del tipo Java apto para ser utilizado en cualquier tipo de computadora ya sea portátil o de escritorio, que brinda al operador la capacidad de observar, ajustar y grabar los parámetros modificables del motor al momento de conectar una ECU programable del tipo Micro o MegaSquirt al puerto serial del computador. (James, 2014).

La modificación de los diferentes parámetros de control del sistema de inyección electrónica de combustible se realiza por medio de ventanas gráficas donde se ajustan los valores deseados o bien por medio de un mapeo de los valores.

Figura 30

Cuadros gráficos personalizados en tiempo real de los parámetros de gestión



Nota. Relojes que muestran los valores en tiempo real de los sensores en el software Tuner Studio.

La principal ventaja que representa la utilización de este software es que es de libre acceso y compatible con diversas ECU programables. Adicionalmente es importante resaltar que la información ajustada y grabada se realiza por medio de un puerto serial, por lo que su modo de uso es simplificado, intuitivo y funcional.

Respecto al proceso de puesta a punto del MCI por medio de los mapas, su interpretación y ajuste se realiza dependiendo de la coloración que toma el mapa, por lo que es importante tener en cuenta la interpretación de cada una.

Según (Barreto & Chiliquina, 2021):

- Color azul: inyección mínima de combustible
- Color verde: equilibrio de la inyección de combustible
- Color naranja/rojizo: ingreso de combustible en gran cantidad

Figura 31

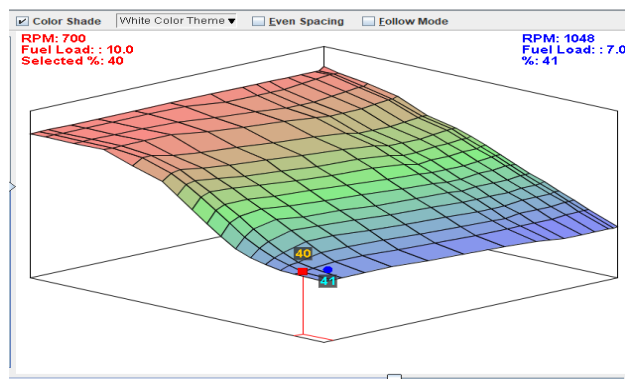
Interpretación de los colores presentes en los mapas del software

F u e l L o a d : % T P S	100.0	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	95
	95.0	93	93	93	93	93	93	93	90	90	90	90	91	92	93	93	93
	85.0	93	93	93	93	93	92	90	88	86	86	86	87	88	89	89	90
	75.0	93	93	93	93	93	90	88	86	84	83	83	83	84	85	85	86
	65.0	87	91	91	88	86	84	82	80	78	76	76	76	77	78	78	78
	55.0	81	85	86	84	82	80	78	76	74	72	72	72	73	74	74	74
	50.0	74	80	81	79	77	75	73	72	70	68	68	69	69	70	70	71
	45.0	67	74	76	75	73	71	69	68	66	64	65	65	66	66	67	67
	40.0	60	67	70	70	68	67	65	63	62	61	61	61	62	63	63	63
	35.0	54	61	64	66	64	62	61	59	58	57	57	58	58	59	59	59
	30.0	48	54	58	61	59	58	56	55	54	53	54	54	54	55	55	55
	25.0	44	49	52	56	55	54	52	51	50	50	50	50	50	51	51	52
	20.0	42	45	47	51	51	49	48	47	46	46	46	47	47	47	48	48
	15.0	40	42	43	46	46	45	44	43	42	42	43	43	43	44	44	44
	10.0	40	40	41	42	42	41	40	39	39	39	39	39	39	40	40	40
	0.0	39	39	39	39	39	38	37	36	35	34	33	33	33	33	33	33
↳	500	700	900	1400	2000	2800	3600	4500	5200	5500	5800	6200	6500	6800	6900	7000	

Nota. Zonas divididas por colores en el software Tuner Studio MS.

Mapas tridimensionales

El sistema de control de la unidad motriz consta de algoritmos que operan con interrelaciones de datos específicas y complejas, mientras que el software de la unidad de control se basa en combinaciones numéricas, dando lugar a los mapas de ignición óptimos que se crean utilizando una simulación matemática de la pre-ignición. (Puskár, et. al, 2019)

Figura 32*Mapa tridimensional*

Nota. Mapa tridimensional base.

La modificación del sistema de control del motor es posible mediante un sistema de gestión determinado que cambia o ajusta todos aquellos campos de datos específicos implementados dentro de la ECM con lo que se logra modificar parcialmente la eficiencia y la reducción de gases contaminantes de los motores de combustión interna.

Con la ayuda de un software específico de gestión motor (Puskár, et.al, 2019) mencionan que:

Se monitorea en tiempo real los diferentes parámetros del motor, que incluyen velocidad (rpm), presión de succión (kPa), posición de la mariposa de aceleración (%), valores lambda (λ), entre otros. Todas estas señales de entrada son imprescindibles para la creación de los mapas de inyección y de encendido. (p. 38).

Generar mapas tridimensionales de rendimiento volumétrico

(Banish, 2009) menciona que:

La eficiencia volumétrica es parte fundamental para poder generar un mapa base en función de la señal de los sensores MAP y MAF, con ello se acelera el proceso de calibración de la matriz en el mapa de rendimiento volumétrico. Para generar un mapa base se debe definir la pendiente de la línea y los límites correspondientes, a través de la interpolación se puede determinar los puntos medios.

Método Corners

“En este tipo de método la eficiencia volumétrica tiende a seguir valores predecibles en función de la velocidad hasta llegar al par máximo, en cuyo caso los puntos de carga pueden ajustarse mediante el factor lambda”. (Banish, 2009)

Con un motor en funcionamiento comúnmente la eficiencia volumétrica aumenta por lo que la generación del mapa va a tener que ser calculado en base a este parámetro.

Mapa de combustible

La creación de los mapas de combustible no solo depende de las señales de entrada como la posición de la mariposa de aceleración determinado por el sensor TPS (rango de 0 a 100%), el valor de presión dado por el sensor MAP (kPa), o de la longitud del pulso del inyector.

En su lugar depende de diversos factores como son la altitud respecto del nivel del mar, la temperatura del aire, la velocidad del vehículo, entre otros.

Según (Puskár, et. al, 2019):

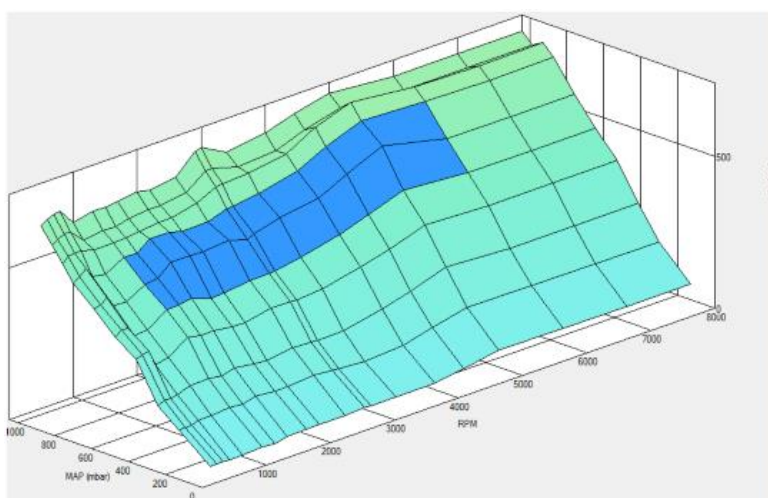
Generalmente los diferentes softwares de gestión para la modificación de los mapas tridimensionales de combustible regulan automáticamente la variable carga, ya sea como la relación entre: la posición del TPS sobre la velocidad del vehículo en RPM, la cantidad

de aire succionada y la teórica, el volumen de combustible inyectado (eficiencia volumétrica / flujo por la boquilla de inyección). (p. 38).

Es importante conocer la eficiencia volumétrica del motor para crear correctamente el mapa de combustible, tomando en cuenta que dicha eficiencia resulta un factor determinante al momento de establecer el intervalo de tiempo para la inyección de combustible.

Figura 33

Mapa tridimensional de combustible



Nota. Incremento de corrección “Inyección de combustible”. Tomado de: Semanate. (2016). [Fotografía]. <https://n9.cl/l1b7a>

Mapa de encendido

“La optimización del mapa de pre-encendido se basa en la solución del diseño del motor, dado que la construcción del motor estándar influye en el proceso de combustión de la mezcla de combustible en la cámara de combustión”. (Puskár, et. al, 2019)

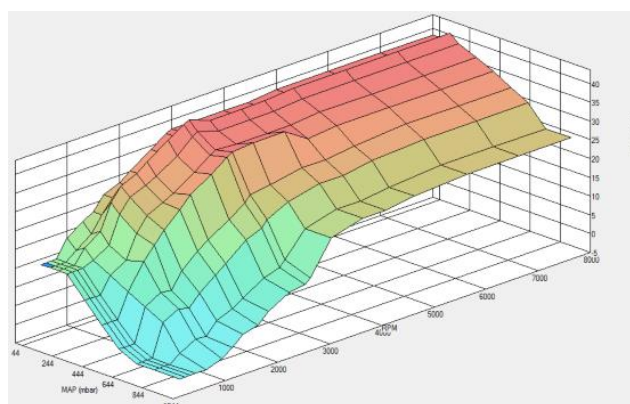
Si bien es cierto el software de gestión recibe los valores provenientes de las señales de entrada como la posición del acelerador, velocidad del motor, el ángulo de avance del

encendido, para este último resulta fundamental determinar el valor óptimo para la modificación de este tipo de mapas.

La optimización del mapa de pre-encendido se logra ya sea mediante la modificación en tiempo real tanto en valores máximos o mínimos de la tabla de datos o bien por cambios en las coordenadas 2D o 3D.

Figura 34

Mapa tridimensional de avance al encendido



Nota. Incremento de corrección “Avance al encendido”. Tomado de: Semanate. (2016).

[Fotografía]. <https://n9.cl/l1b7a>

Capítulo III

Diseño y construcción del banco emulador de señales

En el desarrollo del proyecto de investigación se contempla la realización de un sistema capaz de generar señales automotrices de motores a gasolina ciclo Otto para ser usado como parámetro de entrada en el ajuste de mapas de inyección y encendido de una computadora programable.

Características del banco de pruebas

Entre las funciones que tiene el banco emulador de señales se encargará de ejecutar se tienen las siguientes:

- Proveer la alimentación requerida por cada circuito electrónico sea este de 5V ó 12V.
- Generar la señal de sensores del tipo digital y analógico.
- Controlar la señal de cada sensor de forma que permita emular el funcionamiento de un motor de combustión interna a gasolina.
- Generar los mapas de inyección y encendido de cada configuración a través del programa Tuner Studio para la optimización de rendimiento y acondicionamiento de cada señal.
- Verificar a través de control de actuadores de inyección y encendido el funcionamiento del banco, así como la configuración entre la señal generada en cada sensor y el rendimiento en cada sistema.

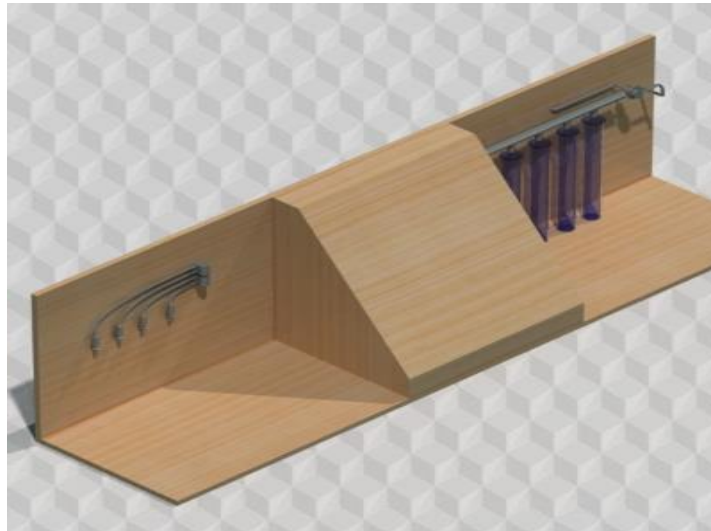
Diseño del banco de pruebas

El banco de pruebas se compone de diferentes bloques en los cuales se contempla: alimentación de voltaje, generación de señales, modificación de mapas y visualización de funcionamiento de actuadores.

La esquematización del proyecto muestra la ubicación de cada sistema (inyección y encendido) por separado brindando la facilidad de implementar puntos de comprobación de señales tanto en sensores como actuadores.

Figura 35

Diseño del banco emulador de señales



Nota. Diseño del banco emulador de señales en CAD.

Dimensionamiento de la estructura

El material que lleva la estructura del banco es madera del tipo MDF, cada soporte ha sido diseñado en CAD y el corte de cada uno se ha realizado por láser para garantizar que cada uno cuente con el dimensionamiento exacto según su diseño previo.

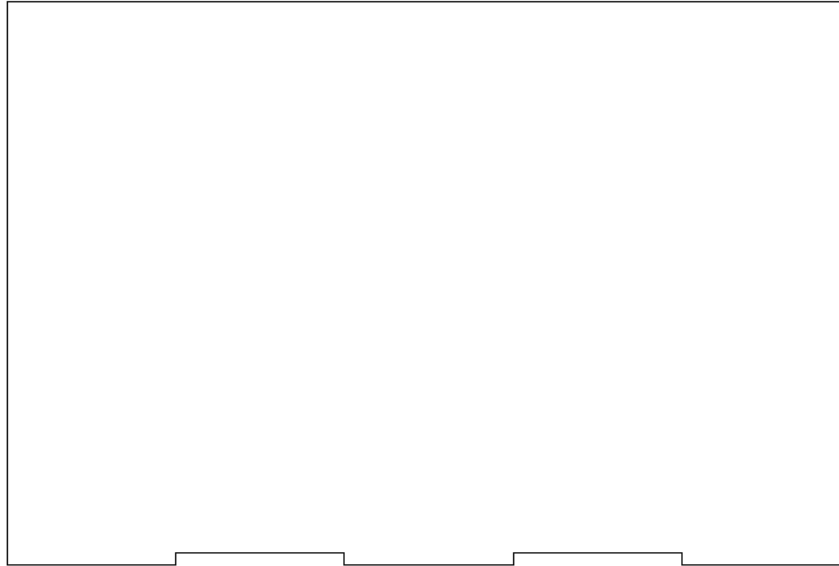
En total la estructura se compone del siguiente tipo de soporte:

- 6 cuadrangulares
- 2 triangulares
- 2 rectangulares
- 1 cuadrangular para el panel de control

Cada soporte tiene un grosor de 10 mm y en su geometría se incluyen cortes rectangulares para facilitar el ensamblaje de uno con otro para formar la estructura.

Figura 36

Diseño de soportes o bases cuadrangulares de la estructura

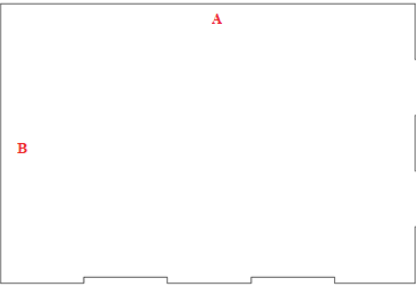

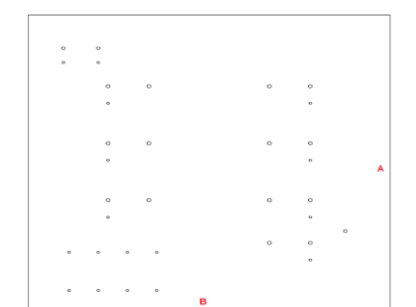
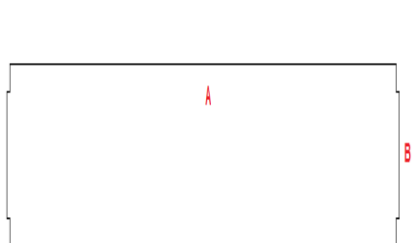


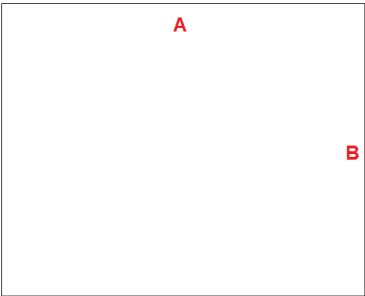
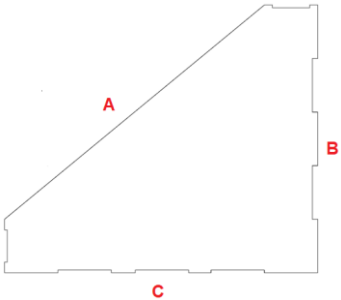
Nota. Diseño de los soportes o bases cuadrangulares de la estructura del banco de pruebas.

Las dimensiones de cada soporte varían según la ubicación final al ensamblar toda la estructura.

Tabla 4

Dimensiones de los soportes de la estructura

SOPORTE	DIMENSIONES	ESPESOR
	<p>A: 490 mm B: 500 mm</p>	<p>10 mm</p>
	<p>A: 586,72 mm B: 580 mm</p>	<p>10 mm</p>
	<p>A: 600 mm B: 600 mm Cada orificio tiene un diámetro de 6,6 mm y 10 mm de profundidad En total son 30</p>	<p>10 mm</p>
	<p>A: 580 mm B: 139,51 mm Cada corte tiene 70 mm de longitud y 10 mm de profundidad</p>	<p>10 mm</p>

SOPORTE	DIMENSIONES	ESPESOR
	A: 600 mm B: 600 mm	10 mm
	A: 600 mm B: 500 mm C: 586,72 mm Cada corte tiene una longitud de 100 mm y profundidad de 10 mm	10 mm

Nota. Dimensionamiento de cada uno de los soportes de la estructura del banco de pruebas.

Alimentación del banco

Se dispone de un espacio destinado para a la fuente de alimentación de voltaje y corriente, es importante seleccionar una fuente del tipo transformador, el cual se conectará a la toma de corriente convencional (110V), para proveer a todo el banco de 12V en corriente continua y a su vez de al menos un valor de corriente de 10 A para soportar todos los consumidores eléctricos y electrónicos del banco.

Figura 37

Fuente de alimentación del banco de pruebas

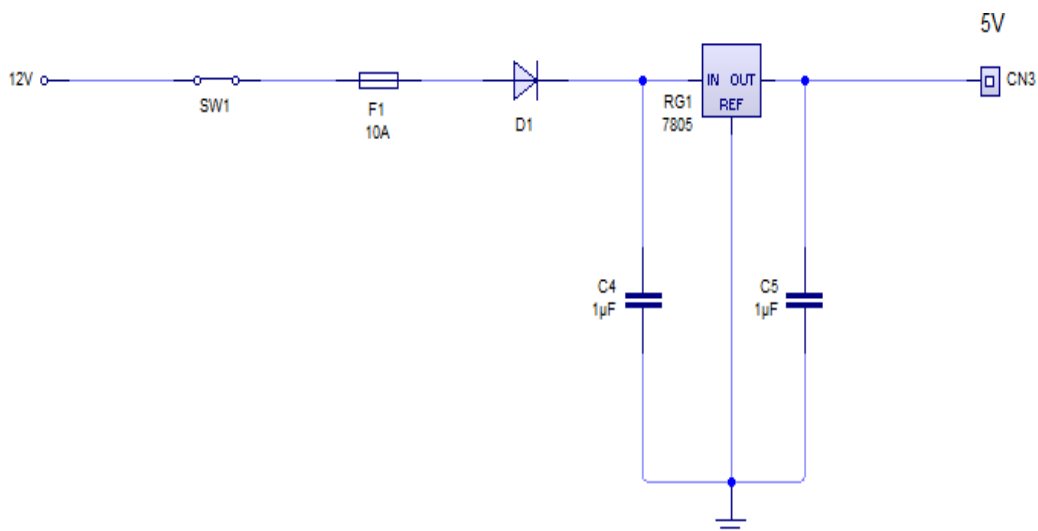


Nota. Fuente transformador de 12V y 10 A.

La salida de voltaje será diferenciada para los sensores y actuadores, puesto que los sensores como señales de entrada disponen en la mayoría de un voltaje de alimentación de 5V, mientras que en los actuadores (parte de inyección y encendido), por lo general se necesita de un suministro de voltaje de 12V y 8 amperios como mínimo para la operación de todos los inyectores.

Figura 38

Circuito de voltaje

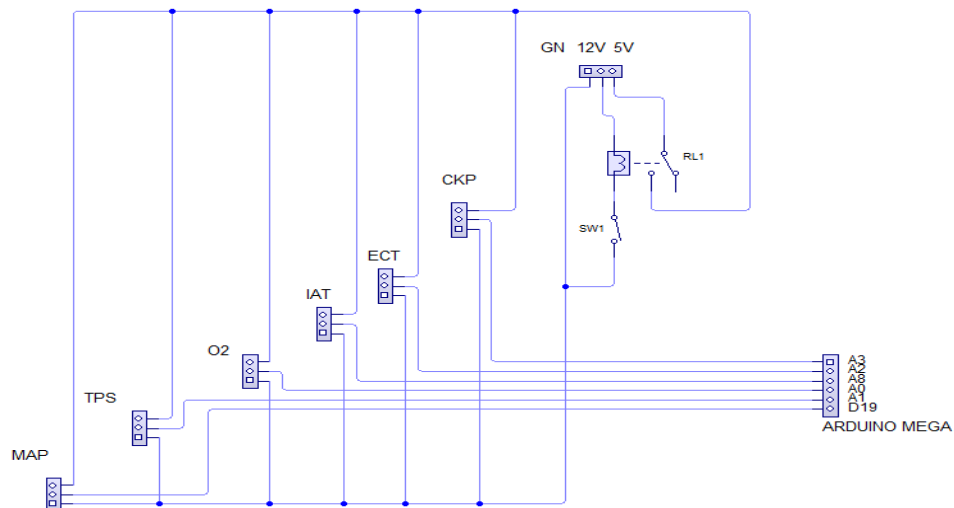


Nota. Circuito de alimentación de voltaje de 5V.

En lo que respecta al circuito de alimentación para los sensores, se dispone de un relé a la salida del conector (puerto suministrador de energía), seguido de un switch para controlar el encendido de todos los sensores al momento de operar.

Figura 39

Circuito de alimentación de los sensores del banco



Nota. Circuito de alimentación de los sensores.

Es importante mencionar que todas las salidas de voltaje de señal de cada uno de los sensores se encuentran direccionadas hacia el Arduino Mega, conectados a los pines correspondientes.

Requerimientos de señales a comprobar

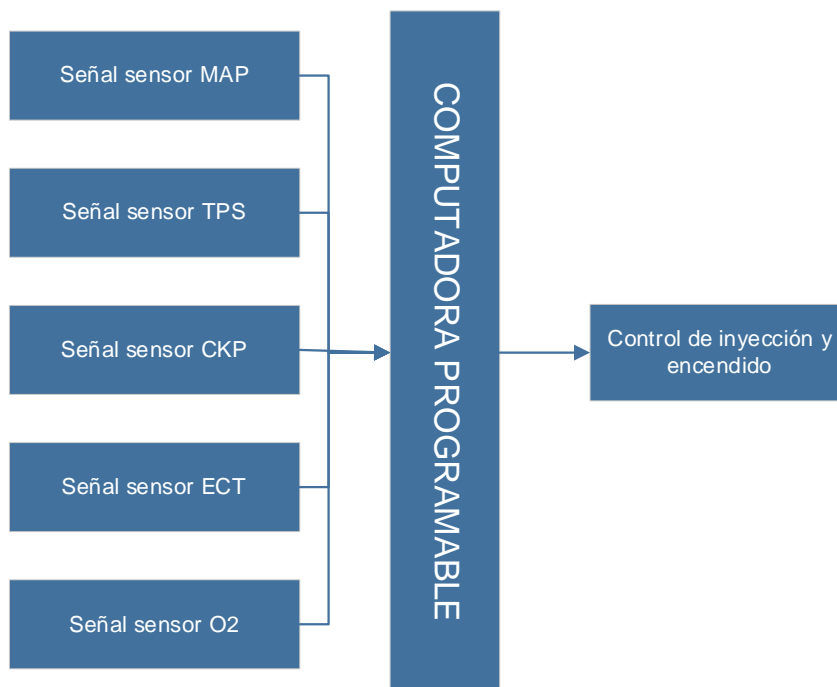
El banco emulador de señales debe disponer de un panel de control en el que se ajusten y modifiquen según corresponda las señales de entrada (sensores), puesto que la información que estos proporcionen va directamente hacia la ECU programable según los puertos de conexión correspondientes.

Dicha información será gestionada por medio del software Tuner Studio que según la programación correspondiente permite el control tanto de la inyección como del encendido. El control se lo realiza por medio de los indicadores tipo reloj o bien por los mapas

tridimensionales que da acceso a la administración de las señales en tiempo real, emulando el funcionamiento de un motor de combustión del ciclo Otto.

Figura 40

Esquema de bloques de los sensores de entrada para la ECU programable



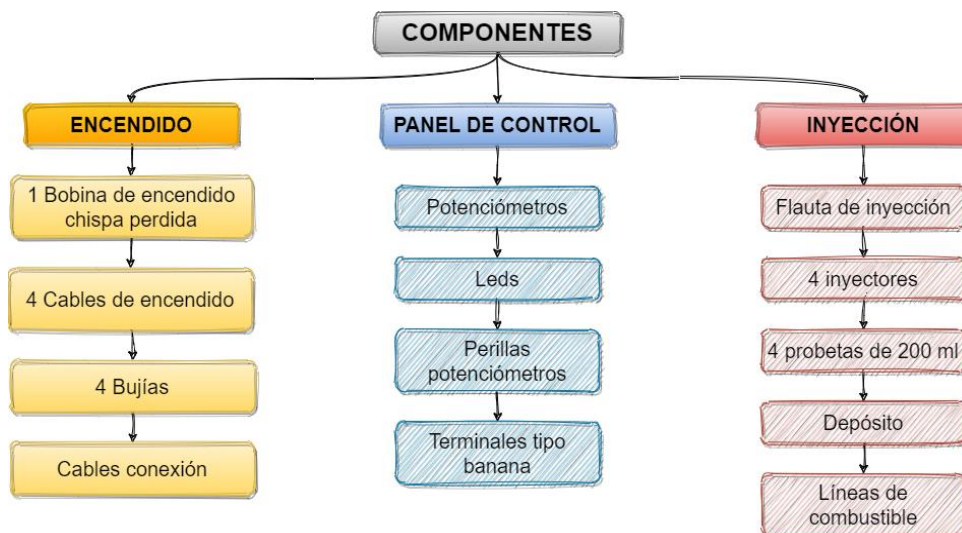
Nota. Diagrama de bloques en el que se identifican las señales de entrada y la función de la ECU programable.

Descripción de los componentes del banco de pruebas

Los diferentes componentes utilizados en el banco de pruebas tienen características individuales debido al campo de acción para el cual se los utiliza. Por lo que, el detalle de cada especificación cambiara según corresponda.

Figura 41

Esquema donde se describen los componentes del banco de pruebas






Nota. Diagrama descriptivo general de los componentes utilizados en el banco de pruebas.

A continuación, se describen las especificaciones de cada uno de los componentes utilizados en el sistema de encendido.

Tabla 5

Especificaciones de los componentes del sistema de encendido

COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
Bobina de encendido	Posee dos bobinados primarios y 1 secundario accionado solo una vez. Tiene conexiones de salida para cada una de las bujías por medio de cables	
Bujías	Produce el salto de chispa entre el electrodo y masa conectada al vehículo	

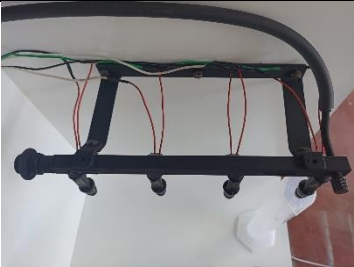

COMPONENTE	CARACTERISTICAS	IMAGEN
Cables de bujías	Permiten la conducción de corriente de alto voltaje desde la bobina hacia las bujías	

Nota. Especificaciones de cada uno de los componentes del sistema de encendido.

Al igual que el sistema de encendido, el sistema de inyección de combustible ubicado en el banco de pruebas incorpora algunos componentes, en la siguiente tabla se describen sus características individuales.

Tabla 6

Especificaciones de los componentes del sistema de inyección

COMPONENTE	CARACTERISTICAS	IMAGEN
Flauta de inyección	Medio por el cual se mantiene presurizado el combustible antes de pasar por cada inyector	
Inyectores	Boquilla: 2 perforaciones Caudal: 209 cc/min Presión: 3 bar Resistencia: 12,6 ohms	

COMPONENTE	CARACTERISTICAS	IMAGEN
Líneas de combustible	Mangueras por las que se conduce el combustible hacia los distintos puntos del sistema	
Probetas	Recipiente en el que se almacena el combustible inyectado por cada inyector con medida para análisis de resultados Material: plástico Volumen: 200 ml	
Bomba de combustible	Elemento encargado de suministrar el combustible por las líneas de combustible hacia la flauta de inyección	
Deposito	Recipiente en el cual se almacena el combustible antes de ser suministrado por la bomba de combustible Material: plástico Volumen: 1000 ml	

Nota. Especificaciones de cada uno de los componentes del sistema de inyección de combustible.

Componentes del banco

De manera resumida en la siguiente tabla se presenta un listado de los componentes adquiridos para su implementación y utilización en el banco de pruebas, la tabla detalla su nombre característico y su cantidad.

Tabla 7

Listado de los componentes implementados en el banco de pruebas

ORDEN	COMPONENTE	CANTIDAD
1	Flauta de inyección	1
2	Mangueras de combustible	1
3	Recipiente plástico de 1 litro	2
4	Tubo de plástico 250 ml	4
5	Cable de cobre flexible calibre 18	8
6	Fuente de poder 12 V 10 A	1
7	Led de color rojo	10
8	Led de color azul	10
9	Perilla de potenciómetro	7
10	Interruptor 2 posiciones	2
11	Interruptor 3 posiciones	1
12	Potenciómetros	7
13	Cable tipo banana	2
14	Terminal tipo banana	9
15	Bobina chispa perdida	1
16	Bujías	4
17	Inyectores	4
18	Cables tipo jumper	40
19	Cable de timbre	8
20	Arduino uno	1
21	Arduino mega	1
22	Vinil blanco	1
23	Platina	1

Nota. Listado de los componentes implementados en el banco de pruebas.

Panel de control del banco

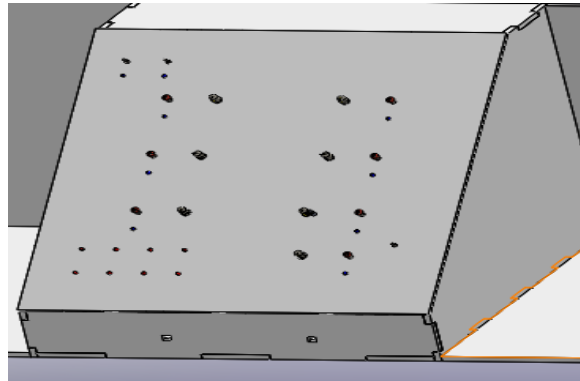
Se ha instalado un panel de control ubicado en la parte central del banco mediante el cual se podrá modificar las señales de cada uno de los sensores (señales de entrada) para

ajustar el funcionamiento de los actuadores y posteriormente la generación de mapas tridimensionales ajustables o modificables.

El diseño del panel de control se basa en la disposición de perillas de ajuste que al manipularlas varían el valor de la señal de cada sensor puesto que en su interior se encuentran potenciómetros. Existen indicadores visuales, en este caso leds para establecer los límites máximos y mínimos de cada uno, facilitando la operabilidad del mismo.

Figura 42

Diseño en CAD del panel de control del banco de pruebas







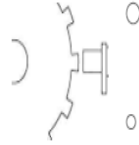











Nota. Panel de control diseñado mediante CAD.

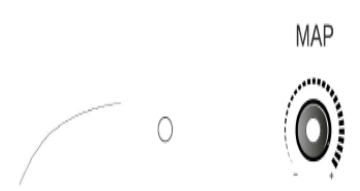

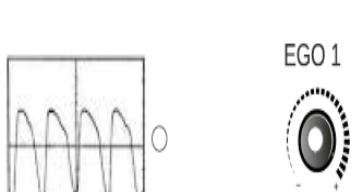
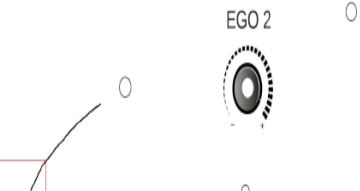

Adicionalmente se encuentran en cada uno de los sensores de entrada están instalados puertos del tipo banana para conectar instrumentos de medición como multímetros para verificar el valor del voltaje de señal de cada sensor.


Se han diseñado indicadores visuales los cuales irán ubicados en cada uno de los sensores de entrada, permitiendo una operación correcta e intuitiva por parte del usuario del banco de pruebas al modificar las señales de cada sensor.

Tabla 8

Indicadores visuales de cada sensor del panel de control

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	
Alimentación	Permite visualizar el control de la alimentación del banco desde el puerto de la batería.	ON 	BAT+ 
			
Sensor CKP	Permite visualizar el rango de operación máximo y mínimo de la perilla de control. Además de los terminales para conexión de cables tipo banana para mediciones pertinentes.		CKP 
			
Sensor IAT	Permite visualizar el rango de operación máximo y mínimo de la perilla de control. Además de los terminales para conexión de cables tipo banana para mediciones pertinentes. Así como también ilustra la curva característica de dicho sensor.		IAT 
			
Sensor ECT	Permite visualizar el rango de operación máximo y mínimo de la perilla de control. Además de los terminales para conexión de cables tipo banana para mediciones pertinentes. Así como también ilustra la curva característica de dicho sensor.		ECT 
			

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Sensor MAP	<p>Permite visualizar el rango de operación máximo y mínimo de la perilla de control. Además de los terminales para conexión de cables tipo banana para mediciones pertinentes.</p> <p>Así como también ilustra la curva característica de dicho sensor.</p>	 <p>The diagram shows a curved line representing the MAP sensor's characteristic curve. To its right is a gauge labeled 'MAP' with a needle and a scale.</p>
Sensor TPS	<p>Permite visualizar el rango de operación máximo y mínimo de la perilla de control. Además de los terminales para conexión de cables tipo banana para mediciones pertinentes.</p> <p>Así como también ilustra la curva característica de dicho sensor.</p>	 <p>The diagram shows a straight line representing the TPS sensor's characteristic curve. To its right is a gauge labeled 'TPS' with a needle and a scale.</p>
Sensor EGO 1	<p>Permite visualizar el rango de operación máximo y mínimo de la perilla de control. Además de los terminales para conexión de cables tipo banana para mediciones pertinentes.</p> <p>Así como también ilustra la curva característica de dicho sensor.</p>	 <p>The diagram shows a square wave pulse representing the EGO 1 sensor's characteristic curve. To its right is a gauge labeled 'EGO 1' with a needle and a scale.</p>
Sensor EGO 2	<p>Permite visualizar el rango de operación máximo y mínimo de la perilla de control. Además de los terminales para conexión de cables tipo banana para mediciones pertinentes.</p> <p>Así como también ilustra la curva característica de dicho sensor.</p>	 <p>The diagram shows a curve representing the EGO 2 sensor's characteristic curve. To its right is a gauge labeled 'EGO 2' with a needle and a scale.</p>
Inyección	<p>Permite visualizar el funcionamiento de cada inyector según la iluminación de cada led indicador.</p>	 <p>The diagram shows four injectors labeled 'INYECCIÓN' with numbered LEDs (1, 2, 3, 4) below them, indicating their status.</p>

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Encendido	Permite visualizar el salto de chispa de cada bujía según la iluminación de cada led indicador.	

Nota. Descripción de cada uno de los indicadores visuales del panel de sensores.

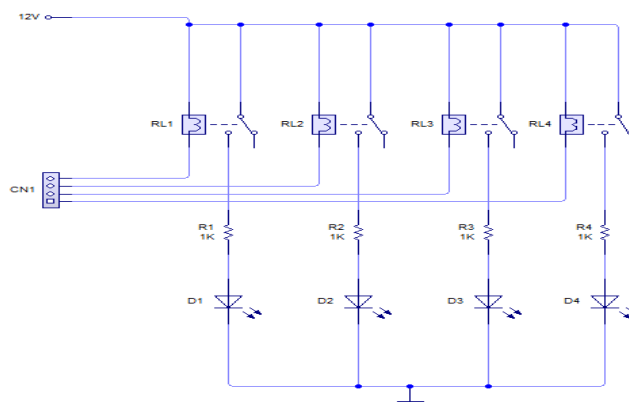
Diseño de los circuitos de conexión

Los circuitos eléctricos de conexión de los sistemas de inyección y encendido toman un valor de alimentación de voltaje de 12V mediante los puertos de conexión de la fuente de alimentación del banco.

Cada circuito es independiente para cada sistema, por lo que en el caso del circuito del sistema de inyección de combustible existe una mayor demanda de consumo de corriente por la característica individual de funcionamiento de los inyectores. Al circuito se le añaden los canales de conexión e indicadores visuales (leds) que permitan visibilizar su funcionamiento cuando el banco este operativo.

Figura 43

Circuito del sistema de indicadores de inyección

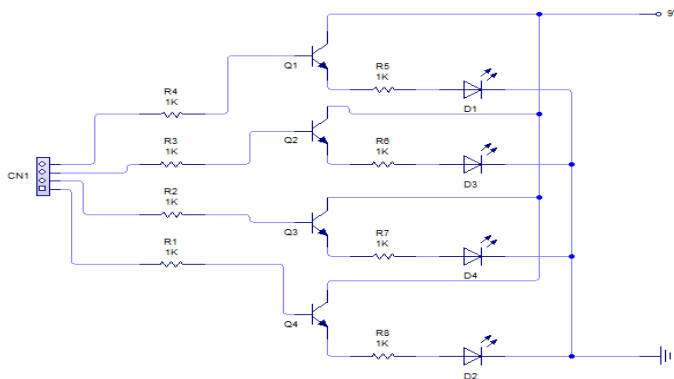


Nota. Circuito del sistema de indicadores de inyección en LiveWire.

Por otro lado, el circuito correspondiente al sistema de encendido cuenta con sus canales de conexión, así como indicadores visuales (leds) para visibilizar el funcionamiento de las bobinas cuando el banco este operativo.

Figura 44

Circuito del sistema de indicadores de encendido

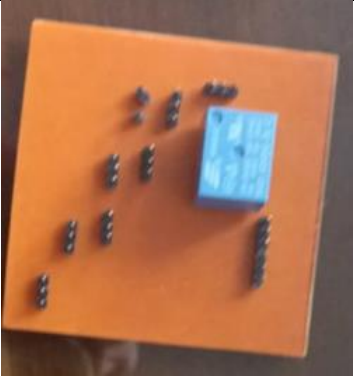



Nota. Circuito del sistema de indicadores de inyección en LiveWire.

Tabla 9

Fabricación de las placas de los circuitos de control y conexión del banco de pruebas

Proceso	Gráfico
<p>Diseño de cada uno de los circuitos necesarios para cada placa PCB por medio del software libre PCB Wizard</p>	

Proceso	Gráfico
Impresión de los circuitos diseñados en baquelita y colocación de los componentes eléctricos	
Conexión de las placas con sus respectivos circuitos hacia los determinados puntos de conexión por medio de cables	

Nota. Proceso de fabricación de los circuitos de control y conexión impresos en placas.

Diseño y simulación de los circuitos de entrada

Los circuitos correspondientes a cada sensor son realizados en LiveWire que permite el uso de componentes electrónicos comúnmente aplicados para la creación de placas electrónicas en el ámbito automotriz y electrónico en general.

Circuito sensor MAP

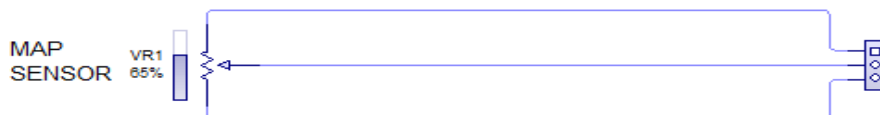
Para la creación de este circuito se necesita tener en cuenta la variación que tiene la depresión generada en el múltiple de admisión en relación a la cantidad de voltaje que recibe la ECU al momento de pisar el acelerador, dicha variación puede ser emulada de dos formas:

- La primera consiste en el uso de una bomba de vacío conectada al sensor interno que tiene la ECU programable.
- La segunda es a través del uso de un divisor de tensión en el cual el valor de tensión dependerá de las resistencias que se utilicen.

Considerando que en la segunda opción se tiene mayor control que la primera, se opta por desarrollar el diseño del circuito haciendo uso de un divisor de tensión.

Figura 45

Circuito del sensor MAP



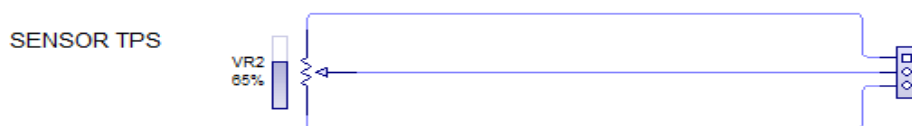
Nota. Circuito del sensor MAP en LiveWire.

Circuito sensor TPS

En el desarrollo del diseño de este circuito se considera la posición de la mariposa de aceleración tomando en cuenta que dicha posición determina el porcentaje de aire que ingresa a la cámara del motor. La utilización de un potenciómetro que conforme a su variación determinada en un valor porcentual permite emular la señal del sensor de manera óptima.

Figura 46

Circuito del sensor TPS



Nota. Circuito del sensor TPS en LiveWire.

Circuito sensor CKP

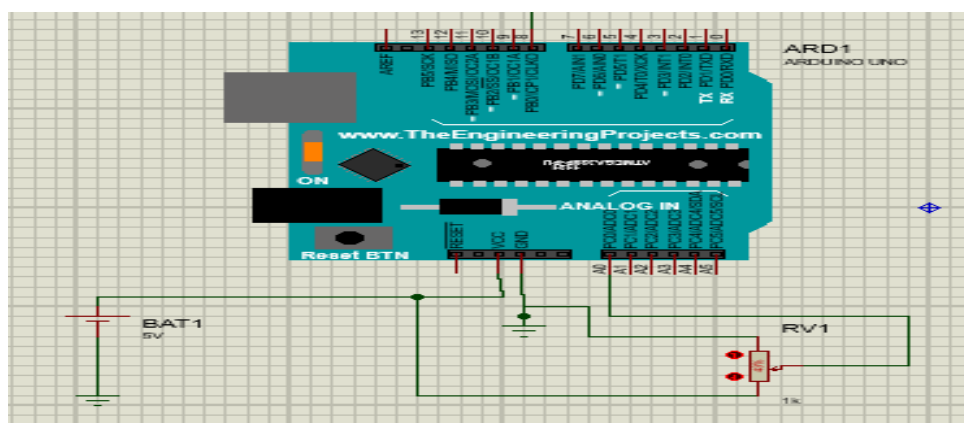
Este circuito depende del tipo de sensor CKP al que se desee emular su señal puesto que existen algunos tipos, ya sea del tipo óptico, hall o inductivo. Adicionalmente es necesario

conocer el número de dientes de la rueda fónica, por lo que el número de pulsos de disparo debe ser dividido en 360° de giro de esta rueda.

Considerando todo lo anterior, este circuito se ha diseñado de manera que se emule un sensor del tipo inductivo, con una rueda fónica de 6 dientes.

Figura 47

Circuito del sensor CKP



Nota. Circuito del sensor CKP en Proteus.

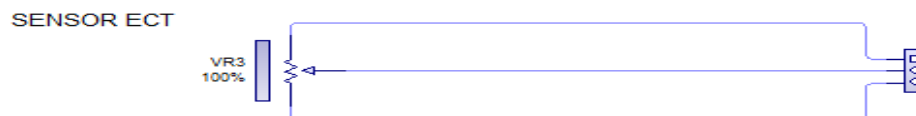
Cabe mencionar que la emulación de este sensor, se lo realiza en conjunto con un código de programación en Arduino, en el cual se cargan los datos correspondientes al tipo de sensor y el número de dientes de la rueda.

Circuito sensores de temperatura

Para diseñar los circuitos de los sensores de temperatura utilizados en el banco (ECT/IAT) se utilizan potenciómetros dado que se modifica o varía el valor de voltaje de señal del sensor simulando la operación de un termistor en el cual basa el funcionamiento estos sensores de temperatura.

Figura 48

Circuito del sensor ECT

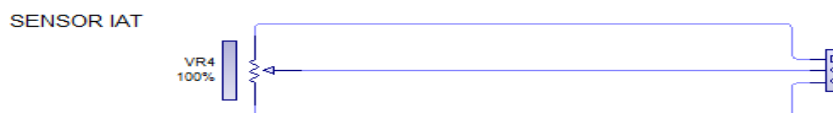


Nota. Circuito del sensor ECT en LiveWire.

Al variar con la perilla del potenciómetro de cada sensor se obtienen distintas temperaturas representadas en porcentaje.

Figura 49

Circuito del sensor IAT



Nota. Circuito del sensor IAT en LiveWire.

Circuito sensor Oxígeno

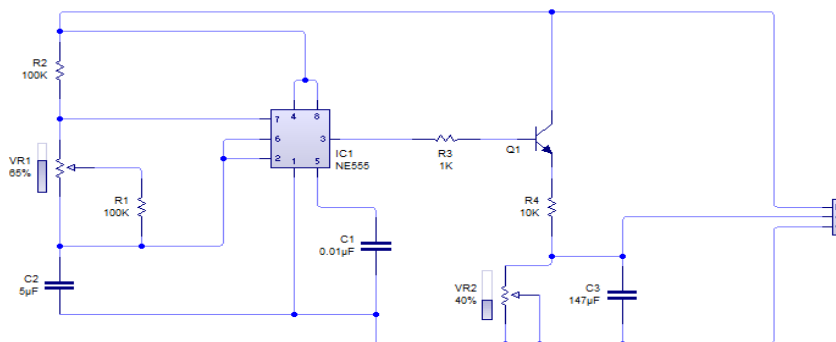
Para la representación de este circuito se utiliza un circuito integrado (NE555), para generar los pulsos u oscilaciones que emulen la señal de un sensor de oxígeno convencional.

Alrededor del integrado, existen potenciómetros conectados a los pines del mismo para variar el valor de voltaje y corriente que circula en el circuito general, a la salida de las pulsaciones generadas por el integrado se ha dispuesto de un transistor para direccionar el flujo de corriente hacia los pines del puerto de conexión del banco.

Cabe señalar que la alimentación de voltaje del circuito y la tierra es provista por el puerto de conexión del banco.

Figura 50

Circuito del sensor de oxígeno



Nota. Circuito del sensor O2 en LiveWire.

Selección de la ECU programable

A continuación, se presenta un cuadro comparativo en donde se observan ciertas características individuales de las cuatro diferentes computadoras programables disponibles en el mercado:

Tabla 10

Computadoras programables automotrices

MegaSquirt	ECU MoTec	RaceTec	Speeduino
II	M84	R1000	V0.3
Conexión:	Conexión:	Conexión:	Conexión:
RS232	RS232 ó CAN	USB sin adaptadores	USB

MegaSquirt	ECU MoTec	RaceTec	Speeduino
II	M84	R1000	V0.3
Procesador:		Procesador:	Controlador:
MC9S12C64 de 16 bits		de doble núcleo	Arduino Mega 2560
Velocidad:	Velocidad:	Velocidad:	Velocidad:
24 MHz	100 Hz (máximo)	266 Hz	16 MHz
RAM:	Memoria:		Memoria:
4 Kb	512 kB		256 kB
Control:	Control:	Control:	Control:
inyección y encendido	inyección y encendido	inyección y encendido secuencial	inyección y encendido
Salidas:	Salidas:	Salidas:	Salidas:
2 inyección y 1 encendido	8 inyección y 6 encendido	4 auxiliares	4 inyección y 4 encendido
Mapas: 16x16 combustible y 12x12 encendido	Mapas: combustible y encendido	Mapas: hasta 6 diferentes	Mapas: combustible y encendido
Entradas: analógicas 2 (temperatura), analógicas 3 (voltaje), lambda 1	Entradas: analógicas 8 (voltaje), analógicas 3 (temperatura), digitales 4, lambda 2	Entradas: analógicas y digitales 9	Entradas: canales para sensores de temperatura, TPS y lambda

MegaSquirt	ECU MoTec	RaceTec	Speeduino
II	M84	R1000	V0.3
Recomendado para:	Recomendado para:	Recomendado para:	Recomendado para:
Motores de hasta 12 cilindros	Motores de hasta 8 cilindros (secuencial y chispa pérdida)	Motores de hasta 6 cilindros (secuencial) y 8 (chispa pérdida)	Motores de 1 a 4 cilindros
Programas: ajuste y adquisición de datos libre	Programas: ajuste y adquisición de datos Windows	Programas: ajuste y adquisición de datos	Programas: ajuste y adquisición de datos (Arduino/TunerStudio)
Funciones: lazo cerrado de presión de turbo, mezcla aire-combustible, ralentí, etc.	Funciones: presión de turbo, inyección con doble rampa (alta/baja), limitador de velocidad, captura de CKP/CMP, etc.	Funciones: ángulo de inyección, corrección individual, tiempo de carga de bobina, funciones programables, etc.	Funciones: gestión de turbo, gestión de VVT, ralentí, bomba de combustible, etc.
Precio: \$500	Precio: \$733,23	Precio: \$465,99	Precio: \$156,4

Nota. Tabla comparativa de las características técnicas y funciones de cuatro ECUs programables.

Para el desarrollo del proyecto de investigación se seleccionó la centralita programable Speeduino V0.3 dado que con respecto a las otras opciones disponibles representa un dispositivo accesible y versátil en cuanto a su armado, conexión y operación, sin dejar de lado el aspecto económico.

Adicionalmente, junto a la placa PCB Speeduino es necesaria la adquisición de un microcontrolador ATmega2560. Por lo que a continuación se presentan sus características técnicas:

Tabla 11

Arduino Mega 2560

Modelo	Características
Arduino Mega2560	Microcontrolador: ATmega2560
	Voltaje de funcionamiento: 5 V
	Pines de entradas análogas: 16
	Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
	Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA

Nota. Características técnicas de la placa Arduino mega2560.

La razón de seleccionar la placa Arduino Mega2560 recae en el hecho de que es un dispositivo electrónico de fácil adquisición en el mercado, además por su funcionamiento y operación intuitivo que permite al usuario programar en lenguaje Arduino desde su computador personal y subir los programas de control o ejecución a la placa por medio de un cable USB.

A su vez, la placa Arduino Mega2560 servirá para simular las señales de entrada del banco de pruebas, es decir, las señales de los sensores (temperatura, posición, oxígeno) necesarios para ser cargadas a la centralita programable Speeduino para el ajuste y optimización de las señales de salida y los correspondientes mapas de inyección y encendido.

ECU programable Speeduino

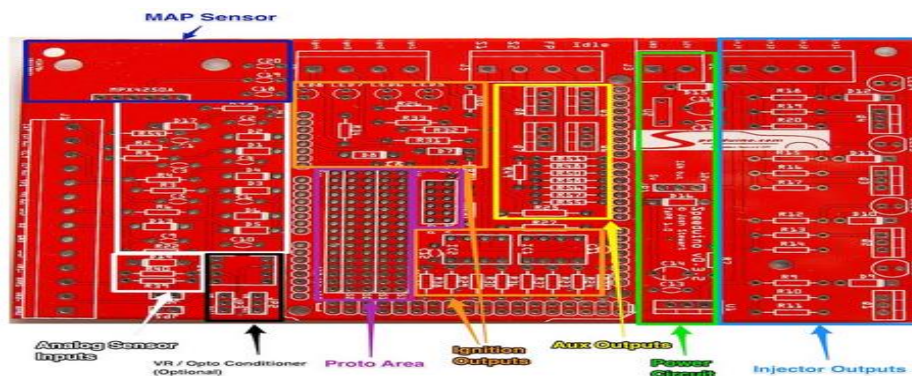
La placa Speeduino representa un circuito integrado que permite gestionar a los diferentes actuadores presentes en los sistemas de inyección y encendido de los motores de combustión interna de 1 a 4 cilindros.

En la placa se incluyen las siguientes características:

- 4 canales de inyección
- 4 canales de encendido
- Entradas completamente protegidas para sensores (ECT, IAT, TPS, y O2)
- Un controlador optional VR montado en las entradas del cigüeñal y árbol de levas
- Ubicación para el sensor MAP
- Ubicación para el driver DRV8825 (módulo de pasos para ralentí)
- 4 salidas auxiliares de media corriente (bomba de combustible, electroventilador, VVT, etc.)
- 5 salidas configurables de baja corriente (salida para tacómetro)

Figura 51

Esquema físico de la placa Speeduino V0.3



Nota. Physical Layout. Tomado de: Speeduino Manual. (2020). [Fotografía].
<https://wiki.speeduino.com/en/boards/V03>

Disposición de pines Speeduino V0.4

En la siguiente figura se puede apreciar la configuración de cada uno de los pines que la placa Speeduino V0.4 por su composición dispone para su funcionamiento.

Figura 52

Configuración de pines del 1-40 placa Speeduino V0.4



Nota. Detalle de la configuración de pines 1-40 de la placa Speeduino.

Tabla 12

Configuración de pines 1-40 placa Speeduino

Pin	Función	Pin	Función
1	Inyector 1 – Pin 1/2	21	Sensor oxígeno
2	Inyector 2 – Pin 1/2	22	Entrada TPS
3	Inyector 3 – Pin 1/2	23	Ground
4	Inyector 3 – Pin 2/2	24	CMP Entrada/VR2+
5	Inyector 4 – Pin 1/2	25	CKP entrada/VR1+
6	Inyector 4 – Pin 2/2	26	VR2-
7	Encendido 1	27	VR1-

Pin	Función	Pin	Función
8	Encendido 4	28	5V
9	Ground	29	Paso a paso 2B
10	Ground	30	Paso a paso 2A
11	Sensor MAP (0V-5V)	31	Paso a paso 1A
12	Ground	32	Paso a paso 1B
13	5V	33	Encendido 3
14	Área Proto 1	34	Encendido 2
15	Área Proto 2 (ventilador)	35	Boost
16	Área Proto 3 (bomba combustible)	36	Idle 2
17	Área Proto 4 (tacómetro)	37	PWM idle
18	Área Proto 5 (embrague)	38	VVT
19	Sensor ECT	39	Inyector 2 – Pin 2/2
20	Sensor IAT	40	Inyector 1 – Pin 2/2

Nota. Speeduino manual (2020). Configuración de pines de la placa Speeduino V0.4. [Tabla].

Recuperado de: Wiki Speeduino.

Conexiones de los inyectores

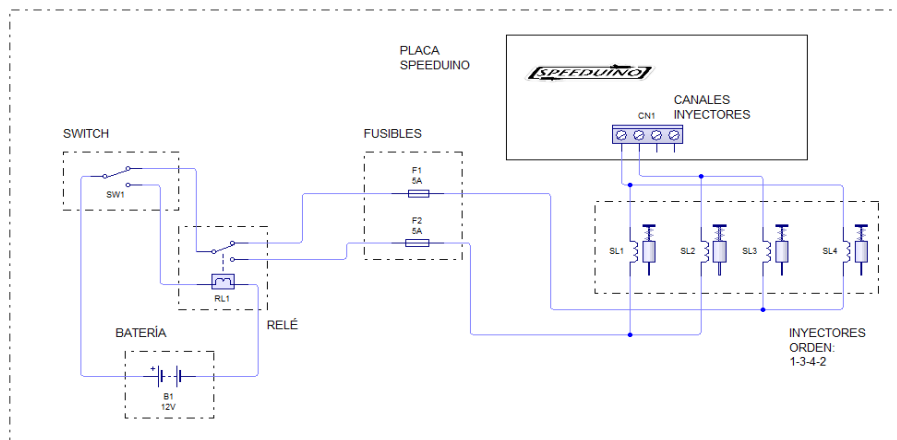
La forma de conectar los inyectores hacia la centralita Speeduino depende de la aplicación a la que esté destinada, es decir, depende de la cantidad de inyectores (cilindros) que se desee gestionar. Cuando se disponen de 4 inyectores, existen dos formas de conectarlos.

Método de emparejado

Para aplicar este método se necesita que los inyectores emparejados se encuentren con el PMS separado por 360° respecto del cigüeñal. Bajo esta disposición, se conectan 2 inyectores a cada canal de inyector de la placa.

Figura 53

Conexión de 4 inyectores por el método de emparejado



Nota. Diagrama de conexión por el método emparejado de 4 inyectores hacia los canales de la placa Speeduino.

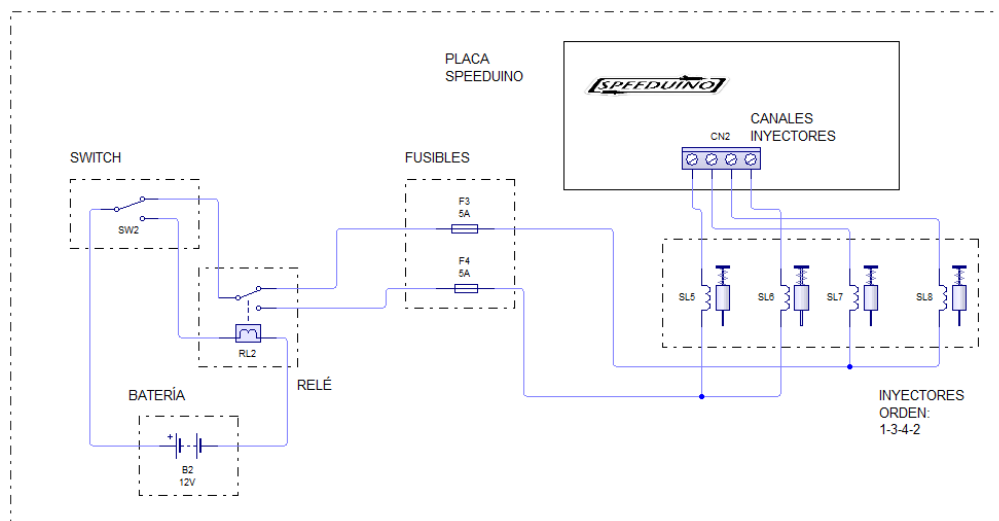
Método secuencial

Se aplica únicamente cuando se disponen de 4 inyectores, y permite conectar 1 inyector por canal de la placa. Se debe considerar el orden de encendido para el funcionamiento correcto.

Cabe señalar que en el software TunerStudio, esta opción de conexión es habilitada en la pestaña de configuración, constantes del motor, tiempo de inyección, seleccionando la opción: Secuencial.

Figura 54

Conexión de 4 inyectores por el método secuencial



Nota. Diagrama de conexión por el método secuencial de 4 inyectores hacia los canales de la placa Speeduino.

Conexiones de las bobinas de encendido

Las bobinas de encendido se conectan hacia la placa Speeduino según el tipo de encendido que se haya seleccionado para la aplicación determinada. Generalmente, se recomienda el uso de los sistemas de encendido modernos. Existen cuatro métodos de conexión.

Chispa pérdida

Bajo esta modalidad se controla la chispa requerida en la mitad del número de salidas de encendido respecto del número de cilindros, es decir, para el caso 4 cilindros disponibles solo se necesitan estar 2 conectados a cada salida.

- Motor de 4 cilindros, requiere 2 salidas de encendido.
- Motor de 6 cilindros, requiere 3 salidas de encendido.

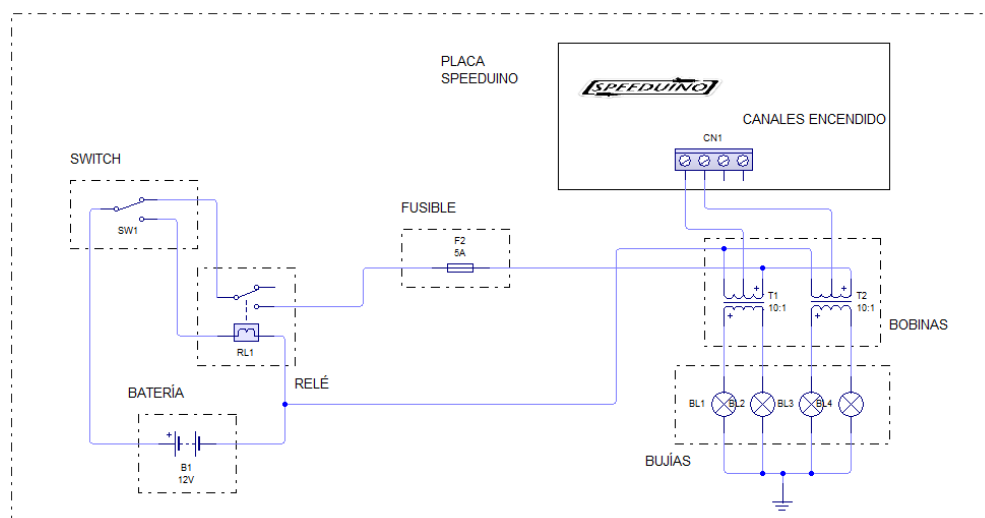
- Motor de 8 cilindros, requiere 4 salidas de encendido.

Para aplicar este método de conexión no se necesita una señal o entrada proveniente del árbol de levas, dado que no se requiere conocer la fase del motor. En su lugar, se disparan las salidas de encendido 1 vez por revolución y se empareja esa salida con 2 cilindros, el uno en carrera de compresión y el otro en escape.

Cabe mencionar que es imprescindible el uso de bobinas con encendedores incorporados y que se unan los pares correctos de bobinas y/o bujías.

Figura 55

Conexión de 2 bobinas para 4 cilindros por el método chispa pérdida



Nota. Diagrama de conexión por el método de chispa pérdida de 2 bobinas para 4 cilindros hacia los canales de la placa Speeduino.

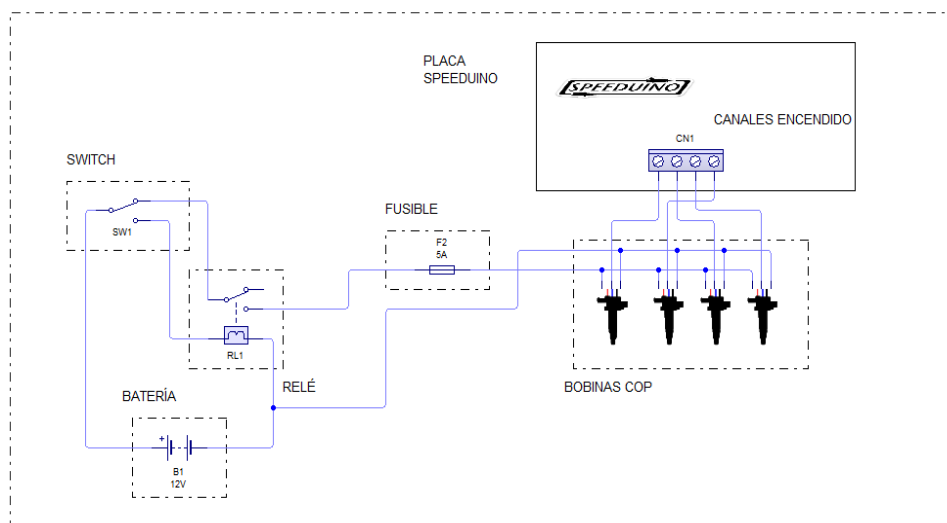
Otra alternativa en lugar de utilizar bobinas de chispa pérdida de 2 polos, es emplear unidades individuales de bobina en bujía bajo la misma modalidad de chispa pérdida.

Secuencial COP

Cuando se utilizan bobinas COP se simplifica significativamente el cableado del circuito, dado que cada bobina se conecta a 1 salida de encendido, según el orden de encendido corresponda.

Figura 56

Conexión de 4 bobinas COP para 4 cilindros por el método secuencial



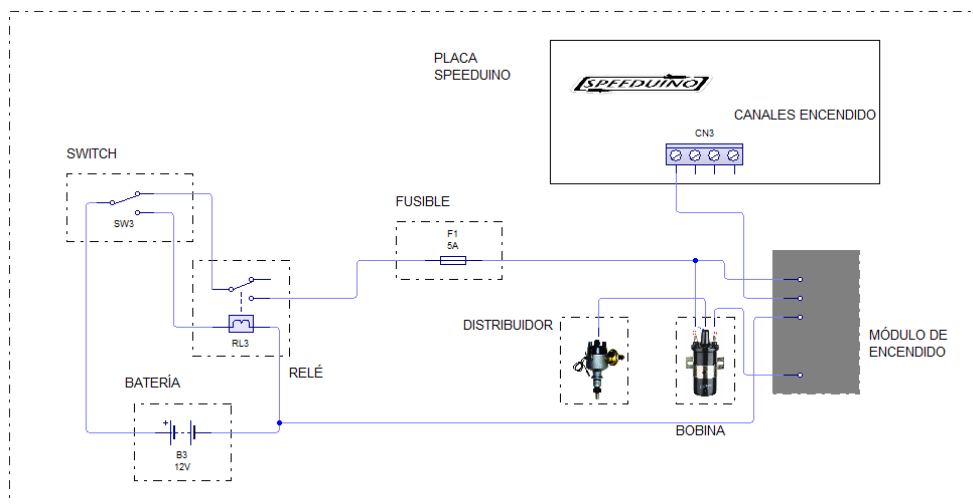
Nota. Diagrama de conexión de 4 bobinas COP bajo el método secuencial hacia los canales de la placa Speeduino.

Conexión con distribuidor

Si existe en el sistema de encendido la presencia de un distribuidor solo es requerida 1 salida de encendido de la placa Speeduino. Para alimentar todo el circuito es necesario un módulo de encendido de un solo canal para impulsar la bobina.

Figura 57

Conexión de 1 canal de encendido en sistema de encendido con distribuidor



Nota. Diagrama de conexión de 1 canal de encendido de la placa Speeduino hacia un sistema de encendido con distribuidor.

Ensamblaje del banco de pruebas

Para el armado de la estructura se utiliza pegamento industrial uniendo cada corte de los soportes y dando forma al armazón del banco según el diseño propuesto. Cabe mencionar que cada soporte es de madera tipo MDF con un grosor de 10 mm y su dimensionamiento es exacto al diseño previo debido al corte láser.

Figura 58

Armado de la estructura del banco de pruebas



Nota. Unión de los soportes de la estructura del banco de pruebas.

Al finalizar la estructura se empiezan a montar la tapa frontal que cuenta con los orificios para el montaje de las perillas de control y leds indicadores del panel de control. De formar simultanea se empiezan a ubicar los accesorios del sistema de encendido, recordando que el banco se divide en 3 partes: encendido, panel de control, e inyección.

Figura 59

Instalación de los accesorios del sistema de encendido



Nota. Montaje de los accesorios de encendido en la estructura del banco de pruebas.

En total la estructura completamente armada con cada uno de sus soportes tiene un total de 1580 mm de longitud y 500 mm de alto.

Para continuar con el proceso de construcción del banco se le aplica una capa de pintura de color blanco de poliuretano, así como también se instalan los terminales tipo banana en la zona del panel de control del banco.

Figura 60

Capa de pintura y montaje de accesorios en el banco de pruebas



Nota. Colocación de la capa de pintura y montaje de accesorios en la estructura del banco de pruebas.

Se realiza el montaje de la flauta de inyección con cada uno de los inyectores en la zona correspondiente según el diseño previo del banco de pruebas.

Programación

Para la programación del banco de pruebas se deben contemplar los siguientes requerimientos:

- Determinar la configuración correcta de la placa Speeduino acorde a las señales simuladas en el banco de pruebas.
- Configurar cada señal dentro de los parámetros necesarios, para la creación de los mapas de inyección y encendido.
- Modificar los mapas de inyección y encendido de acuerdo a parámetros técnicos para uno motor en específico.
- Configurar parámetros adicionales que involucran las salidas para actuadores y el funcionamiento en general de ambos sistemas del banco de pruebas.
- Comprobar los datos arrojados por el banco de pruebas y el simulador de señales a través de herramientas de medición y pruebas de operabilidad.

Arduino

La ECU utilizada en este caso Speeduino, hace uso de un Arduino Mega para poder controlar las señales de entrada y las salidas para los actuadores, en su microcontrolador se halla el programa que ha sido constituido para esta versión (0.4.3), para cada versión de placa existe un programa diferente y se puede encontrar en la página oficial de Speeduino.

Cabe recalcar que la placa ocupa como interfaz al programa Tunner Studio, el cual es de libre acceso y posee múltiples funciones para lograr una programación completa.

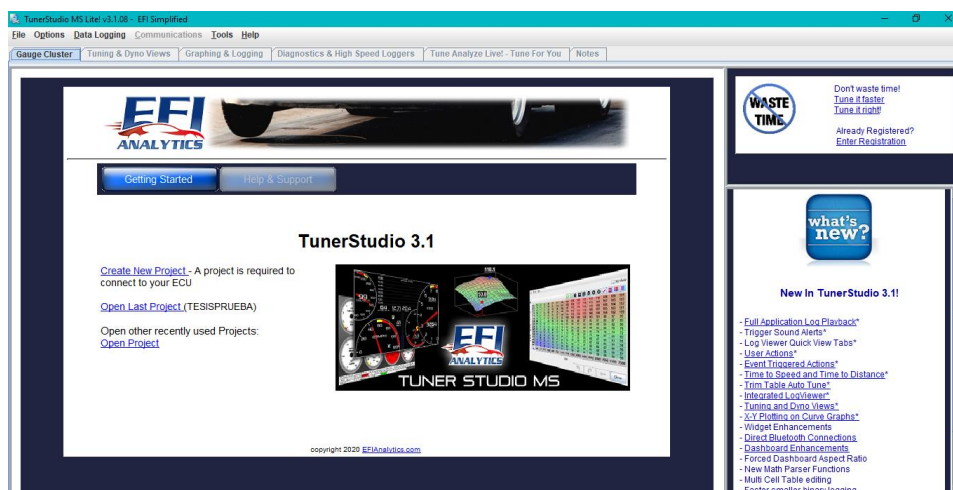
Antes de cargar el programa de Arduino en el microcontrolador es necesario configurar en la IDE el puerto en el que se encuentra conectado y el tipo de placa que se tiene con ello el programa no presentara inconvenientes al momento de compilar y subirlo posteriormente.

Ajustes necesarios en Tuner Studio

Antes de realizar cualquier ajuste en Tuner Studio es necesario instalarlo desde la página oficial, debido al ser un programa de libre acceso se podrá configurarlo e instalarlo en el lugar que mejor sea conveniente.

Figura 61

Pestaña de bienvenida del software de gestión Tuner Studio



Al abrir el Tuner Studio se podrá visualizar una pantalla de bienvenida en la que se tendrá en acceso a los archivos guardados y nuevos, hasta este momento no es necesario conectar la ECU al PC.

Creación de un programa nuevo desde cero

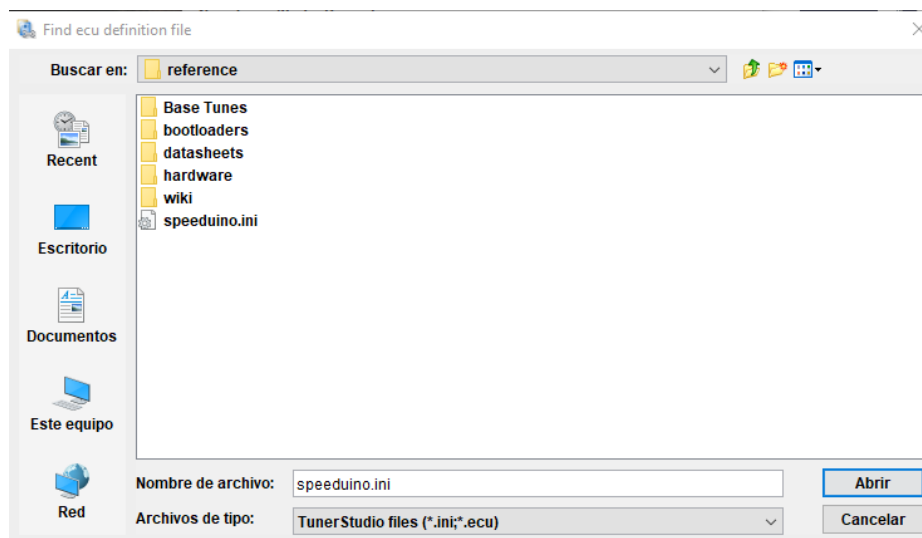
Para la creación de un nuevo programa se debe elegir la opción de “Create New Project”, inmediatamente después se abrirá una pestaña en la que se elegirá tanto el nombre

del archivo como el firmware para que el Tunner Studio identifique el tipo de ECU que se está utilizando.

El firmware actualizado se encuentra en la página oficial de la ECU y se puede descargar sin costo, para encontrarlo es necesario ubicar la carpeta “speeduino-201806” allí se encontrarán una serie de carpetas se dará clic en “reference”, y se deberá elegir el archivo “speeduino.ini”.

Figura 62

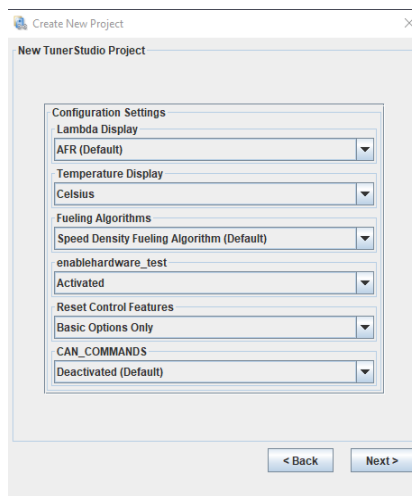
Carpeta que contiene el firmware actualizado



En la siguiente pestaña se refiere a las configuraciones generales para nuestro programa de Tunner Studio, esto se puede cambiar de acuerdo a las necesidades que tenga el usuario, en este caso particular lo único que se ha cambiado es la temperatura para que se muestre en grados Celsius y se ha habilitado la opción de enablehardware_test, que permite hacer una prueba de actuadores por separado para comprobar la señal que envía la ECU.

Figura 63

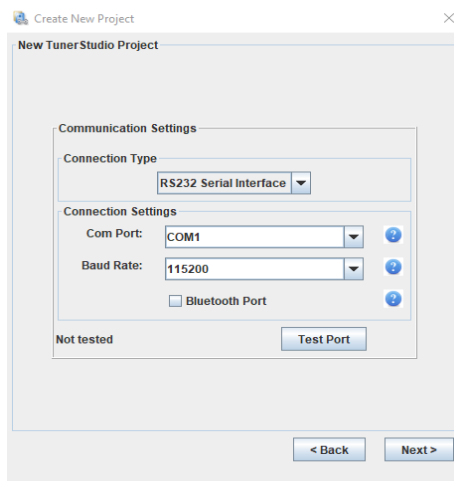
Ajustes en el software respecto de a la temperatura



La comunicación de la ECU con la PC deberá estar en el puerto que indique el Arduino mega, así como la velocidad de conexión que deberá estar la misma que se encuentre en la IDE de Arduino, en esta versión específica de Speeduino la conexión es por cable USB por lo que la pestaña Bluetooth no debe de tocarse.

Figura 64

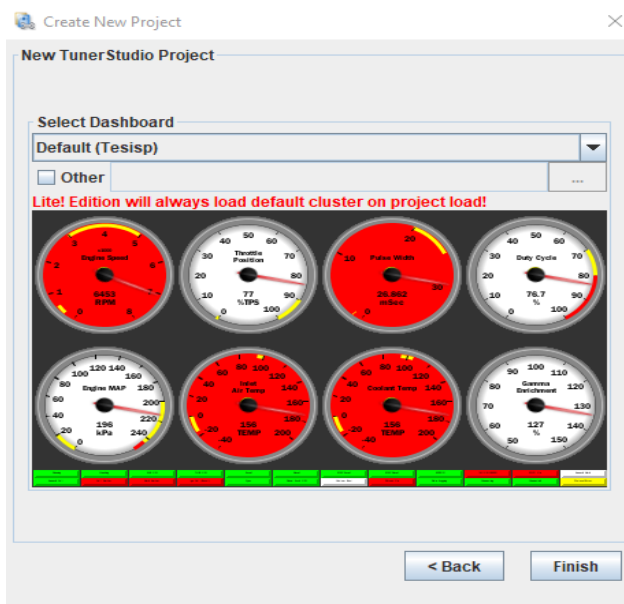
Configuración del modo de comunicación ECU - PC



Por último, se encuentra las diferentes interfaces que se pueden elegir para tener una visualización distinta de cada parámetro que está recibiendo el programa.

Figura 65

Selección de la interfaz de visualización de los parámetros

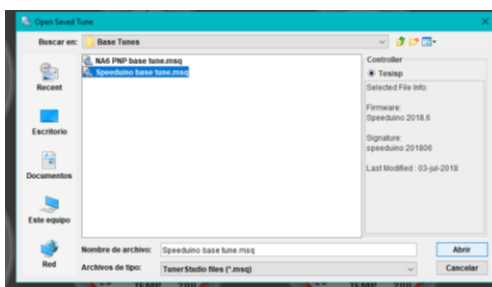


Carga del mapa base

Antes de configurar cualquier parámetro se hace la carga de un Mapa Base el cual se encuentra en la capeta “Base Tunes” en el directorio de Speeduino antes mencionado.

Figura 66

Selección del mapa base



El mapa base que se ha cargado en Tunner Studio es uno muy conservador, pero se debe ajustar de acuerdo a los datos del motor y con ello partir con el cálculo para ambos mapas, sin embargo, con este mapa se configuraron las señales de los sensores para poder visualizar el funcionamiento correcto de cada uno de ellos.

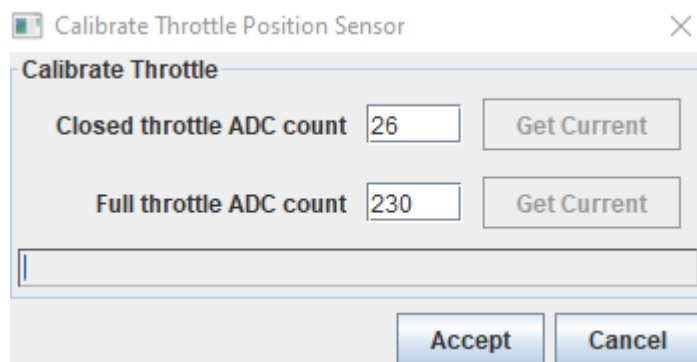
Calibración sensor TPS

Para la calibración de la señal de TPS se debe elegir la opción “Tools”, se desplegará un menú en el que están todos los sensores que se pueden configurar, en este caso se elige la opción “Calibrate TPS”

Con la ayuda del banco de pruebas se podrá configurar cada señal de manera precisa, es imprescindible tener en cuenta que para tener una apertura completa de la mariposa se deberá configurar la señal antes del tope del potenciómetro y con ello se asegurará que el reloj muestre una abertura al 100%.

Figura 67

Calibración del sensor TPS



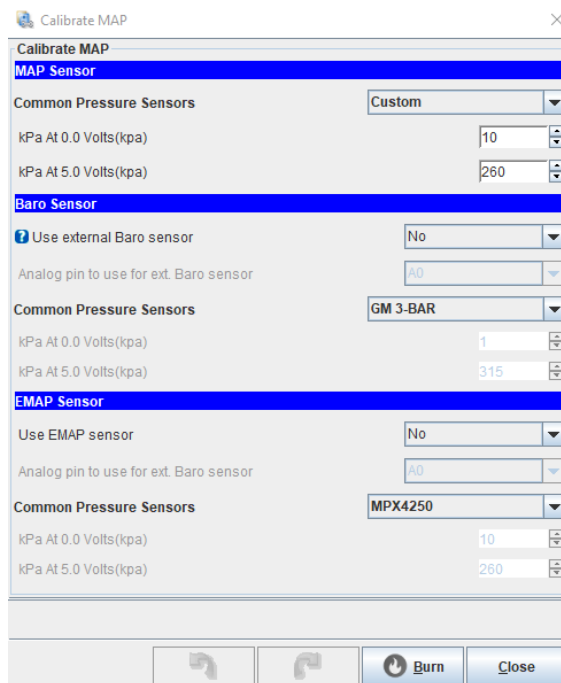
Sensor MAP

En la misma pestaña de “Tools” se encuentra “Calibrate Pressure Sensors”, aquí se podrá configurar el tipo de sensor que se tenga, cabe mencionar que en la mayoría de ECUs programables traen integrado un sensor MAP en la placa que debe ir conectado hacia una

toma en el múltiple de admisión, en este caso la señal se toma a través de un circuito que tiene Speeduino exclusivamente para el sensor MAP.

Figura 68

Calibración del sensor MAP



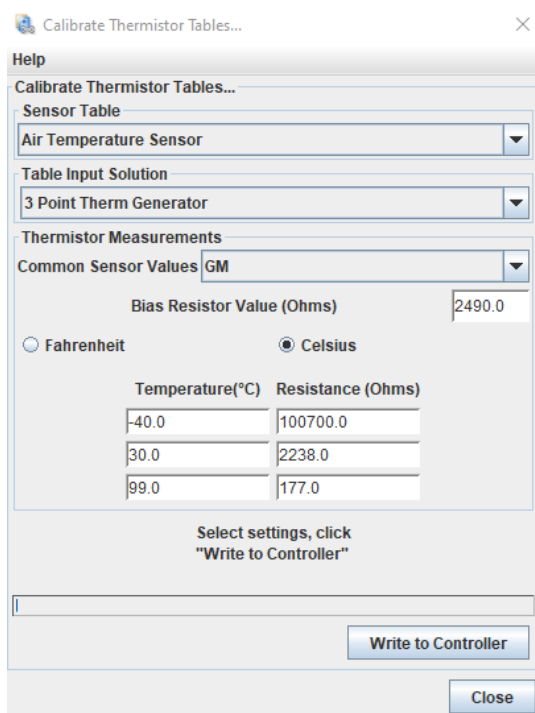
La opción Custom permite variar los valores que se requieran para mostrar un valor de presión diferente, adicionalmente se puede configurar un sensor de presión barométrica BARO y un sensor de presión del colector de escape EMAP.

Sensor IAT

En este caso la señal del sensor IAT se configura como una resistencia variable con tres puntos para poder establecer su gráfica, se podrá elegir entre varios sensores de diferentes marcas sin embargo es necesario configurar la temperatura acorde a la resistencia que se use en ese instante, adicionalmente se puede cargar un archivo INC en el cual se permite establecer la configuración para un sensor determinado.

Figura 69

Calibración del sensor IAT

**Sensor ECT**

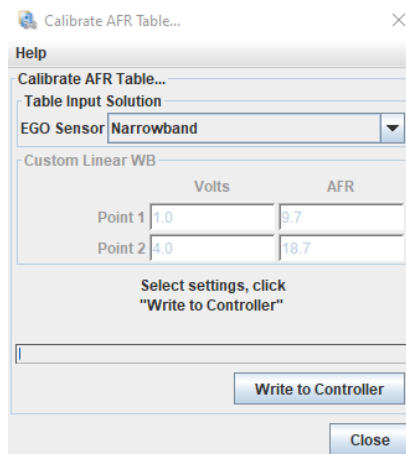
Al igual que el sensor anterior la señal de este sensor traza una curva no lineal y debe recordarse que son del tipo NTC, pero dependerá del tipo de motor que se esté reprogramando, sin embargo, en este caso se elige una configuración igual para que permita poner en funcionamiento el banco de pruebas. Una vez configurado se debe elegir la opción “Write to Controller” y esperar que se guarde en la ECU.

Sensor EGO

El banco de pruebas cuenta con la capacidad de cambiar el tipo de señal del sensor de oxígeno, para ello se debe configurar este sensor como “Narrowband” el cual permitirá ver una pequeña variación en el reloj del sensor de oxígeno.

Figura 70

Calibración del sensor EGO

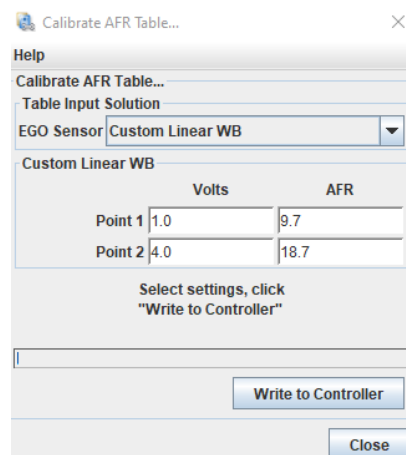


Wideband

Mediante un interruptor se selecciona si se requiere una señal de banda estrecha o una señal de banda ancha o wideband en la programación, para que el programa lea de manera correcta la señal se debe elegir la opción de Custom Linear WB.

Figura 71

Calibración wideband

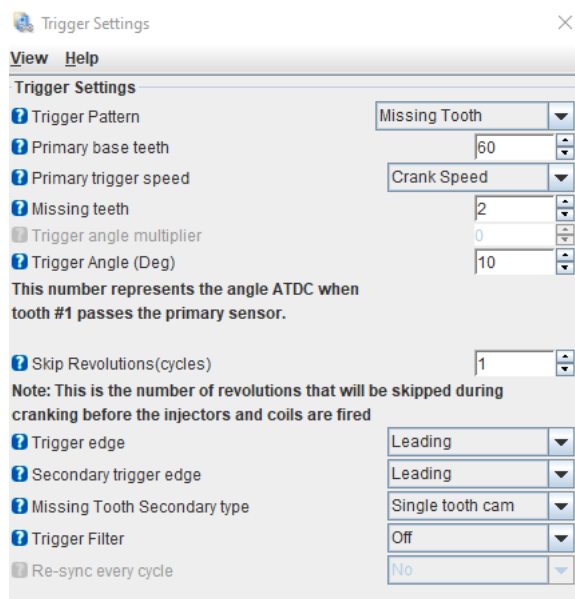


Sensor CKP

En este caso la señal del sensor CKP se debe configurar en la pestaña “Settings” y posteriormente elegir la opción de “Trigger setup”, se elige el tipo de rueda fónica de dientes perdidos, y se configura de acuerdo al programa guardado en Arduino Uno que es el que genera la señal cuadrada de CKP.

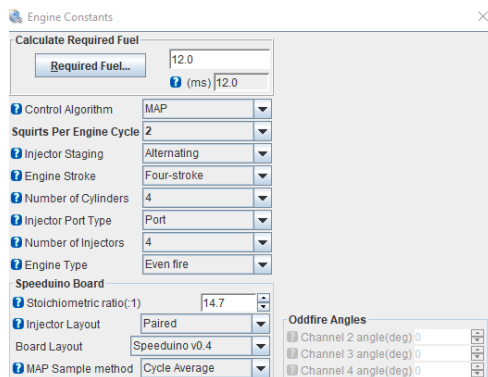
Figura 72

Calibración del sensor CKP



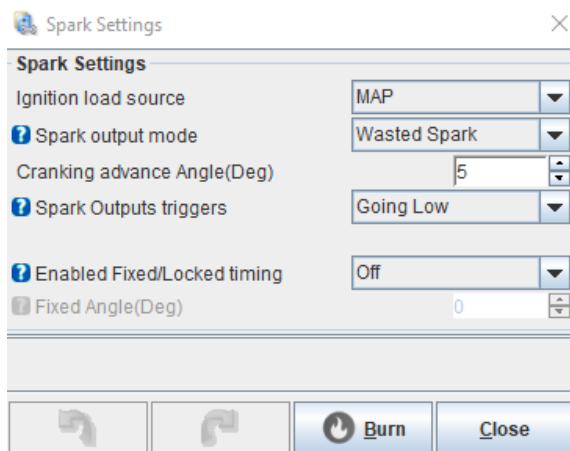
Configuración para actuadores

La configuración para actuadores se debe hacer por separado, en este caso los inyectores se calibran en la pestaña “Settings” se elige la opción “Engine Constants”, a partir de este punto ya se puede configurar el mapa base de inyección teniendo en cuenta los datos del motor y de los inyectores.

Figura 73*Calibración de los inyectores*

En esta instancia la salida del inyector se puede cambiar entre tres opciones: Paired, Semi-secuencial, Secuencial.

Para la bobina de encendido se debe hacer clic en “Spark Settings”, en este caso se elige la opción de “Wasted Spark” puesto que la bobina usada es de este tipo y el pulso de activación será “Going Low”.

Figura 74*Calibración de la bobina de encendido*

Cálculos del mapa base

Para poder generar el mapa base se empieza calculando la cantidad ideal de aire que ingresa al motor tanto de forma teórica como real, considerando los parámetros del motor Aveo 1.5L.

$$G_0 = V_a * \rho_0$$

Donde:

G_0 : Cantidad de teórica de aire que ingresa al motor

V_a : Volumen del motor en metros cúbicos

ρ_0 : densidad del aire a condiciones ideales

Bajo esa operación se calcula la cantidad total de aire que entra al motor para una densidad de aire ideal de $1,225 \frac{kg}{m^3}$.

$$G_0 = 0,001498 * 1,225 \frac{kg}{m^3}$$

$$G_0 = 0,00183505 \text{ kg}$$

$$G_0 = 1,83505 \text{ g}$$

Este valor representa un coeficiente teórico para un llenado del cilindro al 100%, para hacer el cálculo de la eficiencia volumétrica como se ha mencionado se debe calcular el valor real del coeficiente de llenado. En esta instancia se debe considerar el valor de la presión absoluta, así como la temperatura con la que entra el aire en el cilindro habiendo pasado por el sistema de admisión, tomando eso en cuenta se calcula de la siguiente forma.

$$G_a = \frac{P_{abs} * V_a}{R_{gases} * T_{aire}}$$

Donde:

P_{abs} : Presión absoluta

V_a : Volumen del motor en metros cúbicos

R_{gases} : Constante ideal de los gases

T_{aire} : Temperatura de entrada de aire

Para este cálculo se toma una presión total de 100 kPa, y una temperatura de aire de entrada de 40C con una constante de $R = 0.28705 \frac{kPa m^3}{kg K}$

$$G_a = \frac{100 \text{ kPa} * 0.001498 \text{ m}^3}{0.28705 \frac{kPa m^3}{kg K} * (40C + 273) K}$$

$$G_a = 0.001667 \text{ kg}$$

$$G_a = 1.667 \text{ g}$$

Con este resultado se procede a calcular el rendimiento volumétrico para este motor con la siguiente ecuación.

$$VE = \frac{G_a}{G_0} * 100\%$$

$$VE = \frac{1.667 \text{ g}}{1.83505 \text{ g}} * 100\%$$

$$VE = 90.84 \% = 91\%$$

Bajo este valor de eficiencia volumétrica calculado se establece el máximo que tendrá para una presión absoluta de 100 kPa este valor puede cambiar si el motor es sobrealimentado para el cual ya se establecen valores superiores dependiendo la capacidad del turbocargador. Para generar el mapa de VE se realiza en una tabla de Excel únicamente variando la presión

absoluta desde un rango a carga nula hasta el valor calculado anteriormente, obteniendo la siguiente tabla.

Tabla 13

Valores para generar el mapa VE en función de la presión absoluta

Presión kPa	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100
VE [%]	18	23	27	32	36	41	45	50	55	59	64	68	73	77	82	91

Como se puede observar se han establecido incrementos de 5kPa con el propósito de que el mapa sea lo más parejo posible y la aceleración del motor sea continua. Para el método de generación del mapa se establecerá los valores calculados en todo el régimen de funcionamiento del motor posteriormente se hará el ajuste del mapa usando el método Corners.

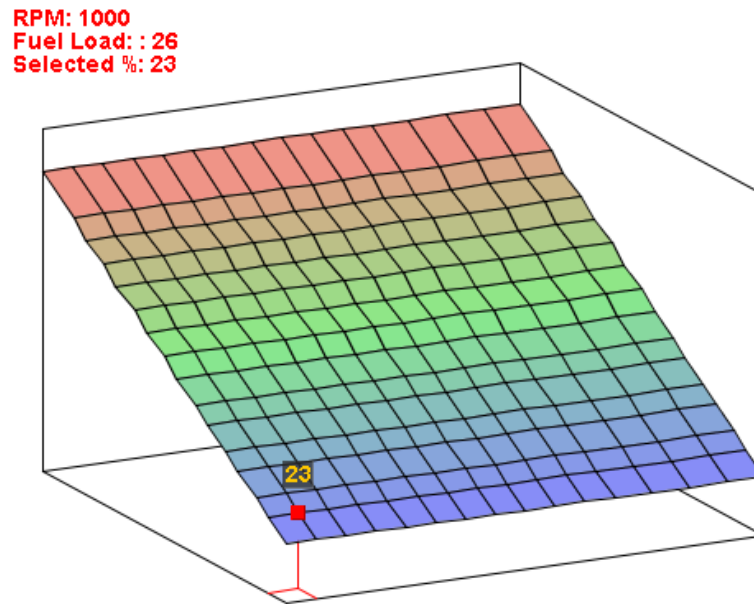
Tabla 14

Valores de presión absoluta en función de las revoluciones para generar el mapa

	100	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	
	90	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	
	85	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	
	80	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	
	75	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	
	70	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	
	65	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	
	60	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	
	55	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	50	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
	45	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	
	40	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	
	35	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
	30	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	
	25	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	
	20	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
	0	600	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4600	5000	5500	6000	6500	7000
Presión absoluta kPa																	
	Revoluciones RPM																

Figura 75

Mapa tridimensional base



Esta es la primera vista del mapa antes de realizar el ajuste mediante el método Corners el cual se basa en el tipo de mezcla que debe obtenerse según la zona del mapa.

Ajuste mediante el método Corners

Como primer ajuste que se considera para el método Corners es identificar la zona de altas RPM que se encuentra desde las 2500 RPM en adelante, en esta zona se aplica un factor de corrección de $\lambda=0.87$ lo que indica que la mezcla se enriquecerá para satisfacer la demanda de combustible a altas RPM.

Tabla 15

Delimitación de la zona de altas RPM

	100	91	91	91	91	91	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	
	90	82	82	82	82	82	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	
	85	77	77	77	77	77	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	
	80	73	73	73	73	73	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	
	75	68	68	68	68	68	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
Presión absoluta kPa	70	64	64	64	64	64	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	
	65	59	59	59	59	59	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	
	60	55	55	55	55	55	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	
	55	50	50	50	50	50	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	
	50	45	45	45	45	45	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	
	45	41	41	41	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
	40	36	36	36	36	36	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
	35	32	32	32	32	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
	30	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	25	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
20	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
	0	600	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4600	5000	5500	6000	6500	7000	
	Revoluciones RPM																	

De igual forma que se han configurado valores de mezcla rica a altas revoluciones también se debe hacerlo para altas cargas, en este caso se ha considera la zona de alta carga desde los 70 kPa hasta los 100 kPa que es el lugar en donde se llega al punto de mayor apertura de la mariposa de aceleración (WOT), el factor de corrección establecido es del 2% AFR=0.98

Tabla 16

Delimitación de la zona de alta carga

	100	91	91	91	91	91	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
	90	82	82	82	82	82	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
	85	77	77	77	77	77	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
	80	73	73	73	73	73	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
	75	68	68	68	68	68	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
	70	64	64	64	64	64	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	65	59	59	59	59	59	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
	60	55	55	55	55	55	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
	55	50	50	50	50	50	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
	50	45	45	45	45	45	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
	45	41	41	41	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
	40	36	36	36	36	36	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
	35	32	32	32	32	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
	30	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	25	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
	20	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	0	600	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4600	5000	5500	6000	6500	7000
	Revoluciones RPM																

Al momento de una desaceleración brusca normalmente el motor debe disminuir la cantidad de combustible a pesar de encontrarse a altas rpm, pero en baja proporción es por eso que se establece un valor de AFR=1.02 para empobrecer la mezcla.

Tabla 17

Efecto de la desaceleración brusca en los valores con AFR 1.02

	100	91	91	91	91	91	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	
	90	82	82	82	82	82	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	
	85	77	77	77	77	77	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	
	80	73	73	73	73	73	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	
	75	68	68	68	68	68	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	
	70	64	64	64	64	64	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	
	65	59	59	59	59	59	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	
	60	55	55	55	55	55	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	
	55	50	50	50	50	50	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	
	50	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
	45	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	
	40	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	
	35	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
	30	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	
	25	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
	20	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
	0	600	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4600	5000	5500	6000	6500	7000
	Revoluciones RPM																

Al haber realizado el cálculo para un AFR=1 las zonas de poca demanda se dejarán tal como está debido a la poca influencia que tiene al momento de entregar la máxima potencia, con las zonas de alta demanda es importante identificar el régimen de máxima potencia que para este motor está en 5600 RPM, después de este momento es necesario mantener el porcentaje de VE hasta las 7000 RPM no disminuir porque ese combustible servirá para refrigerar componentes del motor. Bajo esto se hace un incremento de 1.8% en la zona de alta demanda a partir de 2800 RPM.

Tabla 18

Incremento de 1.8% en la zona de alta demanda a partir de 2800 RPM

Presión absoluta kPa	100	91	91	91	91	91	96	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
	90	82	82	82	82	82	86	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
	85	77	77	77	77	77	81	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
	80	73	73	73	73	73	77	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
	75	68	68	68	68	68	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
	70	64	64	64	64	64	67	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
	65	59	59	59	59	59	61	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
	60	55	55	55	55	55	57	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
	55	50	50	50	50	50	52	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
	50	45	45	45	45	45	45	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
	45	41	41	41	41	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
	40	36	36	36	36	36	36	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
	35	32	32	32	32	32	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
	30	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	25	23	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
	20	18	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
		0	600	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4600	5000	5500	6000	6500
	Revoluciones RPM																

Con el fin de disminuir el consumo de combustible se aplica una disminución del 1.8% para lograr que la tendencia a bajas RPM se inyecte menor cantidad de combustible, pero respetando un AFR=1 lo más cercano posible dentro de estas zonas. Esto se aplica desde bajas revoluciones hasta la zona de crucero a 1400 RPM.

Tabla 19

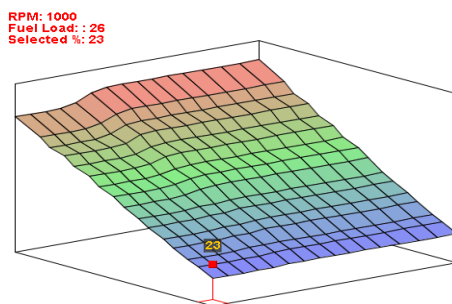
Disminución de 1.8% en la zona de baja demanda a partir de 1400 RPM

Presión absoluta kPa	100	89	89	89	89	91	96	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
	90	80	80	80	80	82	86	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
	85	75	75	75	75	77	81	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
	80	72	72	72	72	73	77	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
	75	67	67	67	67	68	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
	70	63	63	63	63	64	67	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
	65	58	58	58	58	59	61	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
	60	54	54	54	54	55	57	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
	55	49	49	49	49	50	52	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
	50	44	44	44	44	45	45	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
	45	40	40	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
	40	35	35	35	35	36	36	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
	35	31	31	31	31	32	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
	30	26	26	26	26	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	25	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
	20	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
		0	600	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4600	5000	5500	6000	6500	7000
	Revoluciones RPM																	

Con este ajuste del mapa dependiendo de cómo se observe en 3D se procederá a realizar una corrección de los valores con la herramienta linealizar que ofrece el programa Tuner Studio y con ello tener un mapa mejorado.

Figura 76

Mapa tridimensional base mejorado



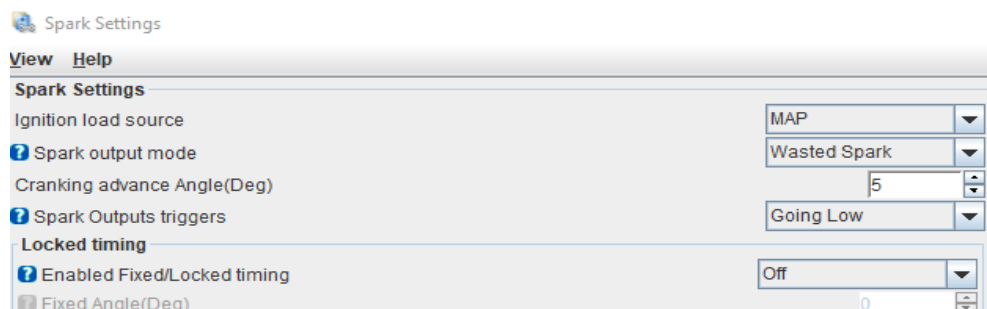
Mapa de encendido

En el mapa de encendido existen puntos críticos en los cuales el motor está sometido, la forma más común que usa para poder generar el mapa base es a través de ensayos de prueba y error con valores discretos para evitar el golpeteo del motor. Speeduino posee un mapa base el cual permite no empezar desde cero con la creación de este mapa, esta es una opción que se ha establecido para poder comprobar el funcionamiento del banco de pruebas.

Es así como se hace uso del mapa base que provee la unidad y se ha configurado para los parámetros de sistema de chispa perdida para el motor Chevrolet 1.5L

Figura 77

Configuración del tipo de sistema de encendido



El tipo de algoritmo que se ha escogido es basado en la señal del sensor MAP, para un sistema de chispa perdida con un avance antes del arranque de 5 grados, es importante configurar el tipo de sistema puesto que la bobina para este tipo de motor hace el control de la chispa mediante un módulo de encendido externo.

Por consiguiente, se debe calibrar el tiempo de carga para la bobina esto evitará que se acorte su tiempo de vida útil, y además la chispa tendrá la intensidad adecuada para el motor, el tiempo que se ha encontrado mediante el uso de un osciloscopio se encuentra en 3.5 ms para la etapa de arranque y 2.5 ms con el motor en funcionamiento.

Una vez se complete la configuración se podrá visualizar tanto la tabla de encendido como el mapa en 3D que provee el programa Tuner Studio para la ECU Speeduino.

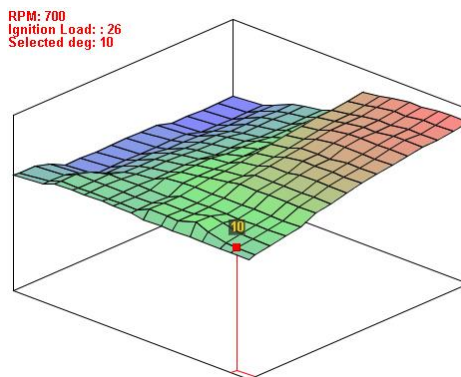
Tabla 20

Valores de encendido variando el avance con el valor de carga del sensor MAP

	100	7	7	7	5	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0
	90	8	8	8	6	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1
	85	10	10	10	8	5	5	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3
	80	10	10	10	10	8	8	8	8	7	7	7	6	6	6	6	6
	75	10	10	10	10	9	9	9	9	8	8	8	7	7	7	7	7
	70	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	8	8	8	8	8
	65	10	10	10	10	12	12	12	12	11	11	11	10	10	10	10	10
	60	10	10	10	10	13	13	13	13	13	13	13	12	11	12	12	12
	55	9	12	12	12	13	14	14	15	16	17	18	19	20	20	21	22
	50	9	12	12	12	13	15	15	16	17	18	19	20	21	21	22	23
	45	9	12	12	12	13	16	17	18	19	20	21	22	22	22	23	24
	40	9	14	14	12	13	16	17	18	20	20	22	23	23	23	24	25
	35	9	12	13	12	13	16	17	19	20	20	22	23	23	23	24	25
	30	9	10	11	12	13	16	17	19	20	21	22	23	24	24	25	26
	25	9	10	11	12	13	16	17	19	20	21	22	23	24	24	25	26
	20	9	10	11	12	13	16	17	19	20	21	22	23	24	24	25	26
	0	500	700	1200	1700	2200	2700	3200	3700	4200	4700	5200	5700	6200	6700	7200	7700
	Revoluciones																

Figura 78

Mapa tridimensional de encendido

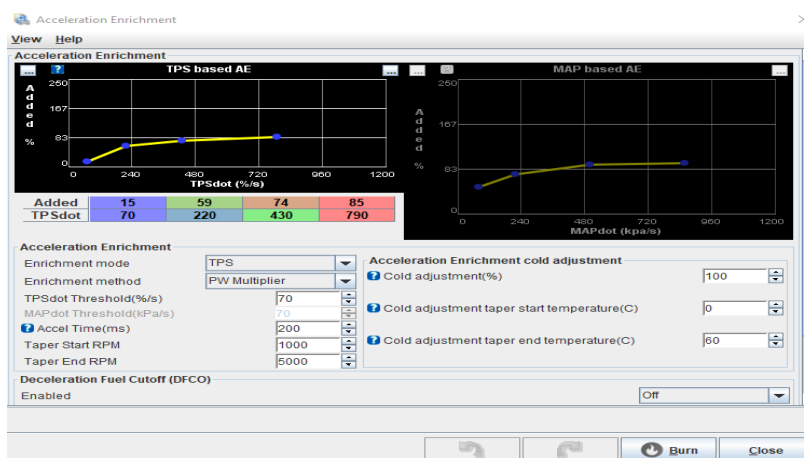


Ajustes adicionales del usuario

Speeduino permite configurar diversos parámetros relacionados con el funcionamiento del motor para brindar mejores prestaciones al momento de tunear el vehículo. Como primer punto se tiene la opción de provocar un enriquecimiento extra cuando se acciona la mariposa de forma brusca, esta opción se ha configurado para que use la señal de TPS como entrada para realizar esa acción.

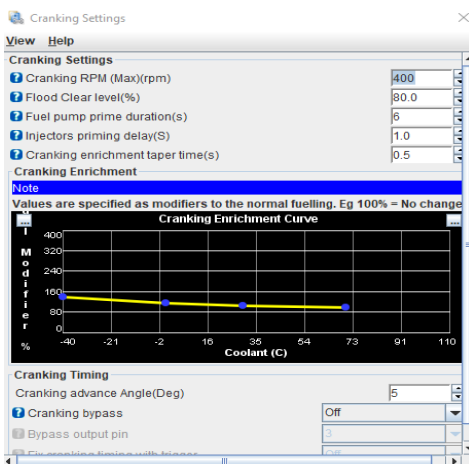
Figura 79

Enriquecimiento en la mariposa aceleración



Bajo esta acción el programa deberá enriquecer la mezcla siempre y cuando se cumplan las condiciones que se establezcan, esto brinda una buena experiencia al momento de la conducción mejorando la respuesta del motor.

Otra de las opciones que se han modificado son las “Cranking Settings”, en este apartado las revoluciones de cranking están establecidas en 400, esta configuración permite que el dwell se establezca en diferentes tiempos de carga para la bobina como se mencionó anteriormente. Por otra parte, el pulso de inicio para la bomba se ha ubicado en 6 segundos, aunque depende de la configuración en el pin que se haga el control de la bomba y del tipo de bomba que se controle, las demás opciones se han dejado por defecto.

Figura 80*Ajustes en el arranque*

Comunicación

La comunicación del banco de pruebas con la computadora que contiene el software TunerStudio para el ajuste y modificación de los mapas tridimensionales de inyección y encendido es posible mediante la conexión del puerto USB del Arduino Mega instalado en la parte inferior derecha del panel de control del banco, por lo que cualquier cable de transmisión de datos universal conectado a un computador será necesario.

Figura 81*Comunicación del banco de pruebas con el software de gestión TunerStudio*

Nota. Esquema de bloques representativos de los principales actores en la comunicación del banco de pruebas con el software de gestión TunerStudio.

Operabilidad

El banco de pruebas fue diseñado de manera muy didáctica, es de fácil uso y muestra como es el funcionamiento de los sistemas de inyección y encendido al usar una ECU programable. Para comprobar cada señal el banco cuenta con conectores tipo banana que permiten visualizar los datos en vivo con un osciloscopio.

Por otra parte, cada salida hacia los sistemas de inyección y encendido cuentan con un panel indicativo que permite realizar una prueba de hardware en Tunner Studio y comprobar que cada actuador reciba la señal proveniente de la placa Speeduino.

En la zona inferior del panel se encuentran dos alojamientos para programar tanto el Arduino mega y el Arduino uno, es importante mencionar que tanto el programa de Speeduino como el generador de ondas de CKP vienen listos para usarse, no se recomienda modificar el programa pues cada cierto tiempo se encuentran versiones nuevas para cada placa en la página oficial de Speeduino.

Arduino uno tiene la capacidad de simular diversas ruedas fónicas esta opción se puede encontrar en la pestaña "wheel_defs.h" en el firmware de Arduino Uno y se debe configurar dicha rueda fónica en la pestaña "users_default.h" y con el ello dirigirse a "trigger setup" en Tunner Studio y modificar la rueda fónica deseada. Las señales restantes se pueden configurar directamente en el programa de manera sencilla.

Se han implementado actuadores de un vehículo tipo sedan en el banco pruebas con el fin de que se compruebe el correcto funcionamiento de la programación y de la placa Speeduino adquirida. Por el sistema de encendido se encuentra la bobina de chispa perdida con 4 salidas de alta tensión y en el sistema de inyección se encuentran 4 inyectores de alta impedancia anclados al riel de inyección y que trabaja en conjunto con la bomba de combustible.

Capítulo IV

Pruebas y análisis de resultados en el banco de pruebas

Encendido y configuración del banco de pruebas

Para el encendido del banco de pruebas se debe conectar a una toma de 110V de preferencia que contenga tres puntos de conexión, en este momento se alimentara a los microcontroladores con un voltaje de 5 Volts regulado por la propia placa de pruebas. Bajo estas circunstancias el banco tiene la capacidad de poner en funcionamiento los sistemas de inyección y encendido, así como todo el panel de señales.

Si únicamente se desea comprobar la comunicación del banco de pruebas con el programa de Tuner Studio únicamente se debe conectar el cable USB al puerto indicado de Arduino Mega, en este momento el programa Tuner Studio deberá empezar a leer las señales generadas por el banco de pruebas, sin embargo, los sistemas de inyección y encendido no podrán activarse.

Una vez se conecte tanto a la toma de 110V como al computador se tendrán a disposición todas las funciones del banco de pruebas, se recomienda que se operen los sistemas por separado debido al ruido electromagnético que se puede generar y que afecta a la señal del sensor CKP.

Señales simuladas en banco

Por medio de la utilización del osciloscopio se verifica el funcionamiento del banco de pruebas en cuanto a la emulación de las señales, mediante los terminales correspondientes ubicados en el panel de control, se conecta los cables de osciloscopio para obtener las curvas características de funcionamiento de cada uno de los sensores que involucra el banco.

Figura 82

Señales simuladas en el software de gestión Tuner Studio

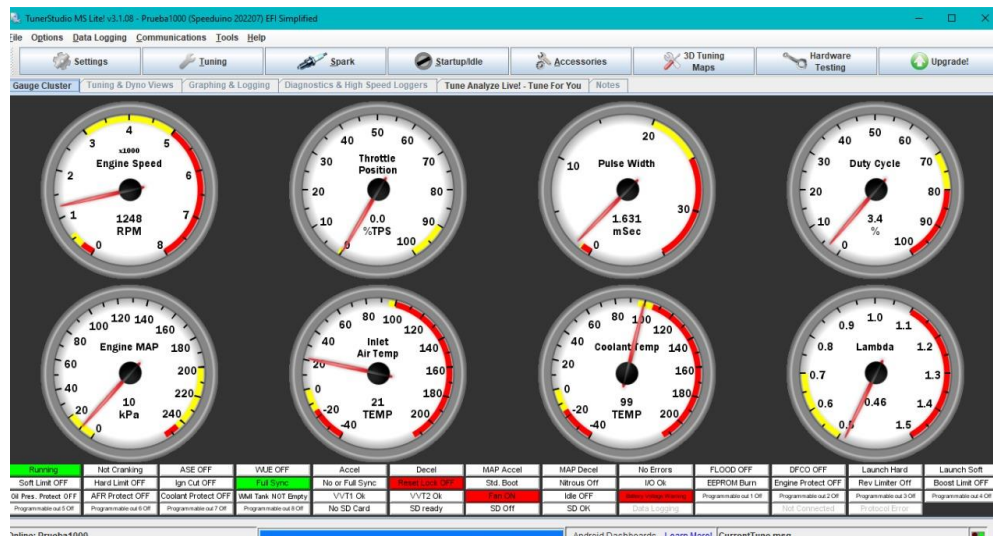
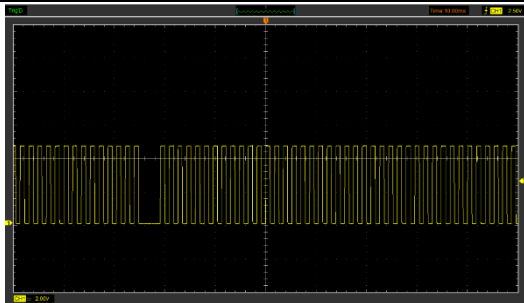
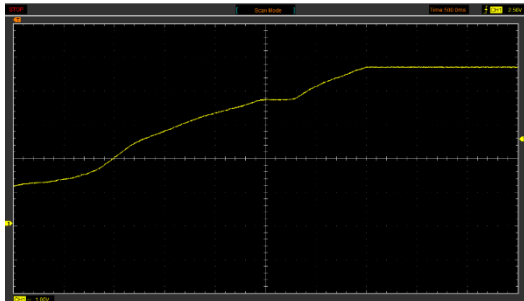


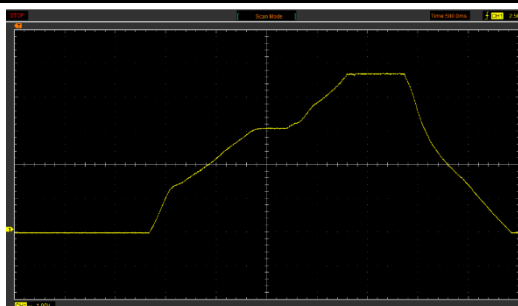
Tabla 21

Señales simuladas en el banco de pruebas visualizadas por osciloscopio

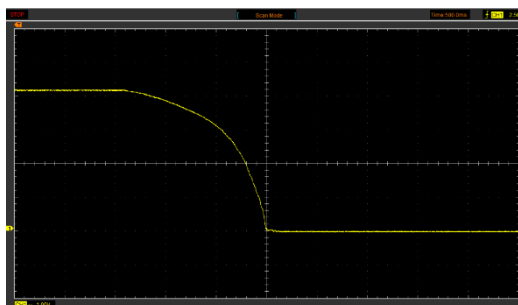
Sensor	Señal simulada
CKP	
MAP	

Sensor**Señal simulada**

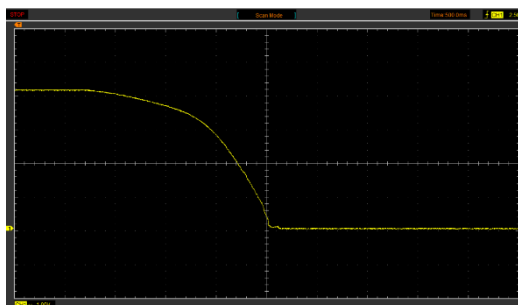
TPS



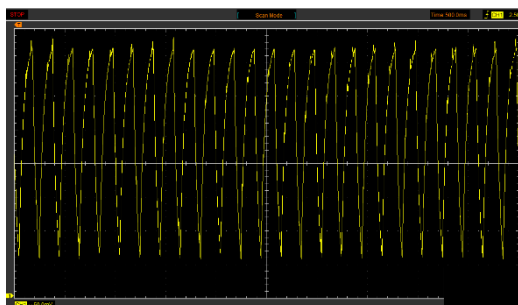
IAT

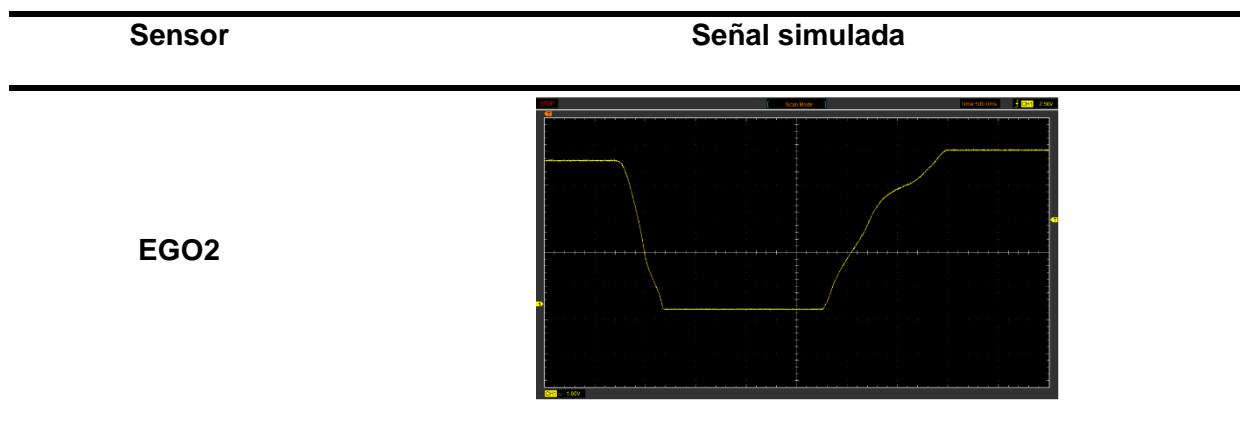


ECT



EGO1





Señal CKP

En el caso del sensor CKP la señal emulada por medio de la programación y su conexión con la tarjeta Arduino Uno, proporciona una señal del tipo digital. Al momento de variar la señal por medio de la perilla ubicada en el panel de control del banco y conectar el osciloscopio en los terminales correspondientes, se observa los valores de operación característicos del sensor CKP emulado.

Figura 83

Señal simulada sensor CKP

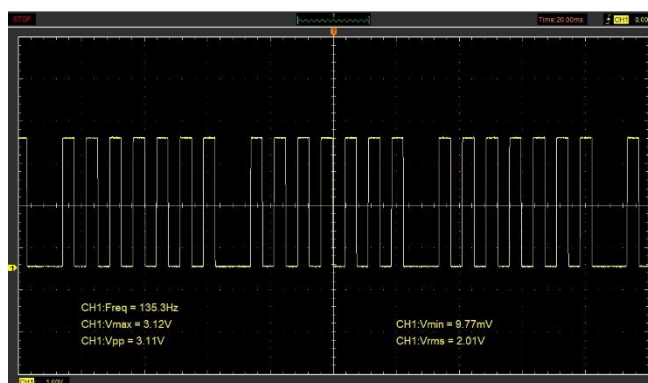


Tabla 22

Valores de voltaje y frecuencia sensor CKP

Voltaje máximo	Voltaje mínimo	Voltaje RMS	Voltaje pico-pico	Frecuencia
Vmax	Vmín	Vrms	Vpp	
3.12V	9.77mV	2.01V	3.11V	135.3 Hz

Señal MAP

En cuanto al sensor MAP su señal es emulada por medio de la variación de la perilla ubicada en el panel de control del banco, al conectar el osciloscopio en los terminales correspondientes, se observa los valores de operación característicos del sensor MAP emulado.

Figura 84

Señal simulada sensor MAP

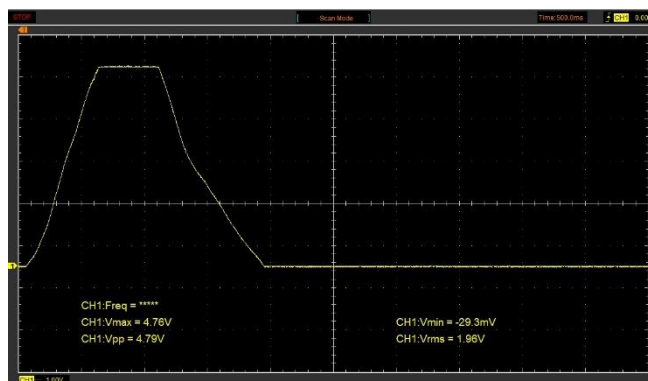


Tabla 23

Valores de voltaje sensor MAP

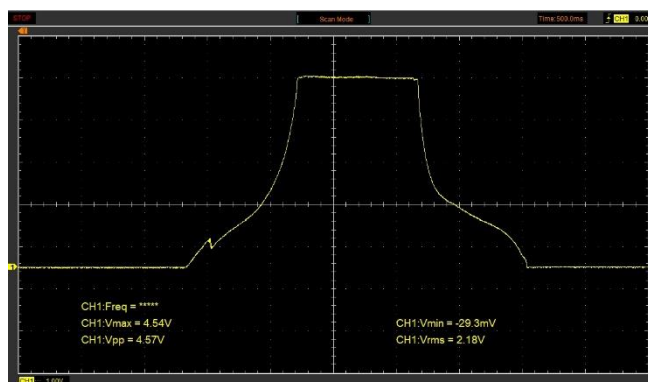
Voltaje máximo	Voltaje mínimo	Voltaje RMS	Voltaje pico-pico
Vmax	Vmín	Vrms	Vpp
4.76V	29.3mV	1.96V	4.79V

Señal TPS

La señal emulada del sensor TPS se lo realiza por medio del ajuste deseado en la perilla ubicada en el panel de control del banco, al conectar el osciloscopio en los terminales correspondientes, se observa los valores de operación característicos del sensor TPS emulado.

Figura 85

Señal simulada sensor TPS

**Tabla 24**

Valores de voltaje sensor TPS

Voltaje máximo	Voltaje mínimo	Voltaje RMS	Voltaje pico-pico
Vmax	Vmín	Vrms	Vpp
4.54V	29.3mV	2.18V	4.57V

Señal IAT

La señal emulada del sensor de temperatura IAT se lo realiza mediante la calibración de la perilla ubicada en el panel de control del banco, al conectar el osciloscopio en los terminales correspondientes, se observa los valores de operación característicos del sensor IAT emulado.

Figura 86

Señal simulada sensor IAT

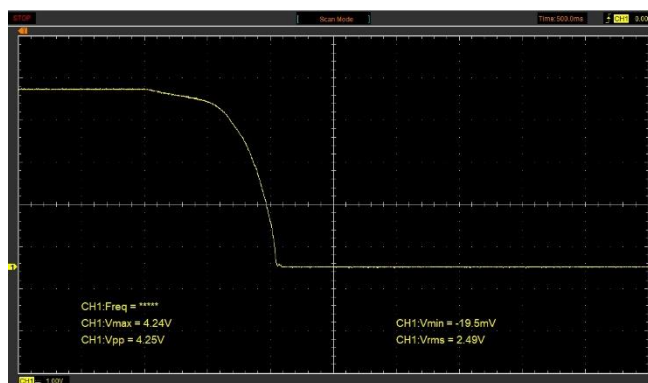


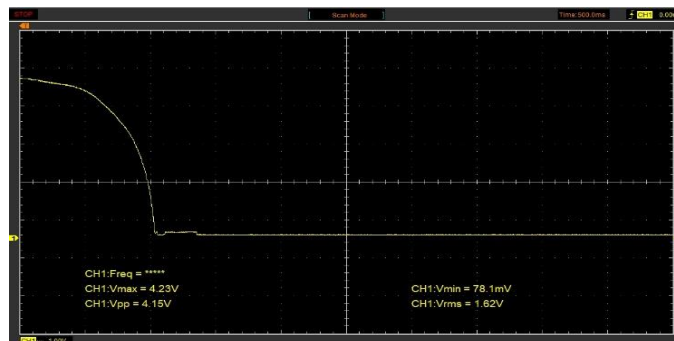
Tabla 25

Valores de voltaje sensor IAT

Voltaje máximo	Voltaje mínimo	Voltaje RMS	Voltaje pico-pico
Vmax	Vmín	Vrms	Vpp
4.24V	19.5mV	2.49V	4.25V

Señal ECT

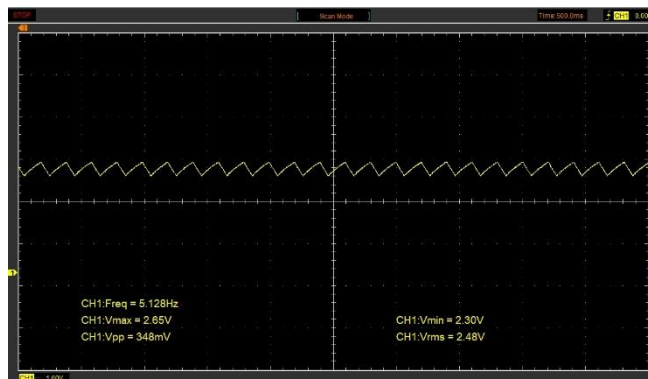
El ajuste de la señal emulada del sensor de temperatura ECT se lo realiza mediante la perilla ubicada en el panel de control del banco, al conectar el osciloscopio en los terminales correspondientes, se observa los valores de operación característicos del sensor ECT emulado.

Figura 87*Señal simulada sensor ECT***Tabla 26***Valores de voltaje sensor ECT*

Voltaje máximo	Voltaje mínimo	Voltaje RMS	Voltaje pico-pico
Vmax	Vmín	Vrms	Vpp
4.23V	78.1mV	1.62V	4.15V

Señal EGO1

Considerando que la emulación de la señal del sensor EGO proviene de la utilización de un circuito integrado y su funcionamiento se encuentra condicionado por la variación de la perilla de ajuste del sensor, la señal se verifica por medio del osciloscopio para observar sus valores de operación característicos.

Figura 88*Señal simulada sensor EGO1***Tabla 27***Valores de voltaje y frecuencia sensor EGO1*

Voltaje máximo	Voltaje mínimo	Voltaje RMS	Voltaje pico-pico	Frecuencia
Vmax	Vmín	Vrms	Vpp	
2.65V	2.30mV	2.48V	348mV	5.128 Hz

Señal EGO2

La señal emulada del sensor EGO de banda ancha proviene de la configuración en el programa de gestión de la ECU por lo que para verificar sus valores de operación característicos se conecta el osciloscopio en los terminales correspondientes y se modifica su señal por medio de la perilla de ajuste de este sensor ubicada en el panel de control.

Figura 89

Señal simulada sensor EGO2

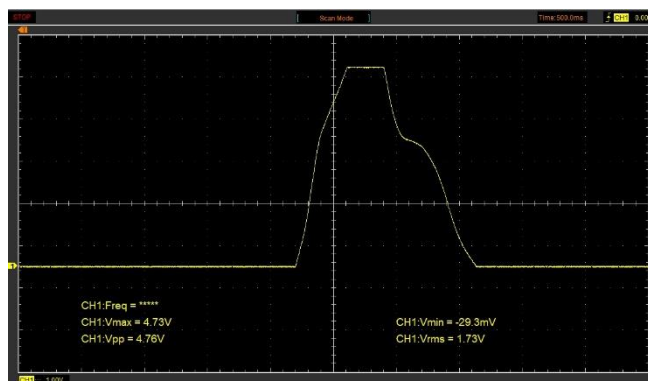


Tabla 28

Valores de voltaje sensor EGO2

Voltaje máximo	Voltaje mínimo	Voltaje RMS	Voltaje pico-pico
Vmax	Vmín	Vrms	Vpp
4.73V	29.3mV	1.73V	4.76V

Pruebas en la bobina de encendido

En la bobina de encendido se busca verificar el valor de corriente en relación al tiempo de carga para lo cual se establecen valores mediante el software de gestión Tuner Studio. El equipo necesario es el osciloscopio junto con la pinza amperimétrica para la medición de la señal del circuito primario y el atenuador para la señal proveniente del circuito secundario de la bobina de encendido.

Figura 90

Mediciones en la bobina de encendido

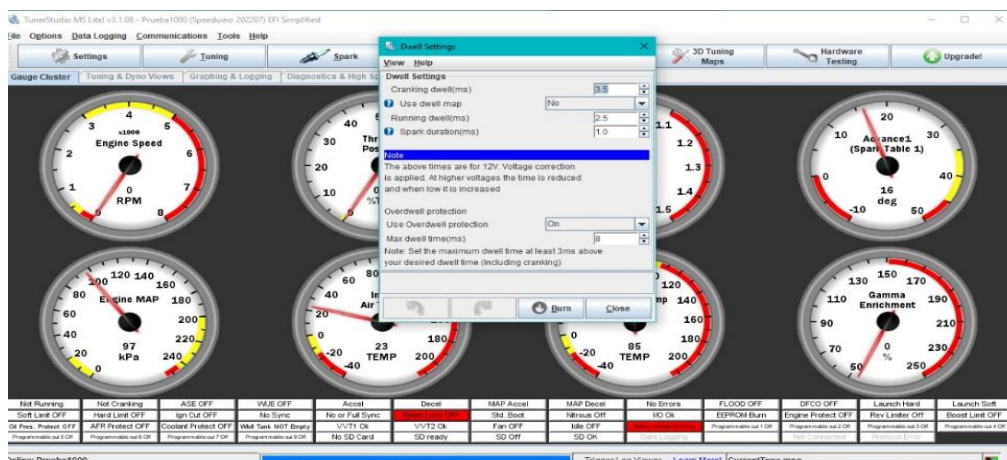


Medición de la corriente según el tiempo de carga

Establecer el tiempo de carga correcto es importante para evitar una sobrecarga y posible quemado de la bobina, por lo tanto, se verifican los valores provenientes del Arduino Mega por medio del osciloscopio conectado en su canal 1 para medir junto con la pinza amperimétrica conectada al cable de alimentación de la bobina. Para el caso se establece el tiempo de carga de la bobina de encendido en un rango de 3.5 a 2.5 milisegundos.

Figura 91

Ajuste del tiempo de carga de la bobina

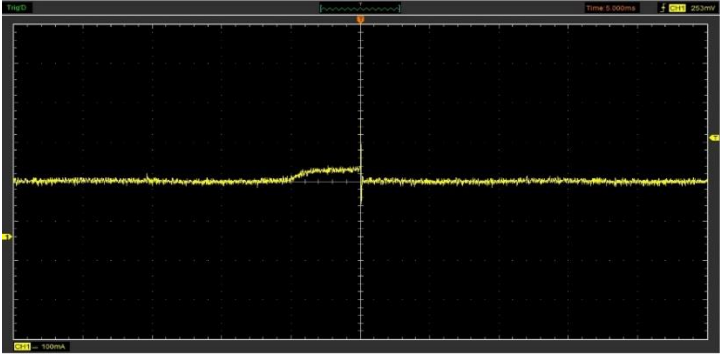
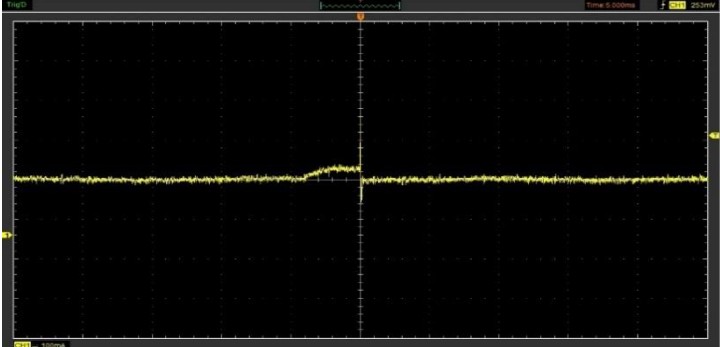


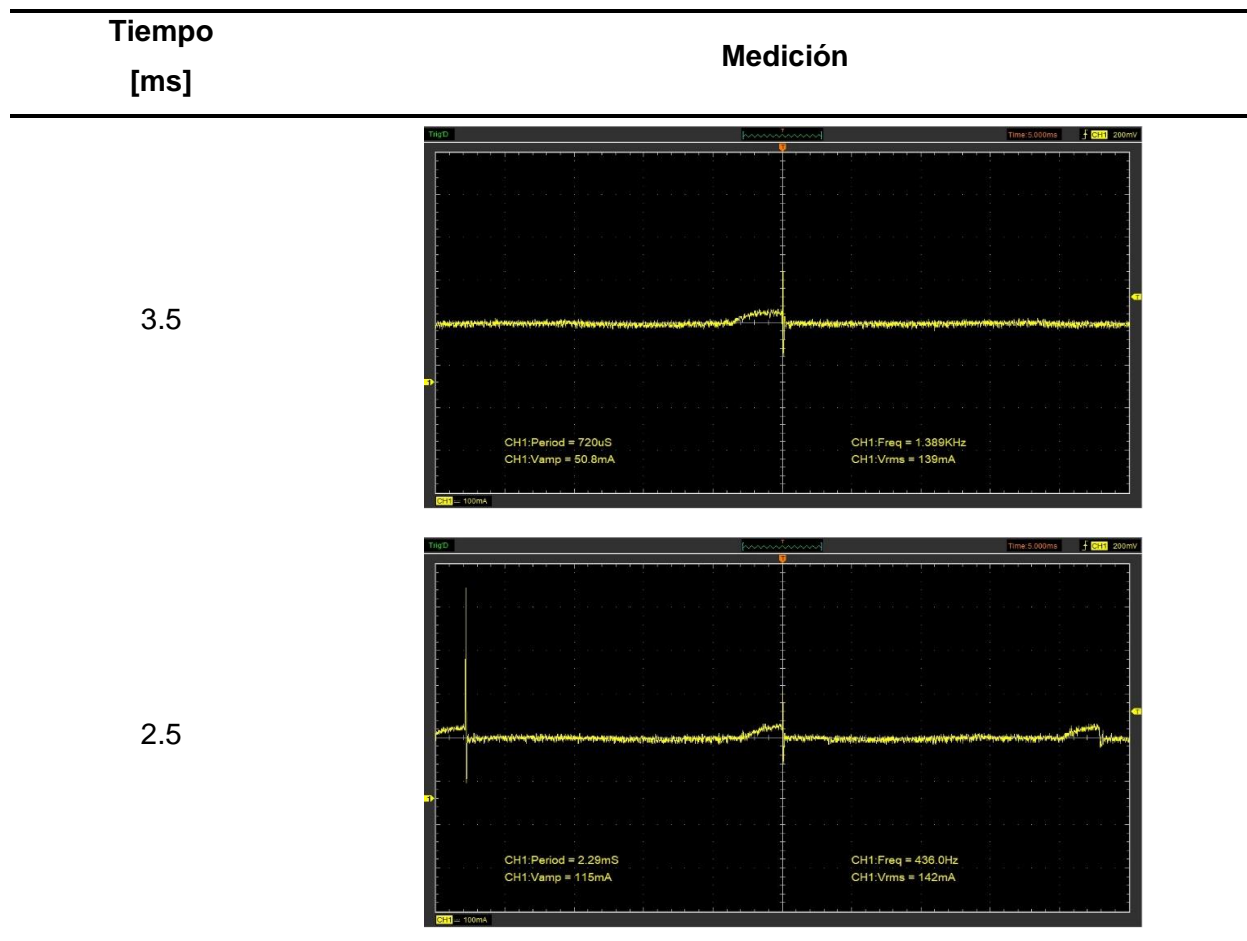
Adicionalmente es importante configurar en el software Tuner Studio la velocidad del motor en rpm para establecer como parámetro el régimen de giro y así verificar que las tomas de corriente obtenidas según el tiempo de carga se establezcan antes del arranque o después de este evento.

Es importante mencionar que conforme se aumenta el régimen de giro el tiempo de carga disminuirá. Para el caso, a 600 rpm el tiempo de carga será de 3.5 milisegundos, mientras que conforme se aumenten las revoluciones del motor el tiempo de carga se establecerá en 2.5 milisegundos.

Tabla 29

Corriente de la bobina de encendido en función del tiempo de carga

Tiempo [ms]	Medición
5	
4	



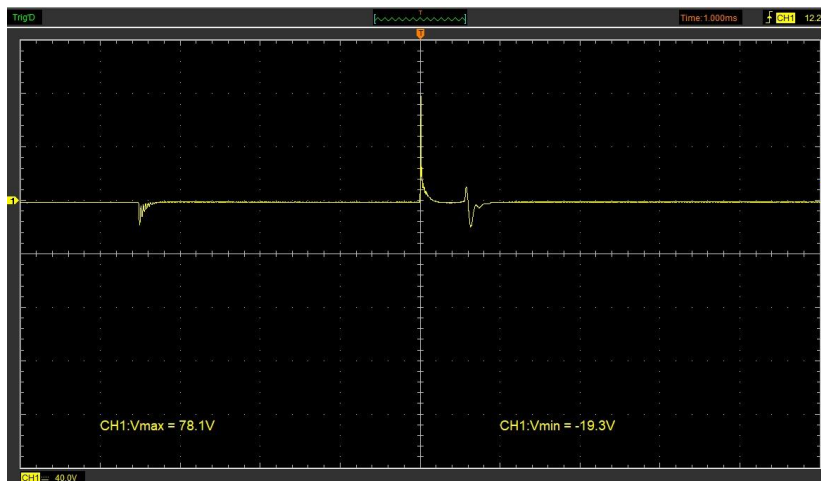
Mediciones en el circuito primario

Para medir la señal del circuito primario de la bobina de encendido se utiliza una punta o aguja de osciloscopio ubicada de forma punzante en dicho circuito de la bobina. Por lo que se obtiene su curva característica dependiendo de las revoluciones del motor.

Considerando que los 600 rpm es el punto donde sucede el arranque, se mide la señal del circuito primario en un régimen de giro menor, para el caso es el valor es de 580 rpm.

Figura 92

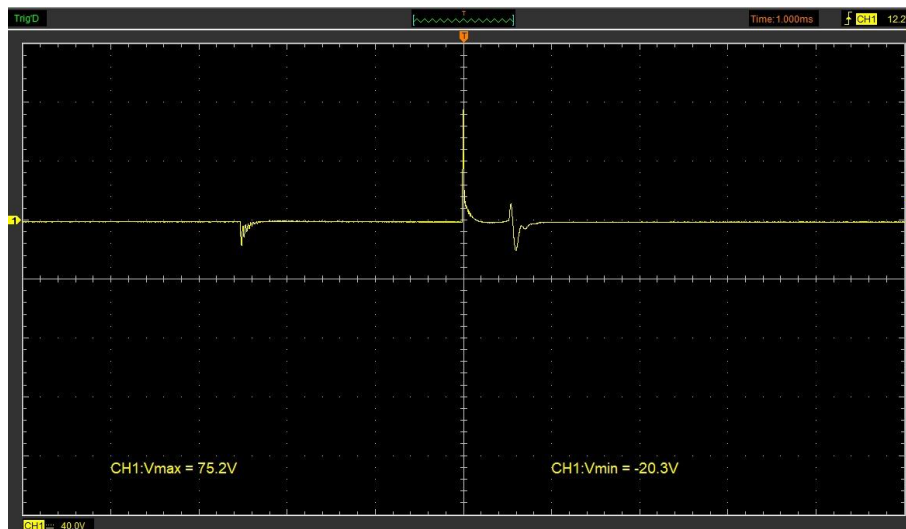
Señal del circuito primario de la bobina de encendido a 580 rpm



La siguiente medición se realiza aumentando el régimen de giro del motor para obtener la curva característica del circuito primario pasado el arranque, para el caso el valor de las revoluciones del motor es de 830 rpm.

Figura 93

Señal del circuito primario de la bobina de encendido a 830 rpm



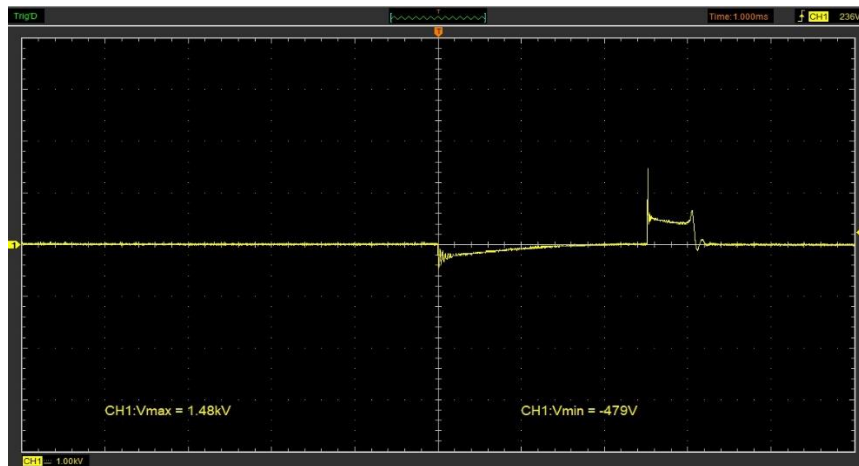
Mediciones en el circuito secundario

La señal del circuito secundario de la bobina de encendido se mide al conectar un osciloscopio haciendo uso del atenuador ubicado en un cable de salida de la bobina hacia las bujías, y conectando un cable de masa por medio de un puente con el osciloscopio.

Para las mediciones se considera el régimen de giro del motor, teniendo en cuenta el valor de rpm establecido como el inicio del arranque. Por lo que la primera medición de la señal del circuito secundario se realiza considerando un régimen de giro inferior de 500 rpm que sucede antes de suceder el arranque.

Figura 94

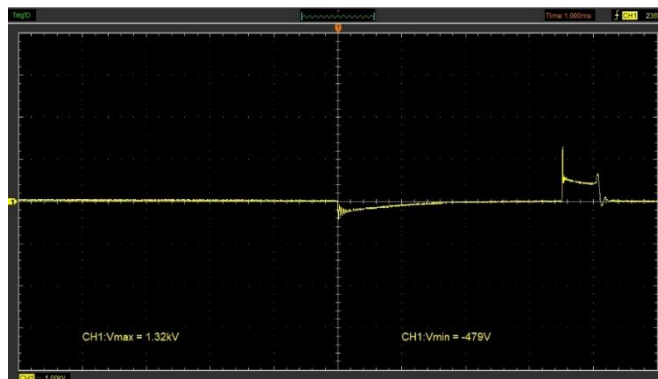
Señal del circuito secundario de la bobina de encendido a 500 rpm



La siguiente medición ocurre después del arranque por lo que se considera un valor de régimen de giro de 850 rpm para obtener la señal.

Figura 95

Señal del circuito secundario de la bobina de encendido a 850 rpm

**Señal obtenida de los inyectores**

Al obtener la curva característica de los inyectores se verifica el correcto funcionamiento de cada uno de ellos en el banco de pruebas, por lo que se conecta el osciloscopio con los cables de alimentación y masa del inyector a medir. De igual manera, se toma en cuenta el régimen de giro del motor, para el caso se realizan dos mediciones para comparar el funcionamiento de cada inyector en cuanto a la inyección de combustible, la primera en ralentí (1000 rpm) y la segunda en 4000 rpm.

Figura 96

Señal del inyector a 1000 rpm

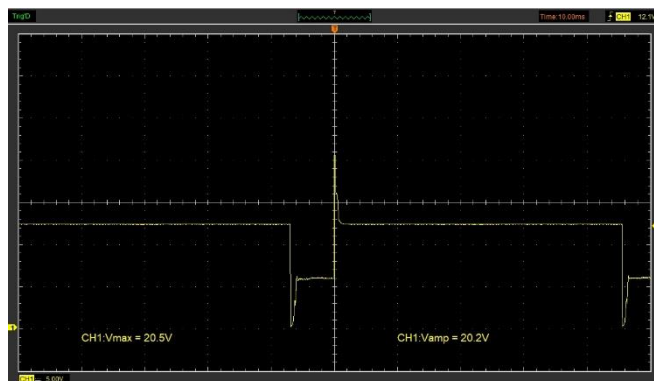
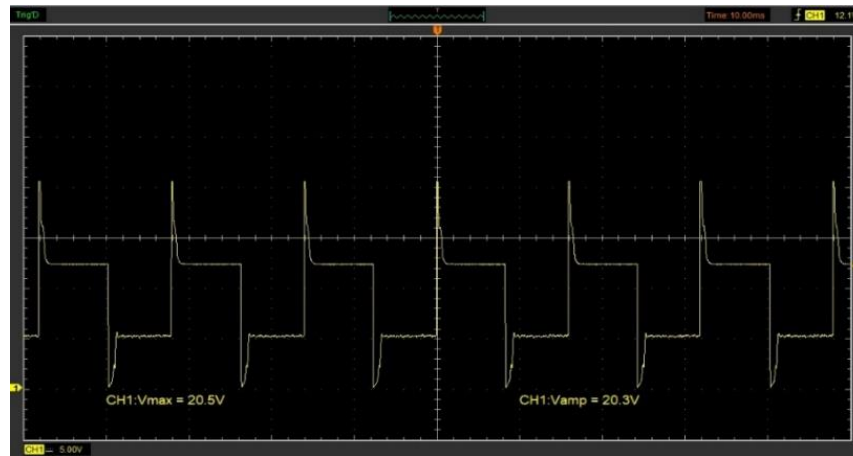


Figura 97

Señal del inyector a 4000 rpm



Análisis de mapas tridimensionales

Para realizar el mapeo de la placa de pruebas Speeduino se han realizado 2 programaciones a los mapas base generados en el capítulo 3. Dependiendo de la configuración del mapa variara la dosificación de combustible y el grado de avance o retardo al encendido, esto se puede ver reflejado en la señal captada por el osciloscopio para ello se han desarrollado pruebas a baja, mediana y alta carga, los resultados se muestran a continuación.

Mapa de inyección

En el proceso de ajuste y afinación del mapa de VE es primordial monitorear el sensor de oxígeno que este a disposición para calibrar una relación aire combustible conveniente en cada zona del mismo. En este caso se ha realizado una primera prueba del mapa base para comprobar el pulso de inyección que recibe el inyector.

Figura 98

Mapa tridimensional base comprobando el pulso de inyección

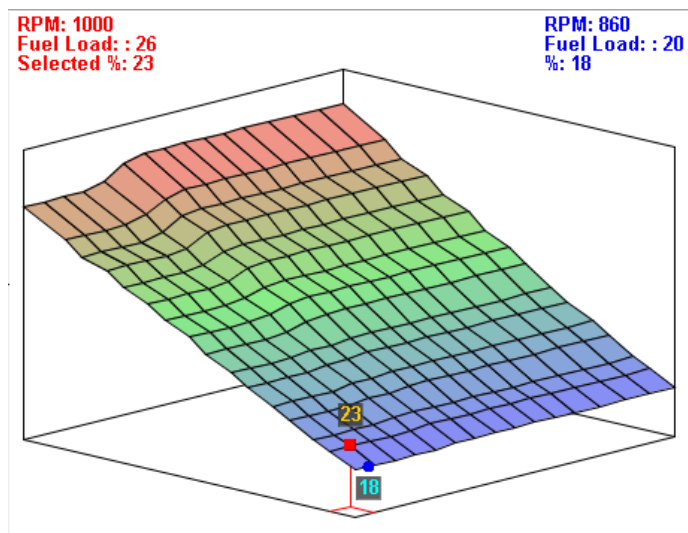


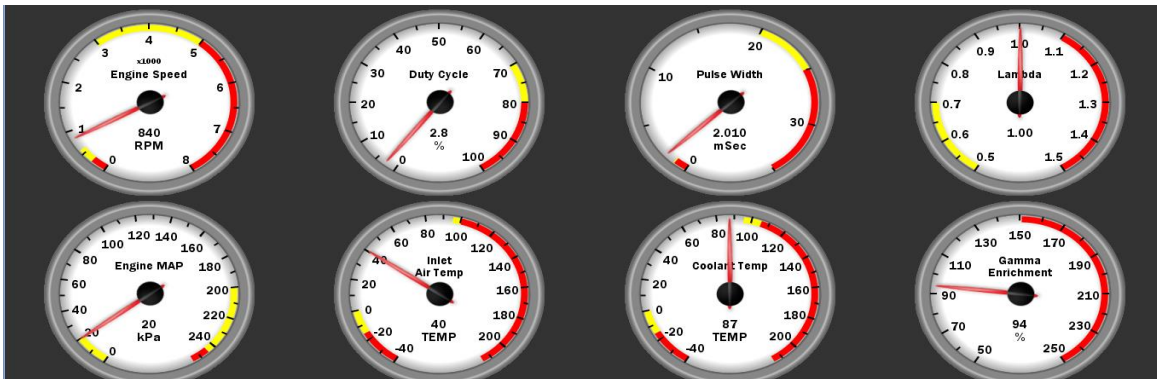
Tabla 30

Valores de VE en función de las RPM, PW y carga aplicada

Régimen de giro	Ancho de pulso	Carga aplicada	Eficiencia volumétrica
850 rpm	2.010 ms	20 kPa	19 %
3000 rpm	3.590 ms	50 kPa	46 %
5500 rpm	6.164 ms	74 kPa	71 %
6500 rpm	7.868 ms	94 kPa	92 %

Figura 99

Valores de los parámetros de funcionamiento del motor y sensores



Como se puede observar en los resultados se han establecido zonas estratégicas para la toma de datos como son: ralentí, torque máximo, potencia máxima, corte al encendido. Cuando las revoluciones y carga del motor van en aumento el mapa de inyección hace que la centralita envíe mayor cantidad de combustible hacia los inyectores, a partir de la zona de torque máximo a 3000 rpm la cantidad de combustible debe ir en aumento hasta 5500 rpm en donde se encuentra la máxima potencia para este motor.

En este tipo de motor el valor que se debe tener en régimen de ralentí debe estar entre 2.5 ms y 3.5 ms porque se hace un incremento en esta zona con el fin de satisfacer la mezcla pobre, para lo cual se ha activado la opción para multiplicar el mapa de VE por el objetivo AFR.

Con la ayuda de la señal de la Wideband, se encontró un valor 1.5 para que el pulso de inyección llegue al valor deseado.

Para la zona de cruce y alta carga se ha configurado un nuevo reloj en Tuner Studio para poder observar el valor de ciclo de trabajo que el inyector recibe desde el programa obteniendo lo siguiente.

Tabla 31

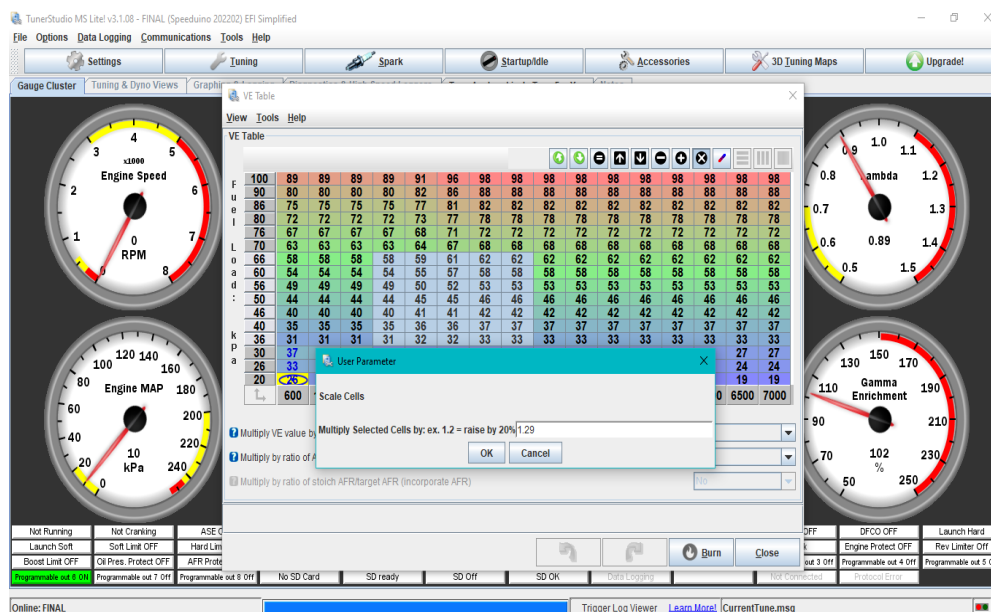
Valores del ciclo de trabajo del inyector según las RPM

Carga aplicada	Duty Cycle
3008 RPM	18.1 %
5512 RPM	59.3 %

A partir de estos valores se decide aumentar el ciclo de trabajo del inyector a un 25% en la zona de 3008 RPM y limitar a un 50 % para la zona de máxima potencia. De igual forma que se realizó para el ralentí se procede a encontrar el valor deseado con la ayuda de la Wideband.

Figura 102

Aumento del ciclo de trabajo del inyector

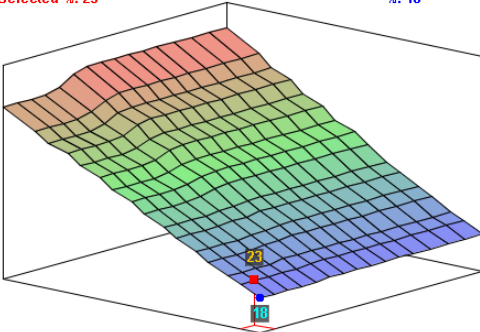
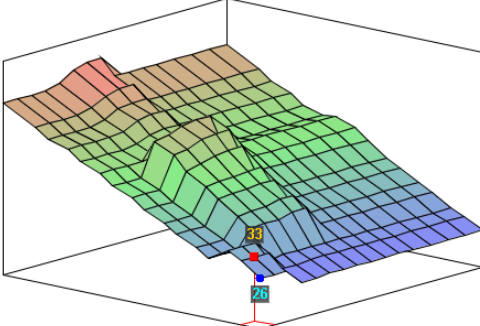


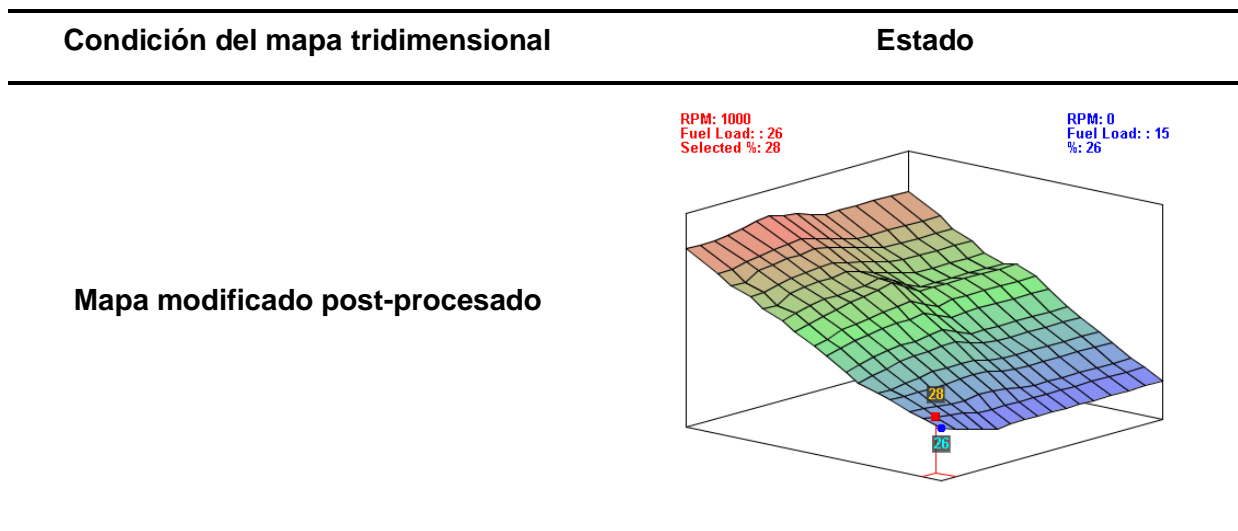
Se identifico un valor de 1.29 en donde el ciclo de trabajo del inyector llega a 24% una vez que se pasa el mapa hace una corrección inversa y disminuye el ciclo de trabajo. Para la zona de alta carga se encontró el valor de 0.89 en donde el ciclo de trabajo toma un valor de 50.9% de igual forma después de este limite el mapa corrige a un valor inferior al deseado.

Con la ayuda de la herramienta de linealización que posee el programa se ha realizado una suavización del mapa para que no se presenten cambios bruscos a partir del mapa modificado anteriormente.

Tabla 32

Proceso de suavización del mapa tridimensional con herramienta de linealización

Condición del mapa tridimensional	Estado
Mapa base	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="color: red; font-size: small;">RPM: 1000 Fuel Load: : 26 Selected %: 23</div> <div style="color: blue; font-size: small;">RPM: 0 Fuel Load: : 15 %: 18</div> </div> 
Mapa modificado	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="color: red; font-size: small;">RPM: 1000 Fuel Load: : 26 Selected %: 33</div> <div style="color: blue; font-size: small;">RPM: 0 Fuel Load: : 15 %: 26</div> </div> 



Mapa de encendido

Para el mapa de encendido en la zona de ralentí el motor debe tener un aproximado de 10 grados de avance, que es el punto en donde la mezcla se debe quemar por completo para este motor. Por otra parte, en las zonas de crucero y mediana carga este valor va a incrementar de acuerdo a los valores que se configuraron.

Cabe indicar que a una alta carga el motor recibe mayor entrada de aire y combustible lo que acelera el proceso de combustión de la mezcla, es decir que en ese punto el encendido se debe retrasar para evitar que se generen fuerzas en contra del sentido de giro del motor afectando al desempeño del mismo y de sus componentes internos.

En este punto lo más recomendable es realizar un afinamiento con el sensor de golpeteo del motor y ubicar el mejor avance de acuerdo al mapa de encendido, con ello se evitará tener el denominado picado de biela y un rendimiento térmico bajo en el motor producto de un avance retrasado que provoca un recalentamiento en todo el sistema de escape.

Figura 103

Valores de avance de encendido en función de las RPM

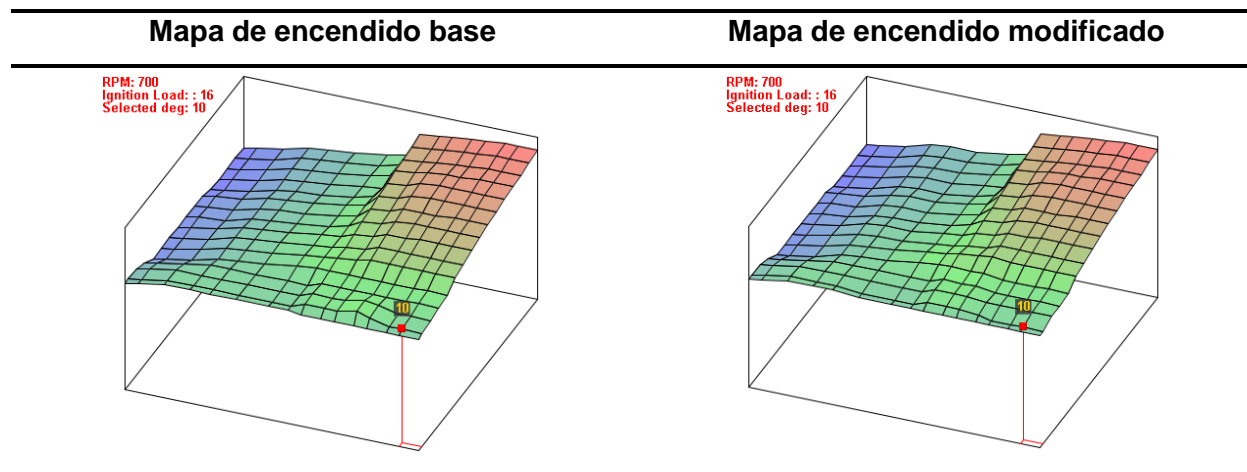
	500	700	1200	1700	2200	2700	3200	3700	4200	4700	5200	5700	6200	6700	7200	7700
100	7	7	7	5	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0
96	8	8	8	6	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1
88	10	10	10	8	5	5	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3
80	10	10	10	10	8	8	8	8	7	7	7	6	6	6	6	6
74	10	10	10	10	9	9	9	9	8	8	8	7	7	7	7	7
66	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	8	8	8	8	8
56	10	10	10	10	12	12	12	12	11	11	11	10	10	10	10	10
50	10	10	10	10	13	13	13	13	13	13	13	12	11	12	12	12
46	9	12	12	12	13	14	14	15	16	17	18	19	20	20	21	22
40	9	12	12	12	13	15	15	16	17	18	19	20	21	21	22	23
36	9	12	12	12	13	16	17	18	19	20	21	22	22	22	23	24
30	9	14	14	12	13	16	17	18	20	20	22	23	23	23	24	25
26	9	12	13	12	13	16	17	19	20	20	22	23	23	23	24	25
20	9	10	11	12	13	16	17	19	20	21	22	23	24	24	25	26
16	9	10	11	12	13	16	17	19	20	21	22	23	24	24	25	26
10	9	10	11	12	13	16	17	19	20	21	22	23	24	24	25	26

En este caso se puede observar una distribución del mapa base que es muy conservadora con el motor, a este punto se ajustarán los tiempos de avance en ralentí, zona de cruce, y alta carga en pequeños incrementos.

Para la zona de ralentí se hace un incremento de 1 grado, con el fin de establecer el punto de encendido que recomienda el manual de fabricante. Para la zona de cruce y alta carga únicamente se hace el incremento en 1 grado con el fin de preservar la tendencia en zonas críticas del mapa debido a que este ajuste se debe realizar con un sensor de picado de biela en un banco especializado. Debido a estas limitaciones no se podrán hacer mayores modificaciones en este mapa puesto que resulta un proceso delicado en la reprogramación de un vehículo por lo cual se muestran los resultados para ambos mapas de encendido.

Tabla 33

Evolución del mapa tridimensional de encendido base respecto con el modificado



Se debe resaltar que esta tendencia del mapa es para unas condiciones ideales en donde la densidad del aire es mayor que a condiciones de altura por arriba del nivel del mar, debido a que los mapas a otras condiciones suelen tener ángulos de avance más agresivos para compensar esa pérdida de velocidad en la combustión de la mezcla.

Salidas para inyectores y bobina

A continuación, se exponen los resultados para cada actuador aplicando cada mapa de inyección y encendido mediante el uso del osciloscopio HANTEK 1008C, cabe indicar que para llevar a cabo estas pruebas los sistemas disponibles en el banco se han hecho por separado con el fin de evitar filtraciones de señales parasitas propias de la bobina e inyectores.

Por otra parte, se tiene en cuenta las condiciones descritas para la creación del mapa base los cuales se muestran en la siguiente tabla.

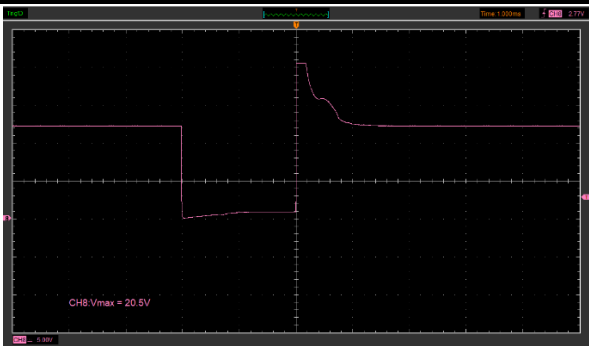
Tabla 34

Condiciones iniciales para la realización de las pruebas con osciloscopio

Parámetro	Valor
Temperatura de aire	40°C (313 K)
Temperatura de refrigerante	85°C (358 K)
Presión atmosférica	100 kPa
Densidad del aire	1.225 kg/m ³
Constante ideal del aire	0.28705 kPa m ³ /kgK
Voltaje fuente	12.80V

Tabla 35

Gráficas del pulso de inyección del inyector utilizando el mapa VE base

Revoluciones [rpm]	Carga [kPa]	Pulso de inyección [ms]	Gráfico
850	20 kPa	2.010	

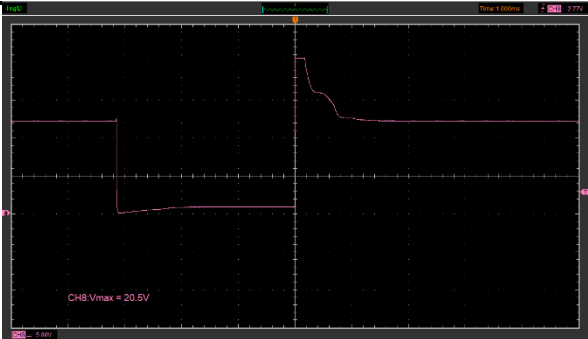
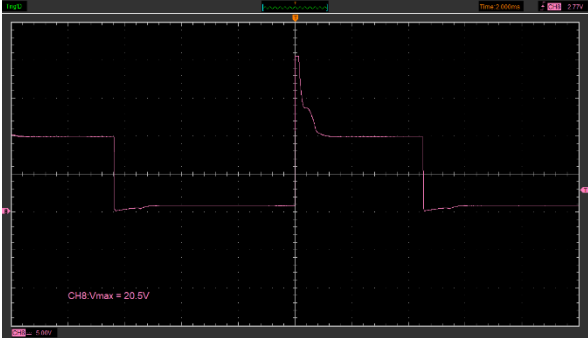
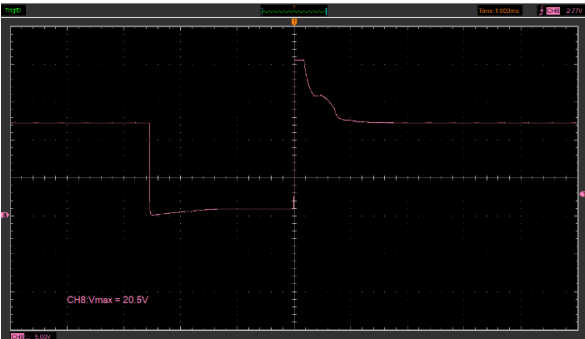
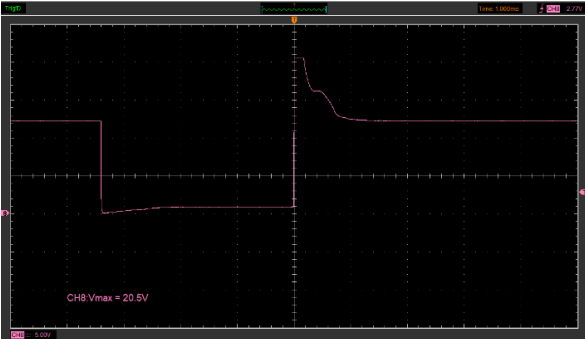
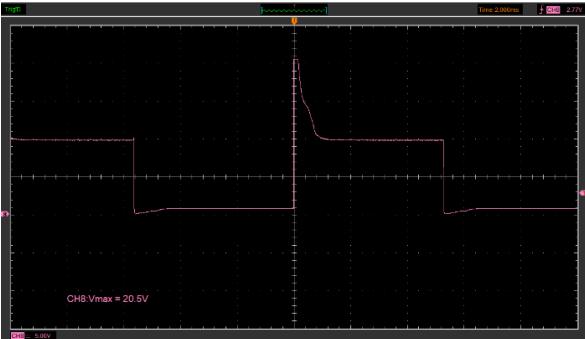
Revoluciones [rpm]	Carga [kPa]	Pulso de inyección [ms]	Gráfico
3000	50 kPa	3.830	
5500	75 kPa	6.164	

Tabla 36

Gráficas del pulso de inyección del inyector utilizando el mapa VE modificado

Revoluciones [rpm]	Carga [kPa]	Pulso de inyección [ms]	Gráfico
850	20 kPa	2.537	

Revoluciones [rpm]	Carga [kPa]	Pulso de inyección [ms]	Gráfico
3000	50 kPa	4.283	
5500	75 kPa	5.635	

En el caso del inyector como se ha mencionado se realizaron correcciones en las zonas de ralentí, crucero y alta carga, en el mapa base se pudo observar que la señal que enviaba Tuner Studio era de 2.010 ms los cuales no eran suficientes según el fabricante pues el valor adecuado debe estar por encima de 2.5 ms, para la zona de torque máximo el valor en el mapa base es de 3.830 ms y en el mapa modificado es de 4.283 ms al régimen de 3000 RPM, lo que en teoría debería traducirse en un aumento de torque para el motor puesto que en este punto se trata de establecer un ciclo de trabajo entre 18 y 25%, para la zona de máxima potencia se observa una reducción en el pulso del inyector esto se debe a que se ha limitado el ciclo de trabajo del inyector en un 50% para no sobrepasar los límites sin embargo en una situación más realista conviene dejar un valor constante del valor del pulso de inyección ya que ese

combustible extra ayuda a que la zona de escape del motor se recaliente y cause serios daños al mismo.

Tabla 37

Graficas variando los grados de avance utilizando el mapa de encendido base

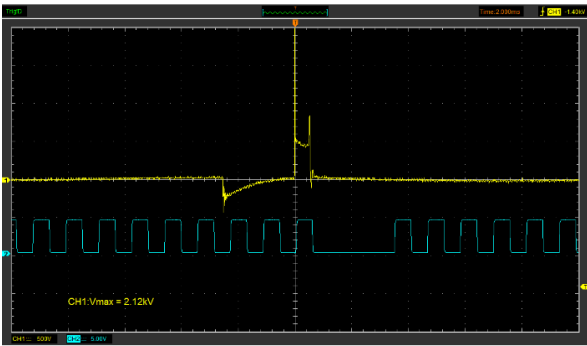
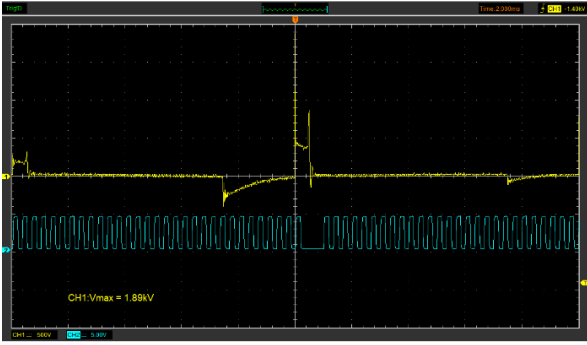
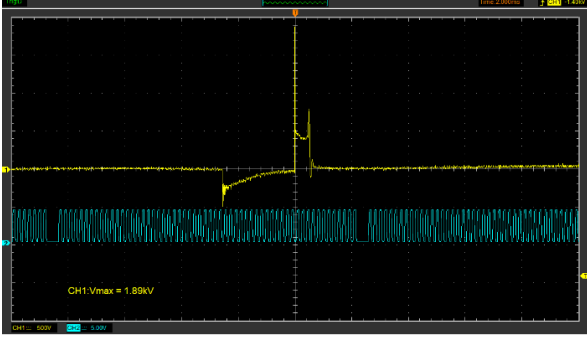
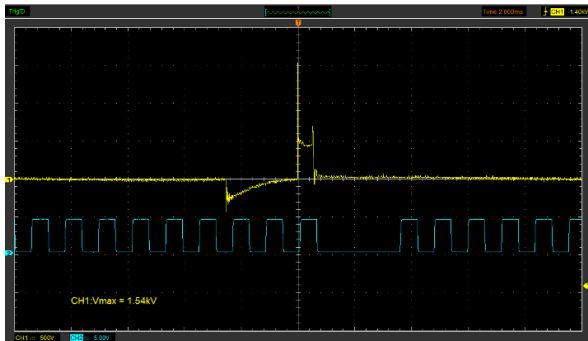
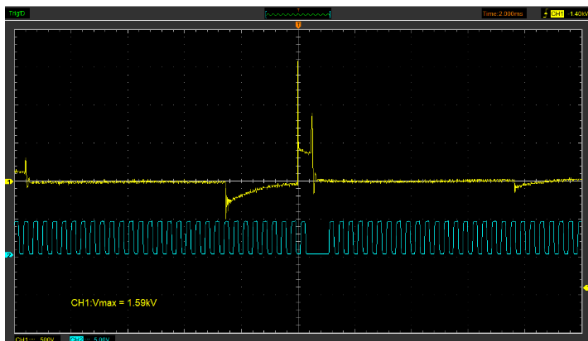
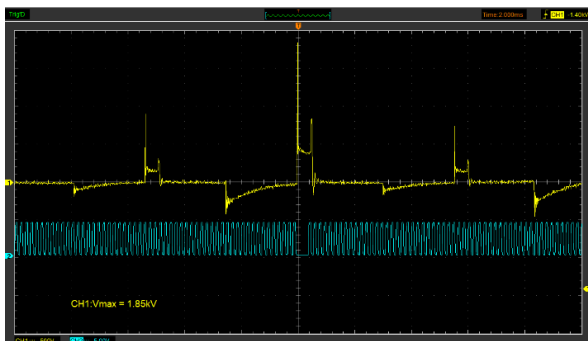
Revoluciones [rpm]	Carga [kPa]	Avance [grados]	Gráfico
850	20 kPa	10	
3000	50 kPa	13	
5500	75 kPa	6	

Tabla 38

Gráficas variando los grados de avance utilizando el mapa de encendido modificado

Revoluciones [rpm]	Carga [kPa]	Avance [grados]	Gráfico
850	20 kPa	10	
3000	50 kPa	12	
5500	75 kPa	7	

Como se puede visualizar en el mapa de encendido existe una leve diferencia entre ambos mapas empezando desde un valor de 10° para ralentí que es lo que recomienda el fabricante a partir de 850 RPM en donde se encuentra establecido, a 3000 RPM se puede

observar un adelanto de 13 grados para el mapa base y 12 para el mapa modificado esto es un parámetro que puede mejorar sin embargo se ha tratado de mantener valores cercanos al mapa base puesto que resulta complejo poder calibrar el mapa sin tener como referencia el sensor de picado de biela del motor, sin embargo se demuestra el cálculo que realiza cada mapa de acuerdo a los valores establecidos en banco de pruebas, a alta carga como se puede evidenciar para esta bobina empieza a tener problemas con la carga del embobinado primario eso hace que se permita observar pequeños saltos de chispa entre un pulso y otro, esto se debe principalmente a las características técnicas para esta bobina puesto que al no estar preparada para una alta exigencia tiende a tener problemas al momento del salto chispa.

Capítulo V

Marco administrativo

Presupuesto y financiamiento

Para el desarrollo del proyecto de investigación de forma planificada y organizada, se analizan los recursos utilizados para verificar la viabilidad de la elaboración del banco de pruebas determinado.

Recursos humanos

Tabla 39

Recursos humanos

Orden	Descripción	Cantidad	Función
1.	Henry Rocha	1	Investigador
2.	Cristián Palacios	1	Investigador
3.	Ing. Erazo German	1	Colaborador Científico

Recursos materiales

Se detalla cada uno de los implementos necesarios y utilizados para la elaboración del proyecto de investigación.

Tabla 40

Recursos materiales

Orden	Componente	Cantidad	Costo Total
1	Madera MDF	1	\$25,00
2	Corte láser	1	\$30,00
3	Pintura de poliuretano	1	\$12,00
4	Pegamento líquido	1	\$10,00

Orden	Componente	Cantidad	Costo Total
5	Vinil blanco	1	\$10,00
6	Ángulo de platina	1	\$3,00
7	Arduino Mega	1	\$29,00
8	Arduino Uno	1	\$15,00
9	Tarjeta Speeduino 0.4.3	1	\$189,75
10	Potenciómetro	7	\$3,50
11	Terminales tipo banana	7	\$3,50
12	Cable de timbre	5	\$7,50
13	Cinta aislante	2	\$2,50
14	Diodos led	15	\$1,50
15	Interruptore 2P y 3P	3	\$1,00
16	Perilla de potenciómetro	7	\$1,50
17	Cable tipo jumper	40	\$4,50
18	Fabricación placas PCB	4	\$20,00
19	Bobina chispa pérdida	1	\$35,00
20	Bujía	4	\$10,00
21	Inyector	4	\$120,00
22	Bomba de combustible	1	\$20,00
23	Cable de alta tensión	4	\$15,00
24	Conector original	6	\$30,00
25	Flauta de inyección	1	\$30,00
26	Manguera de combustible	1	\$1,00
27	Gastos extras	-	\$100,00
Total			\$726,25

Recursos tecnológicos

Los siguientes ítems corresponden a los recursos tecnológicos utilizados para la elaboración del proyecto de investigación.

Tabla 41*Recursos tecnológicos*

Orden	Detalle	Cantidad	Costo
1.	Software de ECU programable	1	\$0
2.	Curso de manejo Software y programación	1	\$20,00
3.	Herramientas de medición	1	\$15,00
4.	Software osciloscopio Hantek 1008C	1	\$0
5.	Firmware de Speeduino	1	\$0
Total			\$35,00

Costo neto del proyecto

El costo total del proyecto de investigación denominado “**Diseño de un emulador de señales para realizar el ajuste y modificación de mapas tridimensionales de inyección y encendido de computadores programables automotrices**”, es la suma de los totales de cada recurso mencionado previamente incluido el costo por concepto de movilidad.

Tabla 42*Costo neto del proyecto*

Orden	Descripción	Costo Total
1	Recursos materiales	\$726,25
2	Recursos tecnológicos	\$35,00
3	Movilidad	\$50,00
Total		\$811,25

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- La presente investigación se ha concluido con los resultados esperados, diseñando un banco de pruebas para el ajuste de mapas tridimensionales de computadores programables automotrices mediante la simulación de señales fundamentales que permite el uso del mismo en diferentes computadores similares, en el ajuste y modificación de señales en sistemas de inyección y encendido automotrices.
- Dentro de los parámetros a considerar en el ajuste de mapas tridimensionales es la generación de señales fundamentales del vehículo como: CKP, MAP, ECT, TPS, IAT, EGO, permitiendo que el Software Tuner Studio interprete toda la entrada de datos a la ECU en una situación realista.
- En la selección de la ECU programable se ha tenido en cuenta las necesidades como usuarios, así como la disponibilidad, empezando desde la importación de los elementos electrónicos hasta el ensamble de la ECU al 100% disminuyendo notablemente el costo de la ECU programable en comparación a otras marcas.
- Mediante el uso del programa LiveWire y Proteus se ha diseñado cada circuito del emulador de señales automotrices que permite la entrada de datos para una ECU Programable y que permite modificar la señal en tiempo real únicamente con el uso de resistores variables.
- En la construcción del banco de pruebas se ha hecho uso del diseño asistido por computador para el dimensionamiento del banco de pruebas, obteniendo un modelado en 3D y 2D que han permitido la fabricación de cada panel de manera exacta mediante el corte por láser.

- A través de una metodología de cálculo basado en el objetivo AFR que se debe obtener para cada zona del mapa tridimensional se establece una base cálculo realizado en el programa Excel que permite obtener un mapa lineal base como punto de partida para el ajuste posterior del mismo.
- Mediante el programa Tuner Studio se han desarrollado diferentes mapas de inyección y encendido para el motor del vehículo Chevrolet Aveo 1.5L, considerando condiciones reales de trabajo, así como los parámetros característicos del motor como la cilindrada, número de cilindros y el caudal de los inyectores.
- Mediante el uso del osciloscopio HANTEK 1008C se han realizado pruebas medibles para cada mapa de inyección y encendido variando el régimen de giro del motor, así como la carga en ese momento, utilizando el algoritmo de la señal del sensor MAP que provee el banco de pruebas.
- Para complementar la investigación sobre la ECU programable de Speeduino se realizó un manual de funciones sobre la operabilidad de esta placa de pruebas, así como del banco de pruebas detallando el ajuste que debe tener cada señal, las funciones disponibles, puertos de entrada, puertos de salida, y las características que envuelven al panel de control.

Recomendaciones

- Antes de realizar cualquier tipo de manipulación en el banco de pruebas es necesario leer la guía de uso en donde se detalla la operabilidad del banco de pruebas, así como las funciones que este posee, esto con el fin de evitar errores en la configuración de la placa programable.
- Para la simulación de las señales disponibles se recomienda mantener en OFF los alimentadores de los sistemas de inyección y encendido pues esto evitara que

empiecen a funcionar sin haber configurado de manera correcta cada señal en el programa Tuner Studio.

- La ECU de Speeduino hace uso del microcontrolador de un Arduino Mega para poder funcionar, debido a esto se pueden presentar problemas con el ruido electromagnético producido por el uso de bobinas e inyectores, que en caso de aparecer deben eliminarse con el uso de capacitores cerámicos conectados en paralelo con la fuente de 12V o en su defecto utilizando la opción para filtrar las señales en el propio Tuner Studio.
- Se recomienda utilizar los diferentes diagramas que se han presentado en la investigación para que en caso de existir modificaciones en algún circuito se tome en cuenta la distribución de pines con los que cuenta la ECU a fin de precautelar la integridad de la placa.
- Debido al diseño del banco de pruebas se recomienda usar únicamente inyectores de alta impedancia puesto que la salida de señal de la placa de Speeduino está conectada directamente a estos actuadores y si se pasa el límite de corriente que soportan los transistores Mosfet de la ECU pueden explotar estropeando por completo la ECU.
- Antes de realizar la modificación de cualquier mapa tridimensional es necesario revisar el manual de fabricante de cada sistema para tener datos realistas y tratar de ajustar el mapa lo más cercano a la realidad.
- Para el ajuste del mapa tridimensional se debe plantear las condiciones de trabajo del motor estos valores dependerán netamente de las necesidades que el usuario establezca a través del banco de pruebas.
- Para salvaguardar la integridad del osciloscopio es necesario usar atenuadores al momento de realizar mediciones en el sistema de encendido debido a que los picos de

voltaje producidos por el embobinado primario de la bobina pueden originar daños internos.

- Para una mayor durabilidad del banco de pruebas es necesario mantenerlo en lugares con buena ventilación y alejados de temperaturas altas para evitar el deterioro de componentes electrónicos y de sus actuadores.

Bibliografía

- Abello, L. (2008). *Memoria RAM*. Obtenido de Ryan Gulix:
http://ryan.gulix.cl/dw/_media/proyectos/taller-redes/ri-1_c_ram.pdf
- Aguayo, P. (2004). *Introducción al microcontrolador*. Obtenido de Olimex:
<http://files.itm201512.webnode.es/200000038-6e59e6f573/Microcontrolador.pdf>
- Álvarez, M. (2007). *Contadores lógicos*. España: Marcombo S.A.
- Amaya, S., & Villareal, A. (2017). *Investigación de la influencia del uso de software dedicado en la reprogramación en red para el mapeo de la ECU programable en el motor Peugeot 407*. Obtenido de Tesis de ingeniería, ESPE:
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/13797/T-ESPEL-MAI-0593.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Augeri, F. (2015). *Lectura de memorias - Check Sum*. Obtenido de CISE Electrónica:
http://www.cise.com/portal/index.php?option=com_k2&view=item&id=740:lectura-de-memorias-check-sum&Itemid=89
- Báez, M., & Mogro, F. (2008). *Diseño y construcción de un simulador de gestión electrónica para ECU de vehículos Peugeot*. Obtenido de Tesis de ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4263/1/T-ESPEL-0555.pdf>
- Banish, G. (2009). *Designing and tuning high-performance fuel injection systems*. North Branch: CarTech.
- Barreto, K., & Chilibingua, L. (2021). *Programación de ECU para optimización de combustión en motor G10 de acuerdo a la altura*. Obtenido de
<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4804/1/T-UIDE-0252.pdf>

- Beltrán, C. (2017). *Sensor CKP*. Obtenido de KUPDF: https://kupdf.net/download/sensor-ckp_59713cd8dc0d600243a88e7c_pdf
- Bosch. (2008). *Sistemas de inyección electrónica*. Obtenido de Manual para profesionales en electrónica automotriz: <https://www.mecanicoautomotriz.org/1925-manual-sistema-inyeccion-electronica-componentes-pruebas-alimentacion>
- Buitrón, B., & Narváez, D. (2018). *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*. Obtenido de Tesis de ingeniería, ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/14027>
- Cangás, L., & Yáñez, C. (2015). *Diseño e implementación de un módulo generador de señales y convertidor para probar el comportamiento de una ECU para el automóvil Chevrolet Aveo*. Obtenido de Tesis de ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10163/6/UPS%20-%20ST001793.pdf>
- Columba, B., & Columba, K. (2021). *Diagnóstico avanzado de computadoras automotrices por el método de trazado de imágenes*. Obtenido de Tesis de ingeniería, ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/25525>
- Corelc. (01 de Junio de 2021). *Speeduino*. Obtenido de <https://corelc.com.ar/speeduino/>
- Denso. (2013). *Catálogo para bujías*. Obtenido de https://0201.nccdn.net/4_2/000/000/038/2d3/DENSO-BUJIAS.pdf
- General Motors Corporation. (2011). *Aveo: Manual del propietario*. GM.
- Gómez, A. (2014). *Programación y borrado de una memoria EPROM*. Obtenido de CUPDF: <https://cupdf.com/document/memoria-eprom-56a681caf1916.html>

- Hidalgo, R. (2019). *Investigación del desempeño mecánico del motor de combustión interna del vehículo mazda 929 al implementar un sistema de inyección secuencial reprogramable modulada con RaceTec R1000*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión-Latacunga.
- Injetech Components. (2019). *Inyectores de combustible*. Obtenido de https://issuu.com/ciosaautopartes/docs/cat_logo_inyectores_2018-2019
- James, M. (2014). *MicroSquirt hardware manual*. Obtenido de Msextra: http://www.msextra.com/doc/pdf/html/Microsquirt_Hardware-3.3.pdf/Microsquirt_Hardware-3.3.html
- Jiménez, M., & Arregui, G. (2009). *Diseño e implementación de un sistema de generación de mensajes auditivos para ayudar a personas con discapacidad auditiva y del habla*. Obtenido de <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/182/1/38T00170.pdf>
- Lincango, L., & Ramírez, M. (2021). *Investigación del desempeño del motor G10 al implementar el sistema de admisión independiente con generación de turbulencia, sistema programable de inyección y encendido*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/26129/1/T-ESPEL-MAI-0719.pdf>
- Mena, L. (2019). *Compilador de ejercicios de motores de combustión interna diesel-gasolina*. Latacunga: ROS-TOB.
- Mendoza, J. (2010). *Desarrollo de una unidad de control electrónico (ECU) dedicada al gobierno de motores de combustión interna*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11337/PFC1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Montero, C., & Paguay, F. (2021). *Estudio e implementación de un sistema de inyección electrónica programable para el aumento del rendimiento y disminución de gases de escape contaminantes en un vehículo Suzuki forsa GA*. Obtenido de Tesis de ingeniería: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21080/1/UPS-CT009265.pdf>
- MOTEC. (2017). *PRODUCT CATALOGUE*. Obtenido de <https://www.moteclatinoamerica.com/motec/descargas/2017%20Motec%20product%20Catalogue.pdf>
- Navas, L., & Sánchez, Á. (2016). *Implementación y optimización de un sistema de inyección electrónica programable para el motor del vehículo fórmula SAE de la carrera de Ingeniería Automotriz ESPOCH*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5858/1/65T00199.pdf>
- Penagos, N. (2018). *Microcontroladores Microchip, atmel, NXP-freescale y texas instruments. Pasos para programación con éxito*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Pérez, A. (2007). *Sistema de control, inyección y encendido, para motores térmicos y alternativos de ciclo Otto basado en programación abierta bajo LabVIEW*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4329/Memoria.pdf>
- Pérez, A., & Sellan, A. (2021). *Diseño e implementación de un módulo didáctico de pruebas para un sistema de inyección automotriz utilizando un autómeta programable S7-1200*. Obtenido de Tesis de ingeniería, UPS: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20511/1/UPS-GT003280.pdf>
- Pérez, D. (2017). Evolución de los dispositivos electrónicos en un automóvil. *Revista INNOVA*, 1-7.

Pozo, M., & Puentestar, O. (2014). *Implementación de un sistema de inyección programable en un vehículo chevrolet corsa wind 1.4 para competencias de rally*. Obtenido de Tesis de ingeniería:

<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4140/1/05%20FECYT%202054%20TESIS.pdf>

Pumarica, D., & Tonato, M. (2018). *Investigación para elevar los parámetros de desempeño del motor de combustión interna t18sed I4 dohc 1.8l a través de la Reprogramación electrónica mediante la conexión en paralelo de una ECU programable*. Obtenido de Tesis de ingeniería, ESPE: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14026/1/T-ESPEL-MAI-0616.pdf>

Puskár, M., Kopas, M., Puskár, D., & Lumnitzer, J. (2019). Innovation of fuel maps and pre-ignition maps of experimental vehicle as a part of development for control algorithm of the HCCI Engine. *Acta Mechanica Slovaca*, 36-42.

Rodríguez, J. (2019). *Análisis electrónico de una unidad de control de motor (ECU) Ford-WV tipo EEC-IV*. Obtenido de <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/1079/920>

Sanchez, J., & Taípe, R. (2018). *Investigación de los parámetros de funcionamiento del sistema de inyección de combustible de los vehículos Hyundai para desarrollar la construcción de un banco de pruebas de verificación de ECU's*. Obtenido de Tesis de ingeniería, ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14152/1/T-ESPEL-MAI-0626.pdf>

Semanate, D. (2016). *Reprogramación de la unidad de control electrónica del vehículo Honda civic si, para mejorar los parámetros característicos del motor de combustión interna serie d16a9*. Obtenido de Tesis de ingeniería, ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12408/1/T-ESPEL-MAI-0546.pdf>

Silva, H., Pasuy, Á., & Recalde, A. (2018). *Estudio comparativo del voltaje del bobina secundario en función de la chispa*. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2494/3/T-UIDE-1886.pdf>

Speeduino. (2019). *Características de Speeduino*. Obtenido de <https://speeduino.com/home/about/overview>

Speeduino wiki. (2020). *Manual de operación y conexión de la placa Speeduino*. Obtenido de https://wiki.speeduino.com/en/wiring/Injector_wiring

Tinizaray, D. (2015). *Reprogramación electrónica del control de inyección y encendido del motor cbr 600 f4i, para el vehículo Formula Student*. Obtenido de Tesis de ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/12102>

Anexos