



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
VERIFICACIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES PARA EL
SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE VEHÍCULO A
GASOLINA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: RENE ALEXANDER CASTRO TOAZA

DIRECTOR: ING. FABIÁN CELSO GUNSHA MAJI

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Rene Alexander Castro Toaza

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Rene Alexander Castro Toaza, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 06 de diciembre de 2023



Rene Alexander Castro Toaza

060582265-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VERIFICACIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES PARA EL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE VEHÍCULO A GASOLINA**, realizado por el señor: **RENE ALEXANDER CASTRO TOAZA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Milton Israel Quinga Morales PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-12-06
Ing. Fabián Celso Gunsha Maji DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-06
Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-06

DEDICATORIA

A Dios por permitirme alcanzar este momento en mi vida y por proteger mi integridad física, mental y emocional. A mis padres, María y Olmedo, por su constante apoyo y por estar a mi lado en cada etapa de mi camino, inspirándome a seguir adelante. A mis hermanos, quienes han sido mis compañeros incondicionales, les agradezco por su amistad y por ayudarme a mantenerme firme en momentos difíciles, contribuyendo así a mi crecimiento personal. A mi amigo Brian McLaren, cuya influencia y apoyo han sido fundamentales para reorientar mi perspectiva de la vida y seguir adelante con determinación.

Rene

AGRADECIMIENTO

A las autoridades y docentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, quienes han contribuido significativamente a mi desarrollo profesional y personal. Especialmente, a mi director, el Ing. Fabián Celso Gunsha Maji, y asesor, el Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso, por brindarme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto de integración curricular. Su apoyo y orientación han sido fundamentales para el éxito de este trabajo.

Rene

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	4
<i>1.3.1 Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.2 Objetivos específicos</i>	<i>4</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Bases teóricas	5
<i>2.1.1 Antecedentes históricos de la inyección electrónica a gasolina.....</i>	<i>6</i>
<i>2.1.2 Inyección electrónica de vehículo a gasolina.....</i>	<i>8</i>
<i>2.1.2.1 Ventajas de la inyección electrónica.....</i>	<i>9</i>
<i>2.1.3 Clasificación de los sistemas de inyección electrónica de combustible.....</i>	<i>11</i>
<i>2.1.3.1 Según el número de inyectores.....</i>	<i>11</i>
<i>2.1.3.2 Según ubicación del inyector</i>	<i>12</i>
<i>2.1.3.3 Por sincronismo de inyección.....</i>	<i>13</i>
<i>2.1.3.4 Por el sistema de control y accionamiento de los inyectores</i>	<i>15</i>
<i>2.1.4 Control electrónico del motor</i>	<i>17</i>
<i>2.1.4.1 Sensores.....</i>	<i>17</i>
<i>2.1.4.2 Unidad de control electrónico</i>	<i>26</i>
<i>2.1.4.3 Actuadores</i>	<i>30</i>

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	37
3.1	Diseño del sistema comprobador	37
3.1.1	Diseño del circuito de regulación de voltaje.....	39
3.1.2	Diseño de interfaz de sensores	39
3.1.2.1	Diseño de interfaz de sensor de temperatura de entrada (IAT).....	40
3.1.2.2	Diseño de interfaz de sensor de oxígeno (O2).....	41
3.1.2.3	Diseño de interfaz de sensor de posición de acelerador (TPS).....	41
3.1.2.4	Diseño de interfaz de sensor de presión absoluta (MAP)	42
3.1.2.5	Diseño de interfaz de sensor de posición de cigüeñal (CKP) y sensor de posición de árbol de levas (CMP).....	44
3.1.2.6	Diseño de interfaz de sensor de temperatura de refrigerante (ECT).....	45
3.1.3	Diseño de interfaz de actuadores	46
3.1.3.1	Diseño de interfaz de inyector	46
3.1.3.2	Diseño de interfaz de bobina de encendido.....	47
3.1.3.3	Diseño de interfaz de válvula IAC	49
3.1.4	Programación	49
3.1.5	Simulación	53
3.1.6	Diseño de circuito impreso.....	54
3.1.7	Diseño de la cubierta	55

CAPITULO IV

4.	RESULTADOS	57
4.1	Evaluación del desempeño de comprobador de sensores.....	57
4.1.1.1	Sensor CKP.....	57
4.1.1.2	Sensor T-MAP.....	61
4.1.1.3	Sensor de oxígeno.....	66
4.1.1.4	Sensor TPS.....	69
4.1.1.5	Sensor ECT.....	71
4.1.2	Evaluación general de sensores.....	74
4.1.3	Evaluación de actuadores.....	75
4.1.3.1	Válvula IAC	75
4.1.3.2	Inyector.....	79
4.1.3.3	Bobina de encendido.....	83

CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES.....	87
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Identificación de colores y terminales de sensor ECT.....	19
Tabla 4-1: Valores de temperatura, resistencia y voltaje de sensor ECT.....	72

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Nikolaus August Otto.....	6
Ilustración 2-2: Sistema de Inyección electrónica motor 1.6L MPFI.....	9
Ilustración 2-3: Sistema de inyección monopunto	11
Ilustración 2-4: Sistema de inyección multipunto.....	12
Ilustración 2-5: Inyección indirecta	12
Ilustración 2-6: Inyección directa	13
Ilustración 2-7: Inyección simultánea.....	14
Ilustración 2-8: Inyección semi-secuencial.....	14
Ilustración 2-9: Inyección secuencial	15
Ilustración 2-10: Sistema de Inyección mecánico K-Jetronic	16
Ilustración 2-11: Sistema de Inyección electromecánico KE-Jetronic	16
Ilustración 2-12: Sistema de Inyección electromecánico L-Jetronic	17
Ilustración 2-13: Sensor de temperatura ECT.....	18
Ilustración 2-14: Curva característica sensor ECT tipo NTC.....	18
Ilustración 2-15: Sensor inductivo.....	19
Ilustración 2-16: Señal y circuito del sensor inductivo	20
Ilustración 2-17: Principio sensor hall	21
Ilustración 2-18: Sensor MAP	21
Ilustración 2-19: Sensor MAP gráfica voltaje vs vacío.....	22
Ilustración 2-20: Sensor de oxígeno	22
Ilustración 2-21: Porcentaje de oxígeno vs relación aire-combustible.....	23
Ilustración 2-22: Sensor de oxígeno de zirconio.....	24
Ilustración 2-23: Voltaje de sensor vs lamda	24
Ilustración 2-24: Sensor de oxígeno de titanio.....	25
Ilustración 2-25: Sensor TPS.....	26
Ilustración 2-26: Gráfica de sensor TPS	26
Ilustración 2-27: Estructura de la ECU.....	27
Ilustración 2-28: Procesamiento de señales en la ECU	28
Ilustración 2-29: Válvula IAC	31
Ilustración 2-30: Motor paso a paso reluctancia variable, imanes permanentes e híbridos	31
Ilustración 2-31: Procesamiento de señales en la ECU	32
Ilustración 2-32: Señal de inyector	33
Ilustración 2-33: Sistema de encendido convencional	34

Ilustración 2-34: Sistema de encendido electrónico.....	35
Ilustración 2-35: Sistema de encendido programado	35
Ilustración 2-36: Sistema de encendido DIS.....	36
Ilustración 2-37: Sistema de encendido DIS.....	36
Ilustración 3-1: Diagrama de etapas del proyecto.....	37
Ilustración 3-2: Diagrama de bloques del comprobador de sensores y actuador.....	38
Ilustración 3-3: Circuito de regulación de voltaje.....	39
Ilustración 3-4: Circuito de acondicionamiento del sensor IAT	40
Ilustración 3-5: Circuito acondicionador del sensor de oxígeno	41
Ilustración 3-6: Circuito acondicionador del sensor TPS.....	42
Ilustración 3-7: Circuito de sensor MAP	43
Ilustración 3-8: Circuito de sensor CKP y CMP	44
Ilustración 3-9: Circuito acondicionador de sensor ECT	46
Ilustración 3-10: Circuito de inyector 1	47
Ilustración 3-11: Circuito de activación de la bobina de encendido.....	48
Ilustración 3-12: Circuito de activación de válvula IAC.....	49
Ilustración 3-13: Diagrama de flujo de inyección secuencial	50
Ilustración 3-14: Diagrama de flujo de inyección simultánea.....	50
Ilustración 3-15: Diagrama de inyección semisecuencial	51
Ilustración 3-16: Diagrama de flujo de bobinas DIS	51
Ilustración 3-17: Diagrama de flujo de bobinas COP	52
Ilustración 3-18: Diagrama de flujo de válvula IAC.....	52
Ilustración 3-19: Diagrama de flujo de evaluación general	53
Ilustración 3-20: Simulador de sensores con potenciómetros	53
Ilustración 3-21: Simulación virtual en TunerStudio.....	54
Ilustración 3-22: Placa PCB (a) y visualización 3d (b).....	55
Ilustración 3-23: Cubierta de dispositivo.....	56
Ilustración 3-24: Comprobador de sensores y actuadores.....	56
Ilustración 4-1: Sensor CKP: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines	57
Ilustración 4-2: Sensor CKP: a) Revoluciones vs resistencia, b) Gráfica	58
Ilustración 4-3: Señal de sensor CKP a ralentí 800 rpm:	58
Ilustración 4-4: Señal de sensor CKP a ralentí 1500 rpm:	59
Ilustración 4-5: Señal de sensor CKP a ralentí 2500 rpm:	59
Ilustración 4-6: Conexión de sensor CKP: a) Esquemática, b) Físico.....	60
Ilustración 4-7: Sensor CKP acondicionada: a) Inductiva, b) Digital	60
Ilustración 4-8: Señal de sensor ECT: a) Reloj, b) Dato en tiempo real	61

Ilustración 4-9: Sensor T-MAP: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines	61
Ilustración 4-10: Sensor IAT: a) Temperatura vs resistencia, b) Gráfica.....	62
Ilustración 4-11: Sensor MAP: a) Presión vs voltaje, b) Gráfica	62
Ilustración 4-12: Señal de sensor MAP a ralentí 800 rpm:	63
Ilustración 4-13: Señal de sensor MAP a ralentí 1500 rpm:	64
Ilustración 4-14: Señal de sensor IAT a ralentí 800 rpm:	64
Ilustración 4-15: Conexión de sensor IAT: a) Esquemática, b) Físico.....	65
Ilustración 4-16: Señal de sensor MAP: a) Reloj, b) Dato en tiempo real	65
Ilustración 4-17: Señal de sensor IAT: a) Reloj, b) Dato en tiempo real	66
Ilustración 4-18: Sensor O2: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines.....	66
Ilustración 4-19: Sensor O2: a) Voltaje vs AFR, b) Gráfica.....	67
Ilustración 4-20: Señal de sensor IAT a ralentí 800 rpm:	67
Ilustración 4-21: Conexión de sensor O2: a) Esquemática, b) Físico	68
Ilustración 4-22: Señal de sensor O2: a) Reloj, b) Dato en tiempo real	68
Ilustración 4-23: Sensor O2: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines.....	69
Ilustración 4-24: Sensor TPS: a) Angulo vs Voltaje, b) Gráfica.....	69
Ilustración 4-25: Señal de sensor TPS	70
Ilustración 4-26: Conexión de sensor TPS: a) Esquemática, b) Físico.....	71
Ilustración 4-27: Señal de sensor TPS: a) Reloj, b) Dato en tiempo real	71
Ilustración 4-28: Sensor ECT: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines	71
Ilustración 4-29: Señal de sensor ECT a 800 rpm.....	73
Ilustración 4-30: Conexión de sensor ECT: a) Esquemática, b) Físico.....	73
Ilustración 4-31: Señal de sensor ECT: a) Reloj, b) Dato en tiempo real	73
Ilustración 4-32: Conexión de sensores general: a) Físico, b) Software	74
Ilustración 4-33: Comportamiento de sensor de entrada en aceleración y desaceleración	74
Ilustración 4-34: Válvula IAC: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines	75
Ilustración 4-35: Señal de activación de válvula IAC.....	76
Ilustración 4-36: Señal de activación de válvula IAC.....	76
Ilustración 4-37: Conexión de válvula IAC: a) Esquemática, b) Físico	77
Ilustración 4-38: Configuración de la válvula IAC:.....	77
Ilustración 4-39: Señal de activación de IAC	78
Ilustración 4-40: Pasos de activación de válvula IAC.....	78
Ilustración 4-41: Inyector: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines	79
Ilustración 4-42: Resistencia inyector 1 (a), inyector 2 (b), inyector 3(c) e inyector 4(d).....	79
Ilustración 4-43: Señal de inyector a ralentí 800 rpm	80
Ilustración 4-44: Señal de inyector a 1500 rpm:	80

Ilustración 4-45: Señal de inyector a 2500 rpm:	81
Ilustración 4-46: Conexión del inyector: a) Esquemática, b) Físico	81
Ilustración 4-47: Prueba de inyector.....	82
Ilustración 4-48: Señal de activación de inyectores.....	82
Ilustración 4-49: Señal de sensor ECT: a) Reloj, b) Dato en tiempo real	82
Ilustración 4-50: Bobina de encendido: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines	83
Ilustración 4-51: Señal de bobina de encendido en ralentí.....	84
Ilustración 4-52: Conexión de bobina DIS: a) Esquemática, b) Físico	84
Ilustración 4-53: Prueba de bobina DIS.....	85
Ilustración 4-54: Señal de activación de bobina de encendido DIS	85
Ilustración 4-55: Periodo Dwell	85

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CARACTERÍSTICA DEL ARDUINO MEGA R3

ANEXO B: CÓDIGO DE INYECCIÓN SECUENCIAL

ANEXO C: CÓDIGO DE INYECCIÓN SIMULTÁNEA

ANEXO D: CÓDIGO DE INYECCIÓN SEMISECUENCIAL

ANEXO E: CÓDIGO PARA BOBINAS DE ENCENDIDO DIS

ANEXO F: CÓDIGO PARA BOBINAS DE ENCENDIDO COP

ANEXO G: CÓDIGO PARA VÁLVULA IAC

ANEXO H: CÓDIGO DE PRUEBA EN CONJUNTO DE SENSORES Y ACTUADORES

ANEXO I: CÓDIGO DE CKP INDUCTIVO CON POTENCIÓMETRO

ANEXO J: CARACTERÍSTICAS DE CHEVROLET CORSA EVOLUTION 1.8

ANEXO K: CIRCUITO GENERAL

ANEXO L: DATASHHET CIRCUITO REGULADOR DE VOLTAJE

ANEXO M: DATASHHET CIRCUITO REGULADOR DE PICOS DE VOLTAJE

ANEXO N: DATASHHET SENSOR DE PRESIÓN MPX4250A

ANEXO O: DATASHEET MAX9926

ANEXO P: DATASHEET TRANSISTOR STP62NS04Z

ANEXO Q: DATASHEET TC4423A

ANEXO R: DATASHEET CIRCUITO INTEGRADO A4989

ANEXO S: PLANO DE TAPA

ANEXO T: PLANO DE CAJA

ANEXO U: MANUAL

RESUMEN

En la industria automotriz existían diferentes tipos de problemas en sensores y actuadores debido a las diversas condiciones de funcionamiento del vehículo a gasolina en ralentí, media y plena carga, debido a estos parámetros de mal funcionamiento, el diagnóstico se realiza comúnmente a través de instrumentos como multímetro, escáner y osciloscopio, los cuales determinaban en muchas ocasiones el mal funcionamiento de un sensor o un actuador. Para ayudar al diagnóstico, se implementó un sistema de verificación de sensores y actuadores para el sistema de inyección electrónica de vehículos a gasolina mediante dispositivos electrónicos. Para desarrollar el sistema de verificación de sensores y actuadores del sistema de inyección electrónica, se realizó un análisis bibliográfico de los sensores y actuadores del sistema de inyección de un motor de encendido provocado, lo que permitió conocer los parámetros de diseño de los circuitos impresos para la lectura de sensores y los circuitos de potencia para los actuadores con el software de simulación Proteus, además, se programó el microcontrolador ATMEGA 2560 en el lenguaje C del entorno de desarrollo de Arduino, para finalmente evaluar el desempeño del sistema mediante verificaciones gráficas y la elaboración de un manual. Los resultados mostraron que, mediante la evaluación del funcionamiento de los sensores y actuadores, se prevenía el diagnóstico incorrecto, contribuyendo a evitar pérdidas de dinero y tiempo. En este contexto, se concluyó que el dispositivo de verificación funcionaba como una herramienta óptima, precisa y sencilla para evaluar los sensores y actuadores del vehículo a gasolina y, de esa manera, corroborar el diagnóstico inicial realizado por las herramientas de diagnóstico automotriz.

Palabras clave: <SISTEMA DE VERIFICACIÓN>, <INYECCIÓN ELECTRÓNICA>, <SENSORES>, <ACTUADORES>, <VEHÍCULOS A GASOLINA>.

0588-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

In the automotive industry there were different types of problems in sensors and actuators due to the various operating conditions of the gasoline vehicle at idle, medium and full load, due to these malfunctioning parameters, the diagnosis is commonly performed through instruments such as multimeter, scanner and oscilloscope, which often determined the malfunction of a sensor or actuator. To aid diagnosis, a sensor and actuator verification system was implemented for the electronic injection system of gasoline vehicles using electronic devices. To develop the verification system of sensors and actuators of the electronic injection system, a bibliographic analysis of the sensors and actuators of the injection system of a provocative ignition engine was performed, which allowed knowing the design parameters of the printed circuits for reading sensors and power circuits for actuators with the simulation software Proteus. In addition, the ATMEGA 2560 microcontroller was programmed in the C language of the Arduino development environment, to finally evaluate the performance of the system through graphical verifications and the development of a manual. The results showed that, by evaluating the operation of the sensors and actuators, incorrect diagnosis was prevented, helping to avoid loss of money and time. In this context, it was concluded that the verification device functioned as an optimal, accurate and simple tool to evaluate the sensors and actuators of the gasoline vehicle and, thus, corroborate the initial diagnosis performed by the automotive diagnostic tools.

Keywords: <VERIFICATION SYSTEM>, <ELECTRONIC INJECTION>, <SENSORS>, <ACTUATORS>, <GASOLINE VEHICLES>.



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema MsC

C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de la industria automotriz los sistemas de inyección de un motor de encendido provocado (MEP) modernos poseen varios sensores y actuadores que están vinculadas al uso de componentes electrónicos cada vez más sofisticados, propensos a sufrir averías debido a las diferentes condiciones de operación del vehículo durante su vida útil.

Existen distintos tipos de herramientas y equipos de diagnóstico que se caracterizan por su elevado costo, específico para cada sensor y actuador, y en ocasiones no están disponibles al momento de realizar el diagnóstico. Por ello surge la necesidad del desarrollo de un sistema de verificación con el fin de contribuir con un dispositivo que pueda verificar sensores y actuadores de manera conjunta fuera o dentro del vehículo que permita apoyar el diagnóstico inicial y a la vez optimizar el tiempo y disminuir pérdidas económicas.

Este trabajo describe en el capítulo 1 una visión de los dispositivos de verificación de sensores y actuadores, capítulo 2 el análisis bibliográfico de los diferentes tipos de sensores y actuadores tecnología MEP. Capítulo 3 describe las diferentes etapas de desarrollo del dispositivo, finalmente en el capítulo 4 se establece los resultados alcanzados.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En el instante que se realiza un diagnóstico del sistema de gestión electrónica de un vehículo para comprobar si los elementos funcionan de manera adecuada y determinar si existen problemas en sensores y actuadores debido a las diferentes condiciones de funcionamiento del vehículo a gasolina en ralentí, media y plena carga, debido a estos parámetros de mal funcionamiento el diagnóstico en la mayoría de los talleres automotrices se utiliza el escáner, dispositivo que permite evaluar el flujo de datos y fallas mediante los datos procesados por la unidad de control electrónico (ECU). Además se utilizan instrumentos como multímetro y osciloscopio que en muchas ocasiones determina el mal funcionamiento de un sensor o un actuador pero no el estado real de los sensores y actuadores que pueden presentar una anomalía en su circuito interior, todos estos dispositivos en muchas ocasiones no solucionan el inconveniente, lo que hace necesario el desarrollo de una herramienta que permita realizar la prueba en conjunto de los distintos sensores y actuadores fuera del vehículo que permita verificar la falla real.

1.2 Justificación

La cantidad de vehículos de gasolina en el Ecuador se encuentra en un crecimiento gradual, según (INEN, 2022), los vehículos matriculados en el 2021 se incrementó en un 7,4% en relación con el 2020 llegando a un valor de 2.535.853 automóviles. Teniendo en consideración que 305.697 son vehículos a diésel ,12.792 son vehículos híbridos, 524 son vehículos eléctricos, 116 son vehículos de gas licuado de petróleo y 2.216.724 son vehículos de gasolina. Este último representan el 87,72% del total de los vehículos matriculados en 2021 que determina la necesidad de contar con herramientas de diagnóstico para los motores de combustión interna de encendido provocado para el mantenimiento, además considerando que el mantenimiento de vehículos de motores a gasolina y la evaluación del funcionamiento de la gestión electrónica de los sensores y actuadores se realiza en el vehículo mediante diferentes herramientas multímetro, escáner, osciloscopio que determina el mal funcionamiento de un sensor o actuador pero en algunas circunstancias no solucionan el inconveniente y conlleva al diagnóstico incorrecto y posterior cambio de componente incorrecto, por este motivo surge la necesidad de realizar las pruebas de los sensores y actuadores de manera conjunta fuera del vehículo que permitan apoyar el diagnóstico establecido inicialmente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Diseñar e implementar un sistema de verificación de sensores y actuadores para el sistema de inyección electrónica de vehículo a gasolina mediante dispositivos electrónicos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar el sistema electrónico para el control de sensores y actuadores del vehículo a gasolina.
- Programar el sistema de verificación de sensores y actuadores considerando parámetros
- Simular el sistema electrónico para el control de sensores y actuadores mediante Proteus
- Diseñar los circuitos impresos mediante Proteus para el sistema de verificación de sensores y actuadores individuales y colectivos mediante un software de programación más adecuado.
- Evaluar el sistema de verificación de sensores y actuadores mediante gráficas para verificar el desempeño del sistema.
- Elaborar el manual del sistema de verificación de sensores y actuadores para vehículos a gasolina mediante una estructura secuencial de pasos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas

En la industria automotriz, se han desarrollado diversos dispositivos y se han llevado a cabo trabajos de investigación para la verificación de sensores y actuadores que son propensos a averiarse debido a las variadas condiciones de funcionamiento de los vehículos a gasolina. Estos trabajos servirán como punto de partida para el desarrollo de las bases teóricas necesarias. Entre los dispositivos y estudios destacados se encuentran:

El diseño y construcción de un instrumento de diagnóstico para los sensores TPS y MAP, así como los actuadores IAC e inyectores, se realiza utilizando un microcontrolador programable de software libre Arduino. Este dispositivo muestra la información en tiempo real a través de un LCD 2x16 utilizando el protocolo de comunicación I2C. Además, se reconoce la importancia de llevar a cabo un estudio de mercado en centros de servicio y talleres para determinar si disponen de equipos de diagnóstico que complementen la evaluación inicial realizada con el escáner (Lerroy y Quintero, 2020).

El banco de pruebas para sensores y actuadores de un Motor de Encendido Provocado (MEP) fue construido utilizando el microcontrolador Arduino MEGA 2560. La gestión y representación de las señales de entrada, regulación y salida se llevaron a cabo mediante el software EasyEDA. Además, se empleó SolidWorks para diseñar la rueda fónica destinada a los sensores de rotación CKP y CMP (Chafuel, 2022).

El diseño de una ECU con modelos de motor de encendido provocado de arquitectura abierta se lleva a cabo mediante una serie de pasos consecutivos. Este proceso inicia con el diseño del algoritmo de control, seguido de la graduación de parámetros, la implementación (tanto de hardware como de software) y finalmente, la comprobación y validación del sistema. Para la recopilación de datos de las señales de entrada y salida, se emplean varios softwares especializados. LabVIEW se utiliza para este propósito, mientras que el software Proteus se encarga del desarrollo del circuito impreso, diseño de pistas y simulación 3D. Además, se recurre a Matlab, específicamente al entorno de programación Simulink, para la simulación del modelo de la válvula de mariposa (Martin et al., 2018).

Basándonos en los dispositivos y trabajos analizados, se determina que diseñar e implementar un sistema de verificación integral de sensores y actuadores para el sistema de inyección electrónica conlleva a una mejora significativa en el diagnóstico.

2.1.1 Antecedentes históricos de la inyección electrónica a gasolina

La evaluación del avance histórico de la inyección electrónica de gasolina implica un análisis detallado de los hitos claves relacionados con los motores de encendido por chispa, la evolución de la inyección electrónica y el uso de la gasolina como combustible principal.

El prólogo se sitúa en 1876, cuando el ingeniero alemán Nikolaus August Otto de la Ilustración 2-1 desarrolló el primer motor funcional de 4 tiempos, siendo considerado el inventor del motor de combustión interna. Aunque la concepción del ciclo termodinámico de 4 tiempos (admisión, compresión, expansión y escape) fue patentada en 1861 por el ingeniero francés Alphonse Beau de Rochas, fue Otto quien fabricó y comercializó el primer motor de combustión interna de manera exitosa, a pesar de no tener formación profesional en ingeniería y ser autodidacta. Otto fundó la primera empresa de motores de combustión interna, N. A. Otto and Cie, donde trabajaron destacados ingenieros como el alemán Wilhelm Maybach y el alemán Gottlieb Daimler. Estos últimos son considerados pioneros en la industria automotriz al fundar la primera empresa DMG en 1890, cuyo legado perdura hasta la actualidad en la marca Mercedes Benz (Ferguson y Kirkpatrick, 2016, págs. 2-5).



Ilustración 2-1: Nikolaus August Otto

Fuente: Konrad Reif, 2015, pág. 4.

En 1883, el ingeniero alemán Gottlieb Daimler creó un motor de 4 tiempos de alta velocidad que funcionaba con gasolina. Este motor introdujo la innovación de mezclar el aire de la admisión con combustible líquido vaporizado utilizando un carburador, y luego encender la mezcla con un

tubo de llama. Por otro lado, en 1885, el ingeniero alemán Karl Benz diseñó el primer carburador, lo que le permitió crear un motor de dos tiempos de 3.5 hp, similar a los motores modernos. Este motor fue instalado en un vehículo de tres ruedas en 1886, lo que le permitió a Benz obtener la patente de un vehículo con motor de combustión interna que utilizaba gasolina. En 1925, el ingeniero sueco Jonas Hesselman presentó el primer motor de combustión interna con inyección directa. Este motor operaba con una mezcla pobre, donde la inyección de combustible tenía lugar al final de la carrera de compresión, y la mezcla era encendida mediante una bujía (Ferguson y Kirkpatrick, 2016, pág. 4).

En 1937, tras numerosas pruebas realizadas en motores de inyección de gasolina, Bosch comenzó la producción en serie de estos motores para la aviación. Este sistema se distingue por inyectar el combustible directamente en la cámara de combustión, lo que se conoce como inyección directa. En 1952, la empresa Bosch se destacó como pionera en el desarrollo de la inyección directa de gasolina, la cual fue introducida por las empresas Goliath y Gutbrod para su aplicación en serie en vehículos. Este sistema operaba con una bomba de gasolina convencional que alimentaba una bomba de inyección mecánica para introducir el combustible a alta presión en la cámara de combustión. El primer vehículo deportivo en utilizar la inyección directa fue el Mercedes Benz 1955SL (Ferguson y Kirkpatrick, 2016, pág. 5).

En 1961, la empresa Bendix patentó el sistema Bendix Electrojector, el cual fue el primer sistema de inyección electrónica de combustible. Aunque esta tecnología no se produjo en masa, marcó un hito al ser precursora de todos los sistemas de inyección electrónica modernos. La importancia de la inyección electrónica se hizo evidente en 1966 cuando Bendix cedió los derechos de patente a Bosch para continuar con su diseño inicial. En 1967, Bosch presentó el sistema D-Jetronic, considerado el primer sistema de inyección electrónica utilizado en varios vehículos como Volvo y Mercedes. Sin embargo, el sistema D-Jetronic no fue ampliamente aceptado debido a que los técnicos encargados del mantenimiento no tenían un conocimiento completo de su funcionamiento, lo que dificultaba el diagnóstico eficiente (Ferguson y Kirkpatrick, 2016, págs. 5-6).

En 1973, Bosch presentó los sistemas L-Jetronic y K-Jetronic. El primero se caracterizaba por medir el flujo de aire, mientras que el segundo utilizaba un control hidráulico y mecánico. Luego, en 1975, fruto de la colaboración entre General Motors, Bendix y Bosch, se introdujo el primer sistema de inyección electrónica de forma masiva en el vehículo Seville 76. Además, en 1976, el sistema K-Jetronic se mejoró con la incorporación de una sonda lambda. En 1979, Bosch lanzó el primer sistema de gestión del motor a gasolina llamado Motronic, que abarcaba el control de

encendido electrónico e inyección de combustible. Este logro marcó el inicio de la introducción de microprocesadores en la gestión electrónica de vehículos (Bosch, 2008, pág. 4).

En 1981, Bosch introdujo el sistema de inyección electrónica LH-Jetronic, que estaba estrechamente relacionado con el L-Jetronic, pero se diferenciaba por el uso de un sensor de medición de masa de aire de hilo caliente. Posteriormente, en 1982, se lanzó el sistema KE-Jetronic, que se presentó como un circuito electrónico de control de bucle cerrado y sonda lambda. En 1987, se añadió el sistema Mono-Jetronic, el cual era un sistema de inyección monopunto. Un año después, en 1988, surgió el sistema Mono-Motronic, que combinaba la inyección y el encendido monopunto electrónicos. En 1989, Bosch presentó el sistema Motronic con EGAS, que incluía un sensor de posición de pedal de acelerador para regular la posición electrónica del acelerador y determinar el torque y la potencia adecuados (Bosch, 2008, págs. 4-5).

En 1996, Mitsubishi inició el desarrollo de la inyección directa de gasolina en Japón y, al año siguiente, en 1997, ingresó al mercado europeo (Zhao, 2009, pág. 3).

En 2000, Bosch presentó la inyección directa denominada Motronic MED 7. Luego, en 2003, se introdujo al mercado el sistema Flex Fuel, el cual funciona con dos tipos de combustibles: alcohol y gasolina. En 2004, se lanzó el sistema Trifuel de Bosch, una tecnología de inyección electrónica que puede controlar la inyección, el encendido de gasolina, alcohol y gas natural comprimido (Bosch, 2008, pág. 5).

La evolución de la inyección electrónica ha sido moldeada por mentes brillantes que han creado inventos fundamentales para los sistemas actuales. Pioneros como Nikolaus August Otto, Gottlieb Daimler, Wilhelm Maybach, Carl Friedrich Benz, Henry Ford, Robert Bosch y otros más han permitido un avance rápido en la movilidad humana al optimizar el consumo de combustible y reducir la emisión de contaminantes al medio ambiente. Factores como la Segunda Guerra Mundial, la crisis petrolera de los setenta y el auge de la electrónica también jugaron un papel crucial en el desarrollo de la inyección electrónica de los motores de encendido provocado (Ferguson y Kirkpatrick, 2016, págs. 7-11).

2.1.2 Inyección electrónica de vehículo a gasolina

El sistema de inyección electrónica del vehículo a gasolina ha sufrido una evolución gradual desde que surgió como una opción para reemplazar al carburador, se implementó para mejorar el rendimiento del vehículo en las diferentes condiciones de operación y de esa manera sustituir los componentes mecánicos del carburador por inyectores controlados por un módulo de control que

obtiene la información de los sensores y pueden dosificar de mejor forma la cantidad de combustible. De esa manera se obtiene una combustión eficiente manteniendo la relación estequiométrica de 14,7 partes de aire por 1 parte de combustible. No obstante, la combustión no es completa porque no se tiene las condiciones ideales generando productos tales como monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos nítricos (Denton, 2001, págs. 199-209)

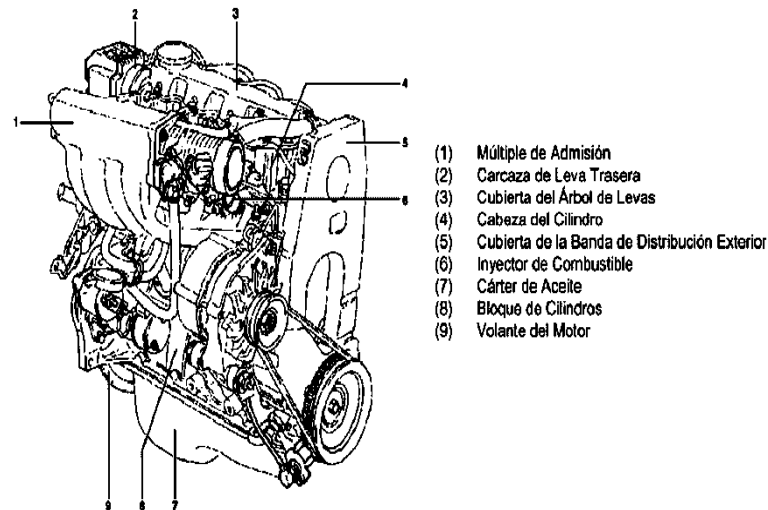


Ilustración 2-2: Sistema de Inyección electrónica motor 1.6L MPFI

Fuente: Corporation General Motors, 2005, pág. 857.

El sistema de inyección no es una unidad autónoma, sino que está coordinado con otros sistemas como el electrónico, admisión, combustible, encendido y emisión, para ser más eficiente y contribuir a disminuir el consumo de combustible y reducir agentes contaminantes (Denton, 2001, págs. 209-2015).

De acuerdo con la Ilustración 2-2, ítem (6) muestra el sistema de inyección electrónica que se caracteriza de manera general por implementar inyectores en vez de carburador. Además, están constituidos por un mayor número de componentes que permiten tanto directa e indirectamente la dosificación adecuada de carburante y mayor control de los agentes contaminantes. Su funcionamiento está centrado en la presión que se ejerce cuando se inyecta el carburante en el sistema por la bomba de combustible y esta pasa al filtro, riel de inyección, inyector y regulador de presión que está dentro del rango de 35-70 PSI (Bosch, 2008, págs. 19-34).

2.1.2.1 Ventajas de la inyección electrónica

La incorporación del sistema de inyección en el motor garantiza la entrega exacta de combustible, lo cual conlleva múltiples beneficios como un arranque más eficiente en frío y en caliente, menor

consumo de combustible, aumento de potencia y una disminución notable en las emisiones contaminantes (Ghosh, 2013, pág. 8). A continuación, se detallan cada una de estas ventajas:

- *Arranque en frío*

Al activarse el sistema de arranque y comienza a funcionar el motor MEP, se destacan las ventajas de la implementación de la inyección electrónica de combustible. En este contexto, se ajusta el volumen de combustible según la temperatura y el régimen de arranque, lo que genera un arranque más rápido y una aceleración más suave. Durante el calentamiento, se ajustan automáticamente los parámetros necesarios utilizando datos recopilados por diversos sensores. Esto asegura un funcionamiento fluido y sin tirones para una marcha óptima (Ghosh, 2013, pág. 9).

- *Reducción de consumo de combustible*

El funcionamiento del motor de combustión interna revela una reducción significativa en el consumo de combustible al emplear un inyector para cada cámara de combustión. Esto garantiza un suministro más preciso del combustible, resultando en una mezcla estequiométrica de aire y combustible. Esta precisión contrasta con la mezcla desigual de comburente y carburante típica de los carburadores (Ghosh, 2013, pág. 8).

- *Incremento de potencia*

Durante la conducción en carretera, se percibe un aumento notable en la potencia del vehículo, resultado de una mayor eficiencia volumétrica que permite llenar los cilindros de manera más efectiva. Esto evidencia que la implementación del sistema de inyección mejora la geometría del múltiple de admisión, obteniendo así un mayor par motor (Ghosh, 2013, pág. 9).

- *Bajo nivel de gases contaminantes*

Al realizar una prueba de emisiones con un analizador de gases, se observa que la concentración de agentes contaminantes es significativamente menor en los vehículos equipados con sistema de inyección en comparación con aquellos que utilizan carburador. Esto se debe a que el sistema de inyección ajusta continuamente la relación de aire y combustible dentro del rango estequiométrico. Además, los gases de escape son tratados por el catalizador, que permite la reducción considerable de agentes contaminantes que afectan tanto al medio ambiente como a la salud de las personas (Ghosh, 2013, pág. 10).

2.1.3 Clasificación de los sistemas de inyección electrónica de combustible

2.1.3.1 Según el número de inyectores

- *Monopunto TBI*

El sistema de inyección monopunto, también conocido como TBI (*Throttle Body Injection*) como se ilustra en la Figura 2.3, funciona de la siguiente manera: el flujo de combustible (1) llega al inyector (5) y se mezcla con el aire (2) proveniente del filtro. Esta mezcla aire-combustible pasa a través de la mariposa de aceleración (3) y finalmente llega a la cámara de combustión de cada uno de los cilindros (5). Se trata de un sistema de inyección electrónica en el cual el inyector electromagnético inyecta combustible de manera intermitente en el múltiple de admisión, específicamente en un punto central antes de la mariposa de aceleración (Aird, 2012, pág. 11).

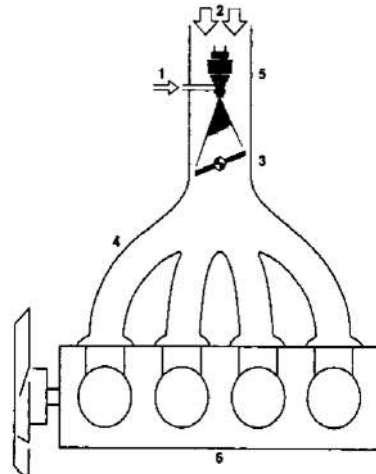


Ilustración 2-3: Sistema de inyección monopunto

Fuente: Forbes Aird, 2001, pág. 12.

Un ejemplo notable de sistema monopunto de Bosch son los sistemas de inyección conocidos como Jetronic y Mono-Motronic (Aird, 2012, pág. 11).

- *Multipunto MPFI*

El sistema de inyección multipunto, representado en la Ilustración 2-4, asigna un inyector a cada cilindro. Conocido como MPFI (*Multi Point Fuel Injection*), este sistema garantiza una entrega precisa y eficiente de combustible a cada cilindro. El combustible se transporta a través de la cañería (1) hasta el riel de inyectores, ubicado sobre el múltiple de admisión (6), donde se mezcla con el aire proveniente del filtro (1). Esta mezcla de aire y combustible se quema en la cámara de combustión (6) para transformar la energía química en energía mecánica (Aird, 2012, pág. 13).

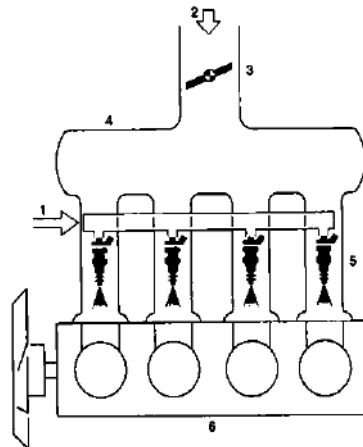


Ilustración 2-4: Sistema de inyección multipunto

Fuente: Forbes Aird, 2001, pág. 13.

Un ejemplo de este sistema, según Bosch, incluye la *L-Jetronic* y la *KE-Jetronic* junto con sus variantes como la *K-Jetronic*, *L3-Jetronic* y *LH-Jetronic* (Aird, 2012, pág. 13).

2.1.3.2 Según ubicación del inyector

- *Indirecta*

La inyección indirecta, como se muestra en la Ilustración 2-5, ocurre cuando el inyector (2) introduce combustible en el conducto de admisión (1) o en el cuerpo de aceleración antes de la válvula de admisión (3). Luego, la mezcla de aire y combustible se enciende en la cámara de combustión mediante la bujía (González y Fernández, 2011, pág. 479).

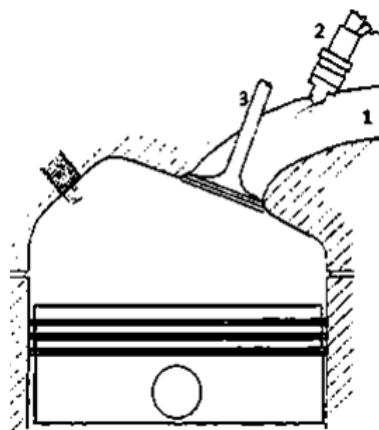


Ilustración 2-5: Inyección indirecta

Fuente: González y Fernández, 2011, pág. 474.

La inyección que se muestra en la Ilustración 2-5 es aplicable tanto en sistemas de inyección multipunto como monopunto, ofreciendo una mejora significativa en comparación con los

carburadores al reducir la superficie de contacto del combustible en el múltiple de admisión (González y Fernández, 2011, pág. 480).

- *Directa en el cilindro*

La inyección directa, también conocida como GDI (*Gasoline Direct Injection*), se muestra en la Ilustración 2-6. Este sistema implica que el inyector (1) introduce el combustible directamente en la cámara de combustión (2) durante la fase de admisión o compresión, según el diseño específico del motor (González y Fernández, 2011, págs. 485-487).

La inyección directa mejora significativamente el rendimiento del motor en comparación con la inyección indirecta. Evita la humectación del puerto de admisión, reduce el tiempo de transporte del combustible, permite una combustión más eficiente, genera bajas emisiones, facilita un mejor arranque en frío y aumenta la eficiencia volumétrica. Todo esto se debe a su constitución mecánica más robusta, capaz de soportar presiones elevadas de 4-13 MPa (Chincholkar y Suryawanshi, 2016, págs. 667-668).

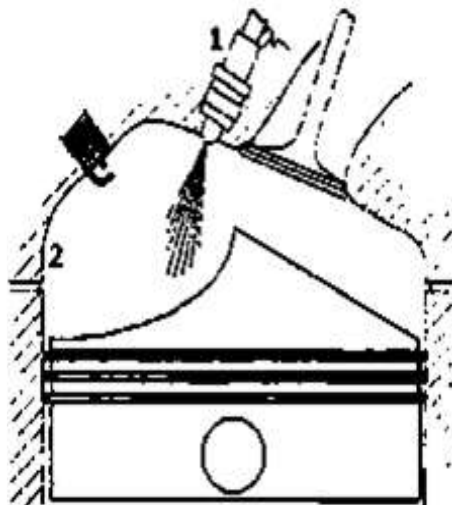


Ilustración 2-6: Inyección directa

Fuente: González y Fernández, 2011, pág. 474.

2.1.3.3 *Por sincronismo de inyección*

- *Simultanea o intermitente*

La unidad de control electrónica (ECU) activa todos los inyectores al mismo instante de acuerdo con la Ilustración 2-7. Teniendo en consideración que sólo un cilindro admite inmediatamente el combustible mientras el resto entran en modo de espera porque las válvulas de admisión están cerradas (Lenz, 1992, pág. 247).

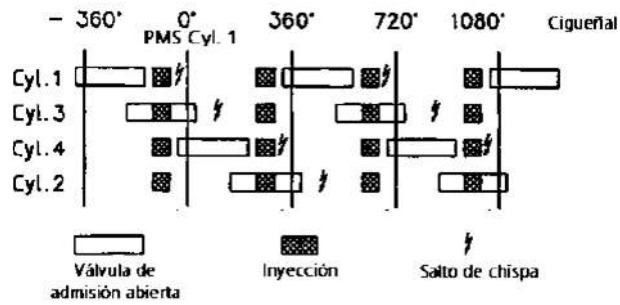


Ilustración 2-7: Inyección simultánea

Fuente: Lenz, 1992, pág. 247.

Existen dos modos de inyección en este método: la fase fría y la fase caliente. Durante la fase fría, la unidad de control electrónica (ECU) activa los inyectores cada 180 grados del cigüeñal, lo que significa que cada cilindro experimenta dos inyecciones en un ciclo completo de 360 grados. Una vez que el motor alcanza cierta temperatura para evitar una mezcla rica, comienza la fase caliente. En esta fase, la inyección de combustible se reduce en un 50 por ciento, lo que significa que se realiza una sola inyección cada 360 grados de rotación del cigüeñal. Para que este método de inyección funcione de manera eficiente, la centralita debe recibir la señal de temperatura del motor a tiempo. El sistema LE Jetronic de Bosch utiliza la inyección simultánea, donde la ECU conecta a tierra el terminal 12 para dos inyectores y el terminal 24 para los otros dos. Aunque existen dos líneas de activación por parte de la ECU, ambas se activan simultáneamente, permitiendo que la inyección de combustible se realice al mismo tiempo en todos los inyectores. Es importante destacar que el positivo es compartido por todos los inyectores (Lenz, 1992, págs. 247-250).

- *Semisecuencia o banco por banco*

La inyección de combustible se produce por bloques, dos inyectores se cierran mientras los dos restantes se abren simultáneamente Ilustración 2-8. La unidad de control utiliza dos líneas con la característica de que cada línea se activa una a la vez (Lenz, 1992, pág. 248).

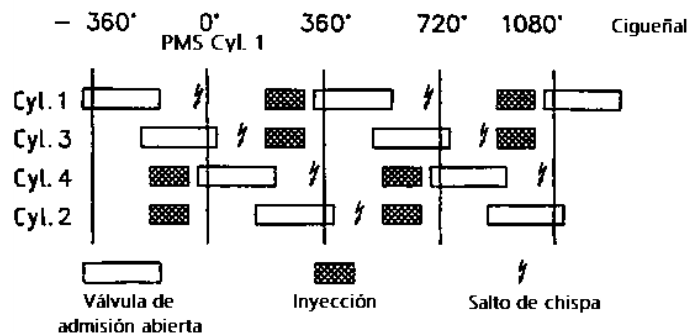


Ilustración 2-8: Inyección Semisecuencia

Fuente: Lenz, 1992, pág. 247.

La inyección de carburante se realiza cada 180 grados de rotación de cigüeñal, en este método de inyección la unidad de control electrónica debe conocer la posición exacta del cigüeñal para que la inyección se produzca sólo en el cilindro que este en la carrera de admisión para cumplir con este propósito se obtiene las señales del sensor de posición del cigüeñal CKP (Lenz, 1992, pág. 251).

- *Secuencial*

La inyección de combustible está en función de la apertura de válvula de admisión cuando esta se está abriendo Ilustración 2-9. La unidad de control electrónico debe conocer tanto la posición del cigüeñal y en que carrera se encuentra cada cilindro. Para esto, se utiliza el sensor de fase que permite conocer el cilindro que está en la carrera de exposición (Lenz, 1992, págs. 247).

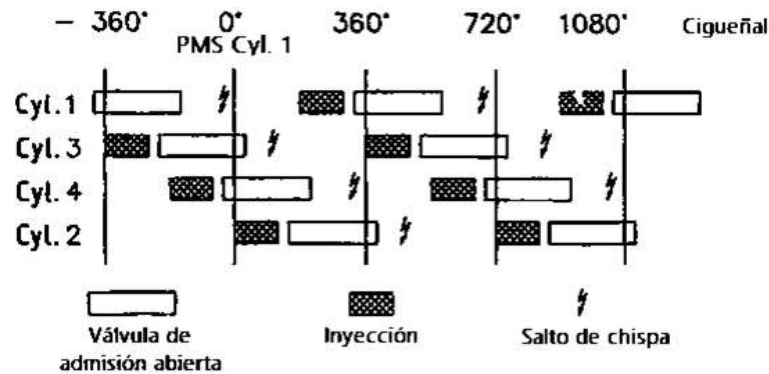


Ilustración 2-9: Inyección secuencial

Fuente: Lenz, 1992, pág. 247.

La inyección secuencial es un método más exacto pero costoso, ya que posee mayor número de salidas desde la unidad de control electrónico, pero no existe pérdidas por condensación de combustible debido a que en cada inyección el cilindro admite el carburante sin una fase de espera (Lenz, 1992, pág. 252).

2.1.3.4 Por el sistema de control y accionamiento de los inyectores

- *Mecánico*

En el sistema de inyección mecánica, la bomba de combustible (1) proporciona una presión constante hacia los inyectores, que a su vez introducen el combustible en la cámara de combustión. Un ejemplo representativo de este método es el sistema K-Jetronic de Bosch, como se muestra en la Ilustración 2-10. En este sistema, la cantidad de combustible se ajusta de acuerdo con el flujo de aire succionado (Bosch, 1996, pág. 464).

1 Depósito de combustible, 2 Electrobomba de combustible, 3 Acumulador de combustible, 4 Filtro de combustible, 5 Regulador de la fase de calentamiento, 6 Válvula de inyección, 7 Colector de admisión, 8 Válvula de arranque en frío, 9 Distribuidor-dosificador de combustible, 10 Medidor de caudal de aire, 11 Válvula de impulsos, 12 Sonda Lambda, 13 Interruptor térmico temporizado, 14 Distribuidor de encendido, 15 Válvula de aire adicional, 16 Interruptor de mariposa, 17 Unidad de control, 18 Conmutador de encendido y arranque, 19 Batería

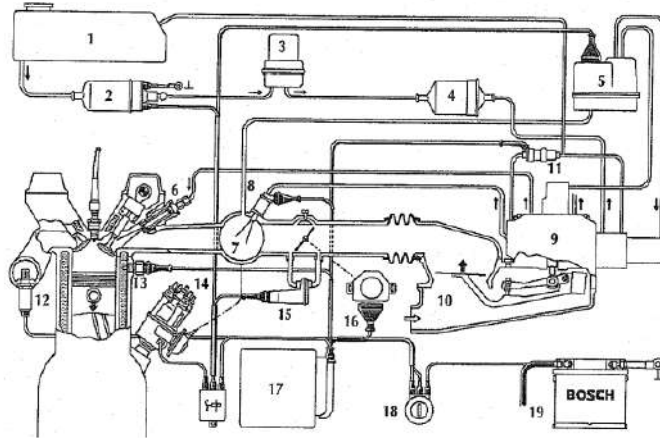


Ilustración 2-10: Sistema de Inyección mecánico K-Jetronic

Fuente: Bosch, 1996, pág. 464.

- *Electromecánico*

El sistema de inyección electromecánica representa una mejora respecto al sistema mecánico K-Jetronic. Aunque su funcionamiento es similar, la diferencia radica en la incorporación de una unidad de control electrónica. Esta unidad, utilizando sensores adicionales, ajusta el caudal de combustible que llega a los inyectores según las distintas condiciones de funcionamiento del motor de combustión interna. Un ejemplo de este sistema es el KE-Jetronic de Bosch, como se muestra en la Ilustración 2-11 (Bosch, 1996, pág. 466).

1 Depósito de combustible, 2 Electrobomba de combustible, 3 Acumulador de combustible, 4 Filtro de combustible, 5 Regulador de presión de sistema, 6 Válvula de inyección, 7 Colector de admisión, 8 Válvula de arranque en frío, 9 Distribuidor-dosificador de combustible, 10 Medidor de caudal de aire, 11 Actuador de presión electrohidráulico, 12 Sonda Lambda, 13 Interruptor térmico temporizado, 14 Sonda térmica del motor, 15 Distribuidor del encendido, 16 Válvula de aire adicional, 17 Interruptor de mariposa, 18 Unidad de control, 19 Conmutador de encendido y arranque, 20 Batería

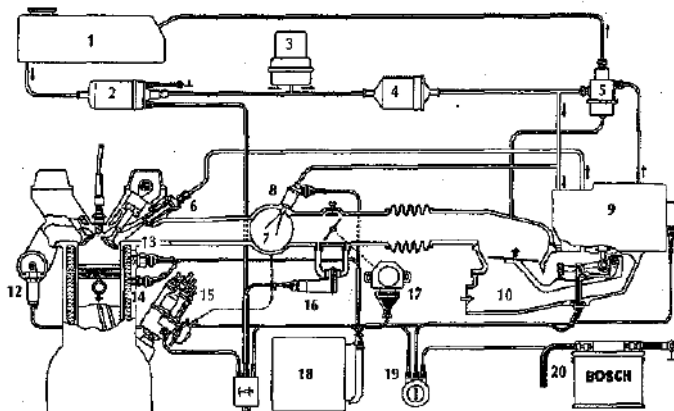


Ilustración 2-11: Sistema de Inyección electromecánico KE-Jetronic

Fuente: Bosch, 1996, pág. 466.

- *Electrónico*

El sistema de inyección electrónica opera utilizando la información recopilada por los sensores. Esta información es procesada en la unidad de control electrónica mediante un algoritmo que analiza la cantidad de aire que ingresa al motor, calculando así la cantidad de combustible necesaria. Con base en esto, se determina el tiempo de inyección de los inyectores electromagnéticos para cada fase de funcionamiento del motor de combustión interna, garantizando la cantidad precisa de combustible. Un ejemplo es el sistema L-Jetronic de Bosch, ilustrado en la Ilustración 2-12, que se considera uno de los primeros sistemas totalmente eléctricos (Bosch, 1996, pág. 468).

1 Depósito de combustible, 2 Electrobomba de combustible, 3 Filtro de combustible, 4 Unidad de control, 5 Válvula de inyección, 6 Regulador de presión, 7 Colector de admisión, 8 Válvula de arranque en frío, 9 Interruptor de mariposa, 10 Medidor de caudal de aire, 11 Sonda Lambda, 12 Termointerruptor temporizado, 13 Sonda térmica del motor, 14 Distribuidor del encendido, 15 Válvula de aire adicional, 16 Batería, 17 Conmutador de encendido y arranque

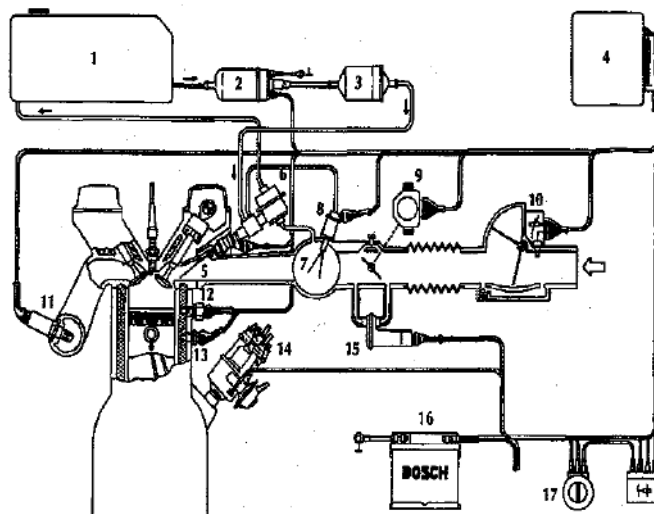


Ilustración 2-12: Sistema de Inyección electromecánico L-Jetronic

Fuente: Bosch, 1996, pág. 468.

2.1.4 Control electrónico del motor

2.1.4.1 Sensores

- *Termistores*

Los termistores dentro de un motor de combustión interna son los dispositivos más comunes para medir la temperatura. El principio de la medición se centra en la evaluación de a variación en la temperatura producirá un cambio en la temperatura. Existen termistores de tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient*) y PTC (*Positive Temperature Coefficient*) siendo el más utilizado en vehículos el termistor de coeficiente negativo. La señal eléctrica de salida puede variar, pero los valores comunes que se utiliza en los automóviles varían desde varios kilohmios a cero grados centígrados hasta unos pocos ohmios a cien grados centígrados (Denton, 2001, pág.37).

La Ilustración 2-13 presenta un ejemplo de un sensor de temperatura del refrigerante, uno de los sensores más comunes en los motores. Junto a este, existen otros tipos de sensores de temperatura esenciales para el funcionamiento óptimo del motor, como el sensor de temperatura del aire, del aceite del motor, del combustible, entre otros. Estos sensores son fundamentales para monitorear y regular la temperatura en distintas partes del sistema, contribuyendo así al rendimiento y la eficiencia del motor (Bonnick, 2001, pág. 124).

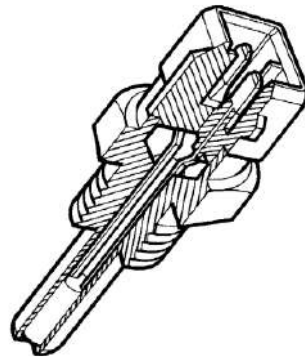


Ilustración 2-13: Sensor de temperatura ECT

Fuente: Bonnick, 2001, pág. 124.

La Ilustración 2-14 proporciona una representación de la relación entre la resistencia eléctrica y la temperatura. En el contexto del motor, el sensor de temperatura del refrigerante desempeña un papel fundamental al proporcionar a la Unidad de Control Electrónico (ECU) datos precisos sobre la temperatura del motor. Estos datos permiten que la ECU realice ajustes precisos en la inyección de combustible, especialmente durante los arranques en frío y enriquecimiento durante el calentamiento del motor (Denton, 2001, pág. 37).

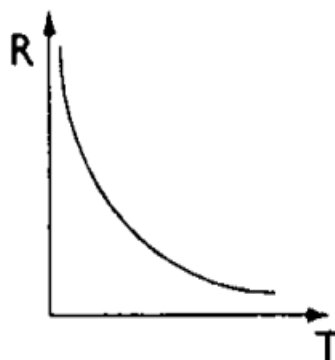


Ilustración 2-14: Curva característica sensor ECT tipo NTC

Fuente: Denton, 2001, pág. 37.

La información que se muestra en la Ilustración 2-14 puede presentarse en la Tabla 2-1. Esta representación refleja la resistencia y voltaje estimada que se manifiesta entre los terminales del sensor de temperatura en relación con una temperatura. A través de esta información, se puede

llevar a cabo una prueba de verificación empleando un termómetro junto a un medidor de resistencia (ohmímetro), siempre y cuando se disponga de los valores de referencia precisos.

La información mostrada en la Ilustración 2-14 se puede encontrar detallada en la Tabla 2-1. Esta tabla muestra la relación entre la resistencia y el voltaje estimado que se observa en los terminales del sensor de temperatura en función de la temperatura. Utilizando estos datos, es posible realizar una verificación mediante un termómetro y un medidor de resistencia (ohmímetro), siempre y cuando se tengan a mano los valores de referencia exactos (Bonnick, 2001, pág. 125).

Tabla 2-1: Identificación de colores y terminales de sensor ECT

Temperatura [°C]	Resistencia [Ω]	Voltaje [V]
0	6000	4.5
20	2500	3.2
30	1400	3.1
60	800	2.4
80	280	1.2

Fuente: Bonnick, 2001, pág. 125.

Realizado por: Castro R., 2023.

- *Sensores Inductivos*

Los sensores inductivos son fundamentales para registrar con precisión la velocidad y posición de elementos en movimiento continuo, dado que funcionan según el principio de inducción eléctrica, donde cualquier cambio en el flujo magnético produce una corriente eléctrica en una bobina. La Ilustración 2-15 muestra un sensor inductivo, que ejemplifica un dispositivo combinado utilizado para medir la posición y velocidad del cigüeñal o árbol de levas (Denton, 2001, pág. 37).

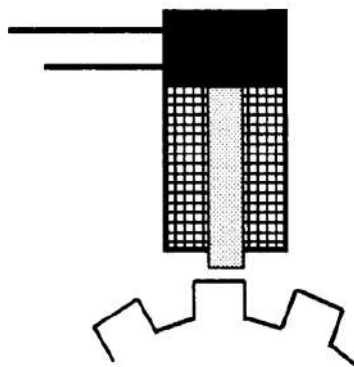


Ilustración 2-15: Sensor inductivo

Fuente: Denton, 2001, pág.37.

La mayoría de los sensores inductivos generan un voltaje de salida que se asemeja a una onda sinusoidal como se puede apreciar en la Ilustración 2-16. Además, la amplitud de esta señal está directamente relacionada con la velocidad de cambio del flujo magnético. Este aspecto está primordialmente influenciado por el diseño original del sensor, que incluye factores como el número de vueltas, la intensidad del imán y la distancia entre el sensor y el componente en rotación. No obstante, es crucial señalar que, una vez en funcionamiento, el voltaje de salida experimenta un incremento proporcional a la velocidad de rotación. En la mayoría de los casos, se prefiere emplear la frecuencia de la señal como parámetro principal. Para transformar la salida de un sensor inductivo en una señal práctica, se recurre habitualmente a la implementación de un circuito disparador Schmitt. Este proceso genera una señal de amplitud constante, sin embargo, su forma se convierte en una onda cuadrada con una frecuencia que varía según las condiciones de operación (Denton, 2001, pág. 37).

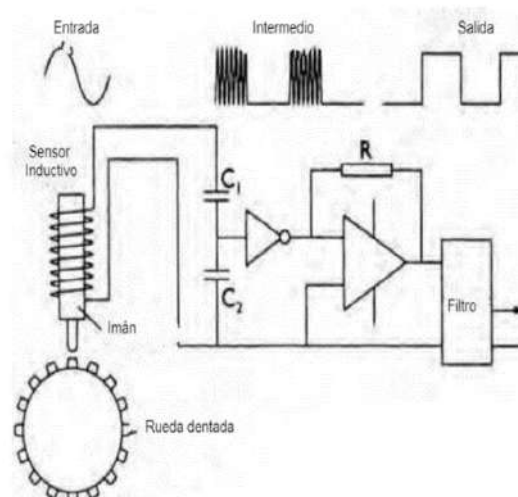


Ilustración 2-16: Señal y circuito del sensor inductivo

Fuente: Denton, 2001, pág. 38.

- *Sensor de efecto hall*

Los sensores de efecto Hall se basan en la generación de una diferencia de potencial eléctrico en un conductor cuando se encuentra en un campo magnético perpendicular a la corriente que lo atraviesa, como se muestra en la Ilustración 2-17. Si un determinado tipo de cristal conduce electricidad en presencia de dicho campo magnético perpendicular a la corriente, se producirá una diferencia de potencial en una dirección que forma un ángulo recto con respecto a la corriente de alimentación. Estos sensores están ganando una aceptación creciente, en parte debido a su alta fiabilidad, pero también a su capacidad para generar una señal cuadrada de amplitud constante en aplicaciones de medición de velocidad, así como para proporcionar un voltaje de corriente continua ajustable para detectar posición o corriente (Denton, 2001, pág. 38).

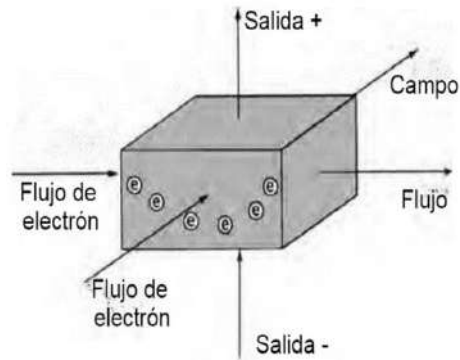


Ilustración 2-17: Principio sensor hall

Fuente: Denton, 2001, pág.38.

La señal generada por un sensor de efecto Hall muestra una onda cuadrada con amplitud constante en su salida. La creciente popularidad de estos sensores se debe, en parte, a su alta confiabilidad y atractivo. Ofrecen la capacidad de generar directamente una señal de onda cuadrada con amplitud constante en aplicaciones de medición de velocidad, al mismo tiempo que proporcionan un voltaje de corriente continua variable para la detección de posición o corriente (Denton, 2001, pág. 39).

- *Sensor piezorresistivo*

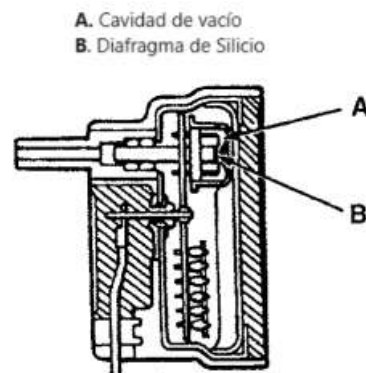


Ilustración 2-18: Sensor MAP

Fuente: Bonnick, 2001, pág. 127.

La piezorresistividad se manifiesta en ciertos semiconductores, de manera que la resistividad efectiva (el inverso de la conductividad) varía en proporción a la deformación. La tensión generada en cada resistencia guarda relación con la deflexión del diafragma, la cual, a su vez, está en proporción con la presión en la superficie exterior del diafragma. En el caso de un sensor de presión absoluta del múltiple de admisión (MAP), esta presión corresponde a la presión absoluta en el colector. Una señal eléctrica proporcional a la presión del colector se obtiene conectando las resistencias en un circuito conocido como puente de Wheatstone. El sensor de presión absoluta del múltiple de admisión (MAP), representado en la Ilustración 2-18, funciona con una

alimentación de 5V suministrada por la Unidad de Control del Motor (ECU). Las variaciones en la presión del colector (vacío) inducen el desplazamiento de un diminuto diafragma de silicio. Esta alteración influye en la resistencia dentro del circuito de puente del sensor, generando una salida eléctrica que guarda una relación directa con la presión del colector (Bonnick, 2001, pág. 127).

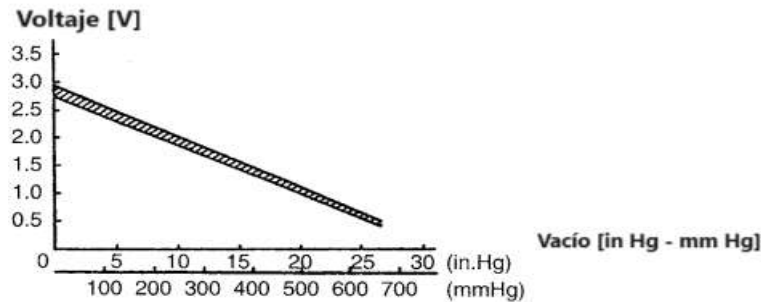


Ilustración 2-19: Sensor MAP gráfica voltaje vs vacío

Fuente: Bonnick, 2001, pág. 127.

La Ilustración 2-19 muestra cómo la cavidad de vacío propicia la flexión del diafragma de detección de silicio, proceso que se ve afectado por la presión en el colector de admisión (Bonnick, 2001, pág. 127).

- *Sensores resistivos y electroquímicos*

En la actualidad, se emplean dos variantes de sensores de oxígeno. Uno sigue el principio de una celda voltaica, siendo clasificado como electroquímico, mientras que el otro se apoya en la variación de la resistencia eléctrica de un material en respuesta al oxígeno, identificado como resistivo. El sensor de oxígeno (O₂), representado en la Ilustración 2-20, desempeña un papel crucial al ayudar a la Unidad de Control del Motor (ECU) a mantener la relación aire-combustible dentro de los límites necesarios. Este sensor monitorea continuamente el contenido de oxígeno en los gases de escape, proporcionando así información precisa sobre la relación aire-combustible en la admisión del motor. La proporción de oxígeno en los gases de escape sirve como una medida exacta de la relación aire-combustible de la mezcla que ingresa al motor (Konrad, 2015, pág. 285).

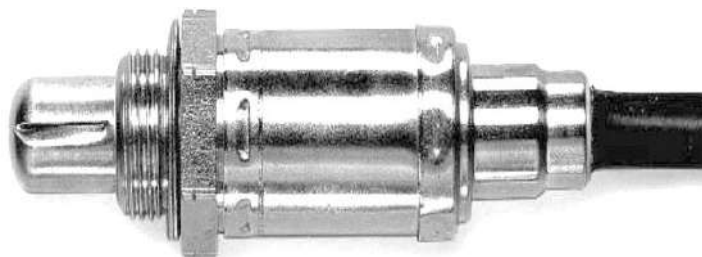


Ilustración 2-20: Sensor de oxígeno

Fuente: Konrad, 2015, pág. 285.

La Ilustración 2-21 muestra la relación entre el contenido de oxígeno de los gases de escape y la relación aire-combustible de la mezcla que se introduce en las cámaras de combustión del motor (Bonnick, 2001, pág. 132)..

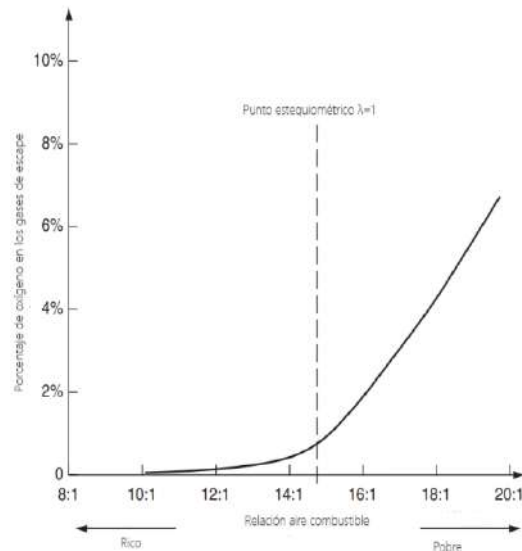


Ilustración 2-21: Porcentaje de oxígeno vs relación aire-combustible

Fuente: Bonnick, 2001, pág. 132.

El voltaje proveniente del sensor de oxígeno se retroalimenta al ECM, permitiendo ajustar la cantidad de combustible inyectado en el motor para garantizar que la relación aire-combustible se mantenga dentro de los límites necesarios. Es común referirse a la relación aire-combustible que produce una combustión químicamente adecuada como lambda. Cuando la mezcla es rica, lambda es menor que 1, y si la mezcla es pobre, lambda es mayor que 1. La señal eléctrica procedente del sensor de oxígeno se retroalimenta al ECU, posibilitando la modificación de la cantidad de combustible inyectado en el motor con el fin de asegurar que la relación aire-combustible permanezca dentro de los límites requeridos. En situaciones de mezcla rica, lambda es menor que 1, mientras que, en casos de mezcla pobre, lambda es mayor que 1 (Bonnick, 2001, pág. 132).

El sensor de oxígeno ya sea del tipo voltaico o zirconio, opera a partir de la diferencia entre la presión atmosférica y la presión parcial de oxígeno en los gases de escape. Como se muestra en la Ilustración 2-22, el sensor se asemeja a una celda similar a una batería. Las placas, fabricadas con platino y separadas por una capa de cerámica de zirconio actuando como electrolito, cumplen un papel crucial. Las placas de platino no solo catalizan el oxígeno que entra en contacto con ellas, sino que también sirven como conductores eléctricos, canalizando la electricidad fuera del sensor. La acción catalítica que ocurre al entrar el oxígeno en contacto con las placas de platino induce el transporte de iones de oxígeno a través del electrolito, generando la corriente eléctrica

que resulta en la fuerza electromotriz del sensor. Este voltaje del sensor proporciona una representación precisa del contenido de oxígeno en los gases de escape (Bonnick, 2001, pág. 134).

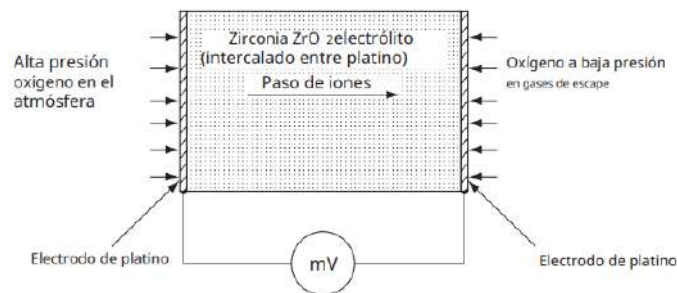


Ilustración 2-22: Sensor de oxígeno de zirconio

Fuente: Bonnick, 2001, pág. 132.

Cuanto mayor sea la diferencia entre la presión del aire atmosférico y los gases de escape, mayor será el voltaje producido por el sensor de oxígeno. Como se muestra en la Ilustración 2-23 cuando la relación aire-combustible cambia de ligeramente rica, por ejemplo 14:1 y lambda de 0.93 a ligeramente pobre de 16:1 y lambda de 1.06, hay un cambio marcado en la presión parcial de oxígeno de los gases de escape y esto lleva a un cambio de paso en el voltaje del sensor de oxígeno porque el electrolito cerámico (zirconio) es muy sensible a los niveles de oxígeno (Konrad, 2015, pág. 133).

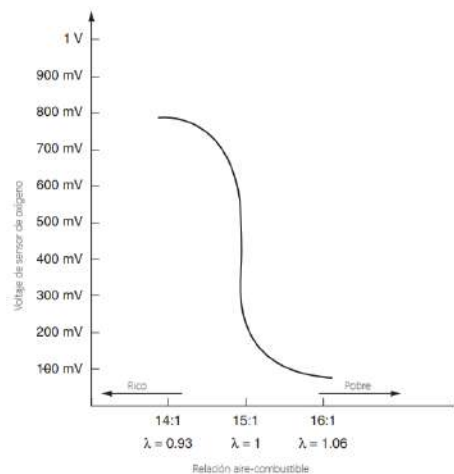


Ilustración 2-23: Voltaje de sensor vs lambda

Fuente: Konrad Reif, 2015, pág. 133.

El sensor de titanio de la Ilustración 2-24 responde a las variaciones en la presión parcial de oxígeno en los gases de escape. Cambios en la concentración de oxígeno en estos gases generan modificaciones en la resistencia del material del sensor. Al aplicar un voltaje preestablecido al sensor desde la unidad de control, las fluctuaciones en la corriente a través del elemento sensor indican el contenido de oxígeno en el gas de escape. En este elemento sensor, el titanio actúa

esencialmente como un semiconductor, cuyas propiedades resistivas se ven afectadas por la concentración de oxígeno con la cual reacciona. La reacción que tiene lugar influye en la resistencia del elemento sensor, y el voltaje resultante del sensor proporciona una representación precisa de la presión parcial de oxígeno en los gases de escape (Konrad, 2015, pág. 137).

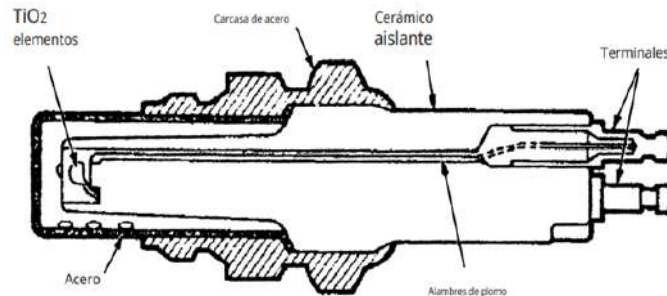


Ilustración 2-24: Sensor de oxígeno de titanio

Fuente: Konrad Reif, 2015, pág. 137.

El sensor de titanio reacciona a los cambios en la presión parcial de oxígeno en los gases de escape. Los cambios en la concentración de oxígeno en los gases de escape hacen que cambie la resistencia del material del sensor. Cuando el sensor recibe un voltaje establecido desde la unidad de control, la variación en la corriente a través del elemento sensor proporciona una indicación del contenido de oxígeno del gas de escape. En el elemento sensor, el titanio es esencialmente un semiconductor cuyas propiedades resistivas se ven afectadas por la concentración de oxígeno que reacciona con ella. La reacción que ocurre afecta la resistencia del elemento sensor y el voltaje resultante del sensor es un indicador preciso de la presión parcial del oxígeno en los gases de escape. Donde la relación aire-combustible es químicamente correcta, es decir, Lambda es 1, hay un cambio marcado en la resistencia del elemento sensor que lo lleva a producir una forma de onda similar al sensor de zirconio semejante a la Ilustración 2-23, excepto que el voltaje a través del sensor es más alto (Bonnick, 2001, pág. 137)

- *Sensores de resistencia variable*

Un sensor de resistencia variable que consta de tres terminales. Uno de los extremos de la resistencia recibe un voltaje de referencia, mientras que el otro extremo está conectado a tierra. El tercer terminal se encuentra enlazado a un contacto móvil que se desplaza a lo largo de la resistencia, modificando así su resistencia. La posición del contacto ya sea cerca del extremo de alimentación o del extremo de tierra de la resistencia, determina si el voltaje de retorno es alto o bajo. El ejemplo de aplicación en el vehículo es el sensor de posición de acelerador o *Throttle Position Sensor (TPS)* de la Ilustración 2-25, el potenciómetro del acelerador se emplea para señalar la tasa de cambio en la posición del acelerador. Esta información resulta fundamental al

implementar estrategias como el enriquecimiento de aceleración o, por el contrario, la interrupción de combustible debido a una velocidad excesiva (Bonnick, 2001, pág. 124).

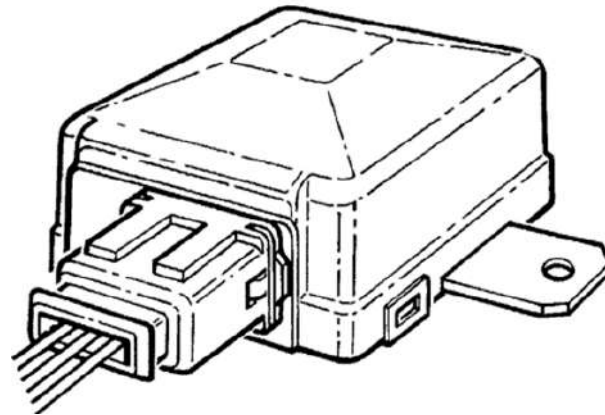


Ilustración 2-25: Sensor TPS

Fuente: Bonnick, 2001, pág. 124.

La Ilustración 2-26 muestra el comportamiento del voltaje en ralentí y en las diferentes condiciones de operación del motor con el ángulo de apertura de la mariposa del cuerpo de aceleración (Bonnick, 2001, pág. 123).

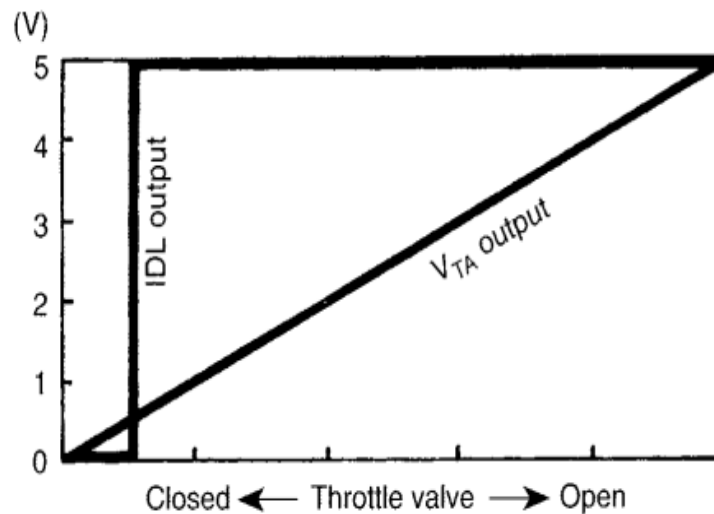


Ilustración 2-26: Gráfica de sensor TPS

Fuente: Bonnick, 2001, pág. 123.

2.1.4.2 Unidad de control electrónico

La unidad de control electrónico Ilustración 2-27, también denominado ECU (*Engine Control United*) y ECM (*Engine Control Module*). Básicamente es el cerebro de la gestión electrónica del vehículo, que recibe las señales de diferentes tipos de sensores para analizar la información y activar los elementos de salida denominado actuadores (Konrad, 2015, pág. 255).

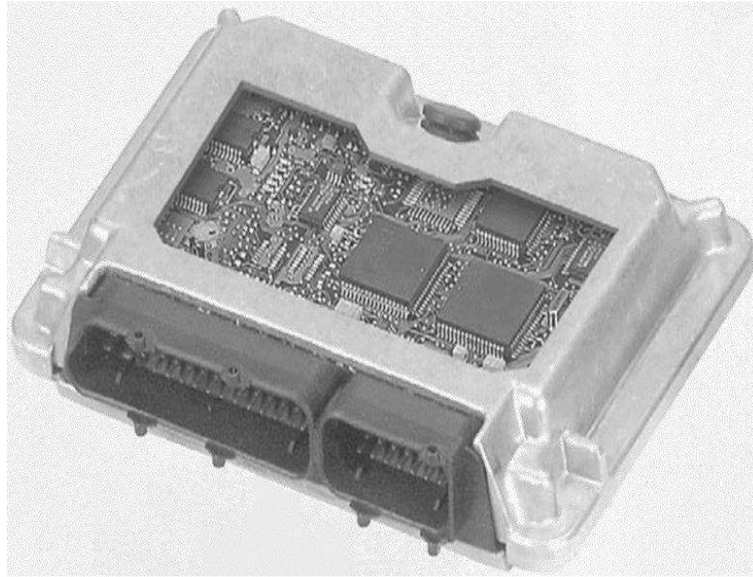


Ilustración 2-27: Estructura de la ECU

Fuente: Konrad Reif, 2015, pág. 255.

La unidad de control a sufrido una evolución desde los primeros sistemas analógicos hasta los actuales sistemas digitales. El ejemplo claro de una unidad de control analógico es el sistema de inyección electrónico Le-Jetronic equipado en el Gol GTi. Posteriormente surgió la inyección digital que se implementó en el Motronic de Bosch. La tecnología digital da muchas opciones para control de circuitos abiertos y cerrados de los sistemas electrónicos. Además, el software se almacena en una memoria especial y se implementa mediante un microcontrolador. También la ECU está expuesta a altas exigencias como vibraciones, humedad y cambios de temperatura bruscos, por lo tanto, la placa de circuito impreso con los componentes electrónicos se instala en una carcasa de metal. Además, los circuitos de la etapa de potencia que tienen un control directo de los actuadores están especialmente integrados dentro de la carcasa para obtener una transferencia de calor efectiva entre carcasa y el aire. Así pues, los componentes electrónicos para mejorar su eficiencia se caracterizan por tener dimensiones compactas y resistencia extrema al calor (Konrad, 2015, pág. 254-256).

- *Procesamiento de señales en la ECU*

El procesamiento de señales se desarrollado por la ECU de acuerdo con Ilustración 2-28 la en los siguientes pasos:

- Señales de entrada
- Acondicionamiento de señal
- Procesamiento de la señal
- Señales de salida
- Comunicación interna en la unidad de control (Konrad, 2015, pág. 255)

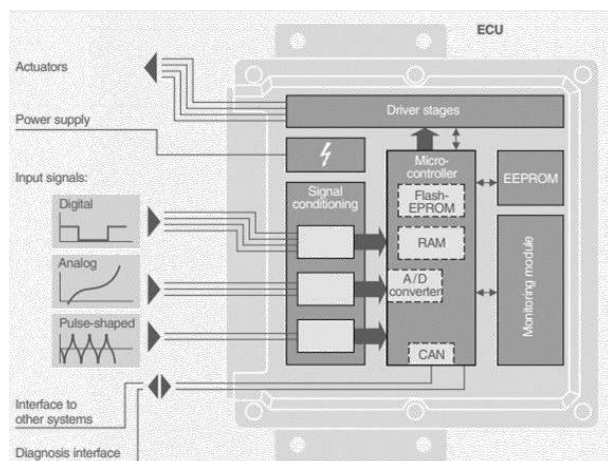


Ilustración 2-28: Procesamiento de señales en la ECU

Fuente: Konrad, 2015, pág. 255.

Las señales de entrada (1) provienen de los sensores a través de un mazo de cables. Estas señales pueden ser digitales, analógicas y tipo pulso. Las señales digitales de entrada poseen dos estados de 1 lógico y 0 lógico y además son procesadas directamente por el microcontrolador ejemplo de esta señal es el sensor digital de velocidad o sensor magnetorresistivo. Por otro lado, las señales de entrada analógicas pueden tomar cualquier valor de voltaje dentro de un rango determinado, esta señal es convertida en señal digital mediante el conversor analógico-digital. Ejemplo de la señal analógicas son el sensor de masa de aire, presión de colector de admisión, sensor de temperatura de refrigerante, etc. También la señal de entrada de tipo pulso, donde los pulsos espurios se suprimen y las señales de pulso se convierten a señales digitales (Konrad, 2015, pág. 254).

En el acondicionamiento de señal (2) los circuitos de protección limitan los voltajes de las señales de entrada a niveles adecuados para el procesamiento de la unidad de control electrónico. Además, si es el caso se amplifican las señales al voltaje que necesita la unidad de control. Los filtros como tal apartan las señales útiles de las interferencias (Konrad, 2015, pág. 255).

El procesamiento de señal (3) se desarrolla en el microcontrolador tanto las funciones de control de lazo abierto y cerrado. Las señales de los diferentes sensores se utilizan como variables de entrada y son sometidas a una verificación ya que la unidad de control es el centro de conmutación de todas las funciones y secuencias de gestión del motor (Konrad, 2015, pág. 255). En el procesamiento de la señal se puede destacar:

➤ *Microcontrolador:* el microcontrolador es el cerebro de la unidad de control, contiene integrados en un microchip la CPU (Unidad central de procesamiento), canales de entrada y salida, temporizador, ROM, RAM, interfases seriales y otros ensamblajes periféricos (Konrad, 2015, pág. 256).

➤ *Programa y memoria de datos:* para los cálculos el microprocesador usa un programa que es organizado en registros de datos y almacenado en una memoria de programa en forma de números binarios. La unidad central de procesamiento (CPU) lee los valores binarios y los implementa uno tras otro. El software se almacena en una memoria de solo lectura ya sea ROM, EPROM o Flash EPROM que tiene mapas, curvas características y datos específicos del vehículo. Los datos se caracterizan porque no se pueden modificar durante la operación del vehículo (Konrad, 2015, pág. 256).

La memoria de programa ROM (*Read Only Memory*), se trata de una memoria cuyos datos han sido definidos de manera permanente, es decir, inalterable. Se debe destacar que la memoria ROM que está en el microprocesador tiene una limitación en su memoria, lo que conlleva a utilizar una ROM adicional en aplicaciones más complicadas (Konrad, 2015, pág. 256).

El contenido de la memoria EPROM (*Erasable Programmable Read Only Memory*) que es básicamente una memoria ROM programable borrable. Los datos se pueden borrar sometiendo a la luz ultravioleta, por otro lado, para ingresar información nueva se usa una unidad de programación. Generalmente la EPROM es una memoria separada a la cual la CPU accede por medio de bus de direcciones (Konrad, 2015, pág. 257).

Los datos de memoria Flash-EPROM se puede eliminar eléctricamente. Durante este proceso la unidad de control electrónico (ECU) se conecta a una unidad de reprogramación por medio de un interfaz serial. Se debe tener en consideración si el microcontrolador tiene memoria ROM, esta tiene las rutas de programación de la memoria Flash-EPROM. Además, se debe mencionar que la Flash-EPROM con el microcontrolador están integrados en un solo chip y debido a sus ventajas se presentan como reemplazo de la memoria EPROM convencional (Konrad, 2015, pág. 257).

➤ *Datos variables o memoria principal:* para almacenar variables se necesita una memoria de lectura y escritura. En la memoria lectura/escritura RAM (*Random Access Memory*) se almacena los valores instantáneos. Si la capacidad de memoria de la RAM incorporada en el microcontrolador no es suficiente se adiciona un módulo de RAM, la cual está conectado a la ECU por el bus de dirección/datos. Cuando la unidad de control electrónico no tiene fuente de alimentación todos los datos de la RAM se pierden por eso se considera como memoria volátil (Konrad, 2015, pág. 256).

La memoria EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) que básicamente es la memoria EPROM borrable eléctricamente es usada debido a que los datos en esencia no se deben perder cuando se desconecte la batería, sino que deben mantener

permanentemente en una memoria no volátil e imborrable. La EEPROM por tanto es una memoria que se puede usar como una memoria de acceso aleatorio y no volátil (Konrad, 2015, pág. 257).

➤ *ASIC*: debido a la complejidad de procesamiento de datos de la ECU los microcontroladores estándares ya no cumplen con los requerimientos suficientes para tener un rendimiento óptimo, la solución frente a este inconveniente es el uso de los denominados módulos ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*), que son circuitos integrados diseñados de acuerdo a los datos de los departamentos de desarrollo de ECU que además cuenta con una memoria RAM adicional (Konrad, 2015, pág. 257).

➤ *Módulo de monitoreo*: la unidad de control electrónico (ECU) tiene un módulo de monitoreo de pregunta y respuestas. Tanto el microcontrolador y el módulo de monitoreo se supervisan mutuamente, en el instante que se detecta una falla ya sea el microcontrolador o el módulo de control activa las funciones de respaldos adecuadas de modo independiente (Konrad, 2015, pág. 257).

Las señales de salida (4) sirven para controlar los actuadores. Como pueden sufrir cortocircuito a tierra, cortocircuito a positivo, destrucción por sobrecarga térmica o térmica, etc. La etapa esta resguardado contra estos inconvenientes y estas anomalías son detectadas por los circuitos integrados de la etapa de salida como un fallo y la información es notificado al microcontrolador. La activación de los actuadores puede ser por señales de conmutación y señales de PWM. Las señales de conmutación son los periféricos de salida que se conectan y desconectan, mientras el PWM (*Pulse Width Modulation*) señales rectangulares que se caracterizan por tener una frecuencia constante con tiempos de encendido (*Duty Cycle*) variable con lo cual se puede mover a varias posiciones de funcionamiento. La comunicación interna de la unidad de control (5) esta comandada por el microprocesador que debe estar en comunicación con los periféricos de entrada y salida. Esto se lleva a cabo común bus de dirección. En el campo automotriz se utiliza una topología de bus de 8 bits donde el bus de datos consta de 8 líneas que transmiten 256 valores simultáneamente. En la contemporaneidad para el bus de datos se usan 16 o 32 bits para sistemas más complejos (Konrad, 2015, pág. 258).

2.1.4.3 Actuadores

Existen diversas maneras de gestionar las variables dentro y alrededor del vehículo. En este contexto, el término actuadores se emplea de manera general para describir un mecanismo de control. En este apartado, referiremos al término actuador para hacer alusión a un dispositivo que transforma señales eléctricas de los sensores en movimiento mecánico en un motor de combustión interna de encendido provocado.

- *Motores paso a paso*

Los motores paso a paso son dispositivos de corriente continua que se desplazan en intervalos predefinidos o incrementos, desde su estado desenergizado hasta su completa energización. La Ilustración 2-29 muestra la válvula IAC (*Intake Air Control Valve*), cuya función principal es ajustar la cantidad de aire suministrado para mantener la velocidad de ralentí. El corrector de aire de ralentí opera de manera sencilla: durante la fase de ralentí, el actuador opera en un circuito cerrado (*closed loop*). En este escenario, se define el ralentí como el funcionamiento del motor a bajas revoluciones con el acelerador completamente cerrado (Denton, 2001, pág. 48).

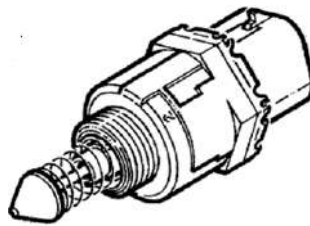


Ilustración 2-29: Válvula IAC

Fuente: Bonnick, 2001, pág. 124.

Los motores paso a paso se dividen en tres grupos distintos de acuerdo con la Ilustración 2-30:

- Motores de reluctancia variable
- Motores de imanes permanentes
- Motores híbridos.

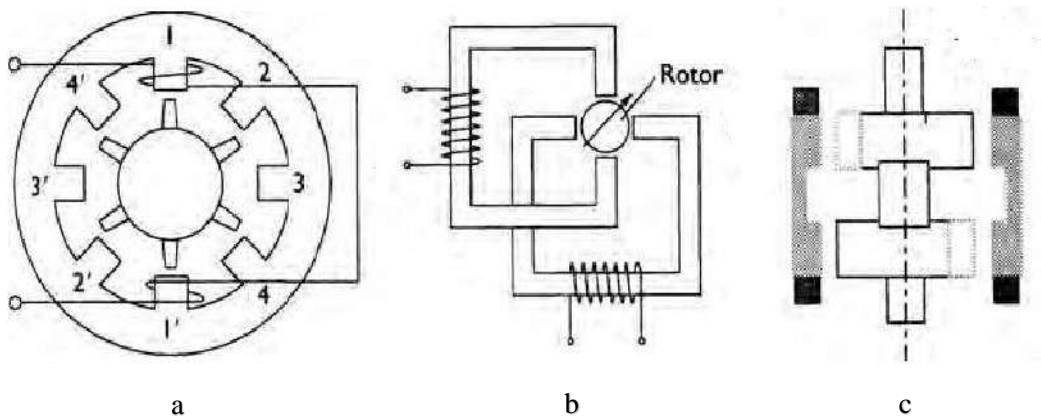


Ilustración 2-30: Motor paso a paso reluctancia variable, imanes permanentes e híbridos

Fuente: Denton, 2001, pág. 48.

Los motores de reluctancia variable de acuerdo con la Ilustración 2-30(a), se basan en el principio físico del flujo máximo. Varios devanados se colocan en un círculo en un estator dentado. El rotor también tiene dientes y está hecho de un material permeable. Cuando se suministra corriente a un par de devanados de una fase, el rotor se alineará con sus dientes posicionados para lograr el flujo

máximo. Ahora se trata simplemente de energizar los devanados en un orden adecuado para mover el rotor (Denton, 2001, pág. 48).

Los motores paso a paso de imanes permanentes Ilustración 2-30(b), tienen un par de arranque mucho más alto y también tienen un par de mantenimiento cuando no están energizados. El rotor es un imán permanente. Debido a sus mejores propiedades de torsión y retención, los motores de imanes permanentes son cada vez más populares. Con los devanados que se muestran en la Ilustración 2-30(b) se energizan primero en una dirección y luego en la otra, el motor girará en pasos de 90°. El ángulo de paso es simplemente 360 grados dividido por el número de polos del estator. La dirección de rotación está determinada por el orden en que los devanados se encienden, apagan o invierten (Denton, 2001, pág. 49).

El motor paso a paso híbrido de la Ilustración 2-30(c) es una combinación de los dos motores de reluctancia variable. Estos motores fueron desarrollados para probar y combinar la operación de alta velocidad y la buena resolución del tipo de reluctancia variable con las mejores propiedades de torque del motor de imanes permanentes (Denton, 2001, pág. 50).

- *Actuadores de solenoide*

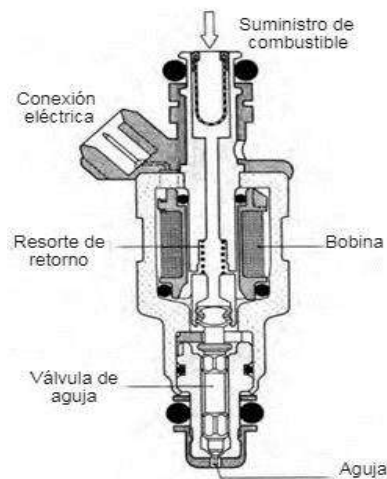


Ilustración 2-31: Procesamiento de señales en la ECU

Fuente: Konrad, 2015, pág. 256.

Un inyector de combustible se puede describir como una válvula controlada por un solenoide. Su función principal es regular el flujo de combustible hacia el motor, permitiendo su entrada o interrupción según las necesidades. Este dispositivo se abre o cierra en respuesta a las señales eléctricas recibidas. El solenoide, encargado de desplazar el componente móvil de la válvula, se activa para modificar su posición y, de esta manera, controlar el flujo de combustible. La

Ilustración 2-31 muestra un inyector que es un ejemplo de un actuador de solenoide. Cuando se energizan los devanados el resorte de retorno es comprimido debido al campo magnético generado. El desplazamiento se limita a aproximadamente 0.1 mm lo que puede cambiar de acuerdo con la marca del inyector. Otro parámetro importante es el tiempo durante la cual un inyector permanece abierta el cual es breve, comúnmente oscilando entre 1.5 y 10 ms. El tiempo necesario para que un inyector se abra y cierre también es de gran importancia para lograr una medición precisa del suministro de combustible (Denton, 2001, pág.46).

El patrón del osciloscopio será similar al que se muestra en la Ilustración 2-32 . Siendo el voltaje máximo causado por el colapso de la bobina del inyector (1), el transistor del controlador se apaga, interrumpiendo el flujo de combustible (2), tiempo de encendido del inyector (3), voltaje de la batería suministrado al inyector (4), El transistor del controlador se enciende, alejando la punta del inyector desde su asiento, iniciando el flujo de combustible (5) (Bonnick, 2001, pág. 124).

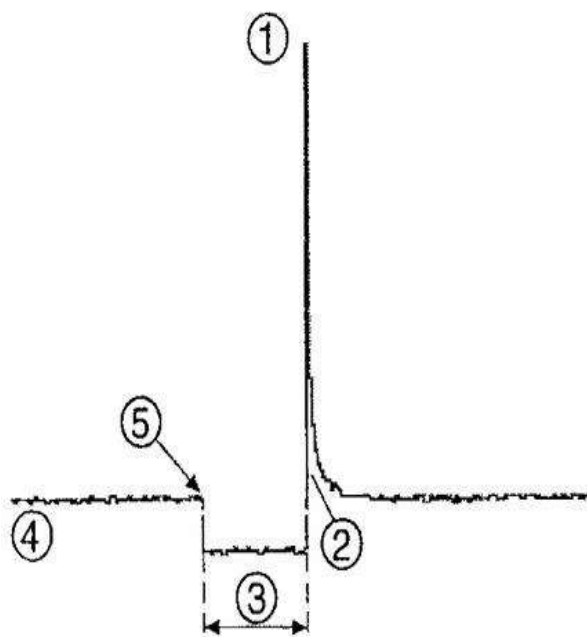


Ilustración 2-32: Señal de inyector

Fuente: Bonnick, 2001, pág. 124.

- *Actuadores bobinas de encendido*

En la inyección electrónica de combustible, un aspecto crucial es la generación de la chispa requerida para encender la mezcla aire-combustible en el motor. Este proceso se fundamenta en la inducción electromagnética, un principio presente en todos los sistemas de encendido automotriz. Cuando la corriente eléctrica circula a través del devanado primario de la bobina de encendido, se genera un campo magnético. Las variaciones en este campo magnético inducen una

corriente eléctrica en el devanado secundario, aumentando significativamente el voltaje. Este incremento en el voltaje, hasta los 40,000 voltios, desempeña un papel crucial en la generación de la chispa de encendido, esencial para iniciar la combustión en el motor (Denton, 2001, pág 170). Entre los principales sistemas de encendido tenemos:

El encendido convencional de la Ilustración 2-33 presenta un distribuidor, un componente clave en los sistemas de encendido de motores a gasolina que ha sido ampliamente utilizado durante años. Este distribuidor es accionado por el árbol de levas del motor, girando a la mitad de la velocidad del motor. Es un ejemplo de encendido convencional, anterior a los sistemas más avanzados controlados por la electrónica. Es esencial comprender que, en la mayoría de los sistemas de ignición, un devanado de bobina se activa y desactiva, lo que induce un alto voltaje en otro devanado. Los sistemas de encendido por bobina son complejos y su diseño se adapta a las características específicas del motor con el que se utiliza (Denton, 2001, pág 172).

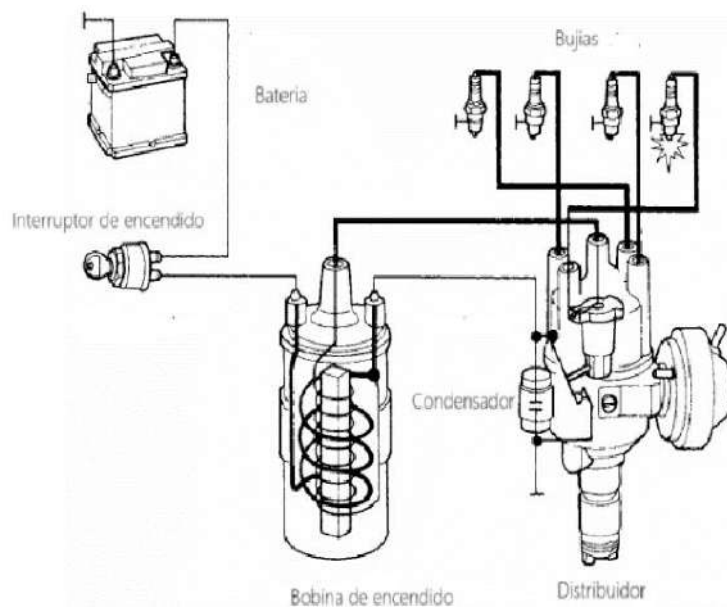


Ilustración 2-33: Sistema de encendido convencional

Fuente: Denton, 2001, pág. 173.

El encendido electrónico, tal como se muestra en la Ilustración 2-34 , se ha convertido en un componente prácticamente estándar en la gran mayoría de los vehículos con encendido por chispa. Esto se debe a las limitaciones significativas que presentaba el sistema mecánico tradicional. Estas limitaciones han sido superadas gracias a la introducción de un transistor de potencia para la conmutación y un generador de pulsos para la señal de temporización. En sus versiones iniciales, el encendido electrónico utilizaba los disyuntores de contacto existentes para generar señales, lo que marcó un avance importante, aunque aún no podía resolver completamente todas las limitaciones mecánicas, como el rebote de contacto y el deslizamiento de sincronización. Hoy en

día, la mayoría de los sistemas adoptan una potencia constante, lo que asegura un rendimiento óptimo incluso a altas revoluciones del motor (Denton, 2001, pág 174).

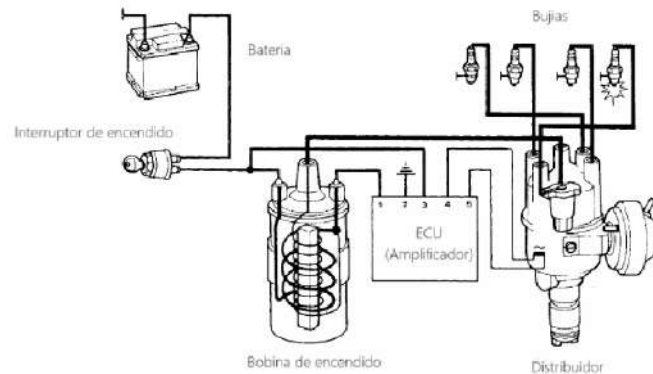


Ilustración 2-34: Sistema de encendido electrónico

Fuente: Denton, 2001, pág. 174.

El encendido programado de la Ilustración 2-35 de energía constante supuso un hito importante y todavía se emplea en aplicaciones menos exigentes. Sin embargo, su principal limitación radicaba en la persistente dependencia de componentes mecánicos para ajustar la velocidad y el avance de la carga, lo cual no siempre se ajustaba de manera óptima a las necesidades del motor. Por otro lado, los sistemas de encendido programado marcan una clara diferencia al operar de forma digital. Aquí, los detalles específicos del funcionamiento del motor se almacenan en la memoria de acceso aleatorio (RAM) de la unidad de control electrónica (ECU). Esta información, obtenida a través de pruebas en un dinamómetro de motor. Para que la ECU pueda calcular con precisión las salidas de temporización y duración, es necesario proporcionar ciertos datos de entrada, como la posición del cigüeñal, la carga del motor y la temperatura del refrigerante. Esto permite realizar ajustes óptimos y maximizar el rendimiento del motor (Denton, 2001, pág 180).

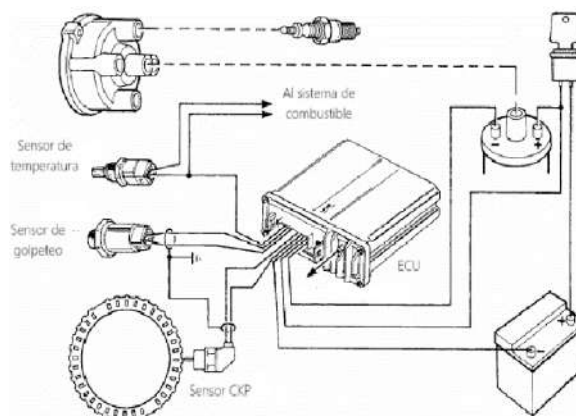


Ilustración 2-35: Sistema de encendido programado

Fuente: Denton, 2001, pág. 181.

El sistema de encendido sin distribuidor (DIS) de la Ilustración 2-36, es comúnmente empleado en motores de cuatro cilindros debido a que su complejidad se incrementa considerablemente con

más cilindros. Funciona bajo el principio de la "chispa perdida". Para distribuir la chispa, se utilizan dos bobinas de doble extremo, alternativamente activadas por la ECU. La sincronización se determina mediante un sensor de velocidad y posición del cigüeñal, considerando también la carga del motor y otras correcciones. Cuando una bobina se activa, produce una chispa que alcanza dos cilindros: ya sea el 1 y 4, o el 2 y 3. La chispa en el cilindro en la fase de compresión enciende la mezcla de combustible, mientras que la producida en el otro cilindro no tiene efecto, pues este se encuentra en la fase de escape (Denton, 2001, pág 184).

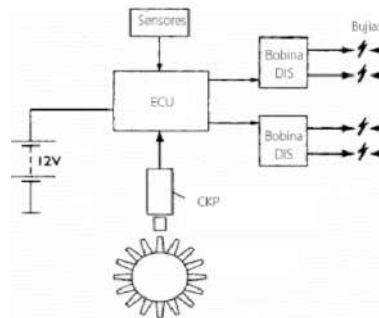


Ilustración 2-36: Sistema de encendido DIS

Fuente: Denton, 2001, pág. 184.

El encendido directo (COP), como se ilustra en la Ilustración 2-37, representa una evolución del sistema de encendido sin distribuidor. En este enfoque, se utiliza una bobina inductiva para cada cilindro, montadas directamente en las bujías. La figura ofrece una sección transversal detallada de una de estas bobinas de encendido directo. El empleo de una bobina individual para cada bujía garantiza un tiempo de respuesta rápido del devanado primario de baja inductancia. Este diseño asegura la generación de una chispa de alto voltaje y energía, esencial para iniciar eficientemente el proceso de combustión, especialmente en condiciones de arranque en frío y con mezclas débiles. Además, algunos sistemas de encendido directo implementan el encendido por descarga de condensador, lo que optimiza aún más el proceso de encendido (Denton, 2001, pág 185).

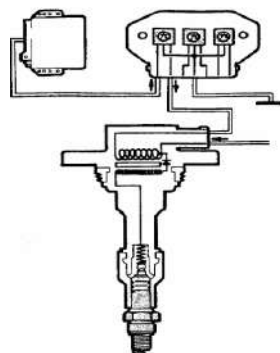


Ilustración 2-37: Sistema de encendido DIS

Fuente: Denton, 2001, pág. 185.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

La Ilustración 3-1 es una representación de las etapas de desarrollo del comprobador de sensores y actuadores para el sistema de inyección electrónica de vehículo a gasolina.

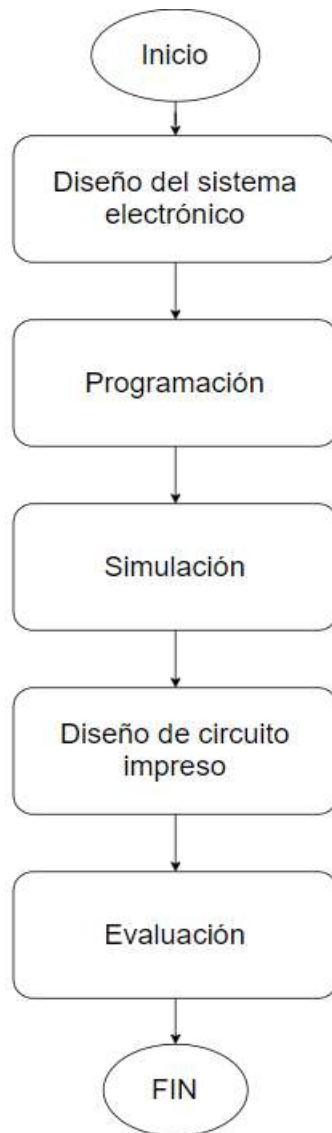


Ilustración 3-1: Diagrama de etapas del proyecto

Realizado por: Castro, R.,2023.

3.1 Diseño del sistema comprobador

La Ilustración 3-2 muestra el diagrama de bloques del comprobador de sensores y actuadores para el sistema de inyección electrónica de vehículo a gasolina que consta de:

- Sensores (MAP, TPS, IAT, ECT, O2, CKP y CMP)
- Módulo acondicionado analógico digital (A/D)
- Microcontrolador ATmega328P (uC)
- Interfaz de potencia (EP)
- Actuadores (Inyectores, IAC, Bobina de encendido)

Las características principales del Arduino Mega R3 se detallan en el ANEXO A. La programación se llevó a cabo utilizando el IDE de Arduino para las pruebas individuales de inyección secuencial en el ANEXO B, inyección simultánea en el ANEXO C e inyección Semisecuencial en el ANEXO D. El código para las bobinas de encendido DIS se encuentra en el ANEXO E y para las bobinas COP en el ANEXO F. Asimismo, el código para la válvula IAC está en el ANEXO G. Para las pruebas combinadas, se emplea el código del ANEXO H. Las especificaciones técnicas del vehículo utilizado para evaluar el dispositivo se presentan en el ANEXO J, correspondiente al Chevrolet Corsa Evolution 1,8.

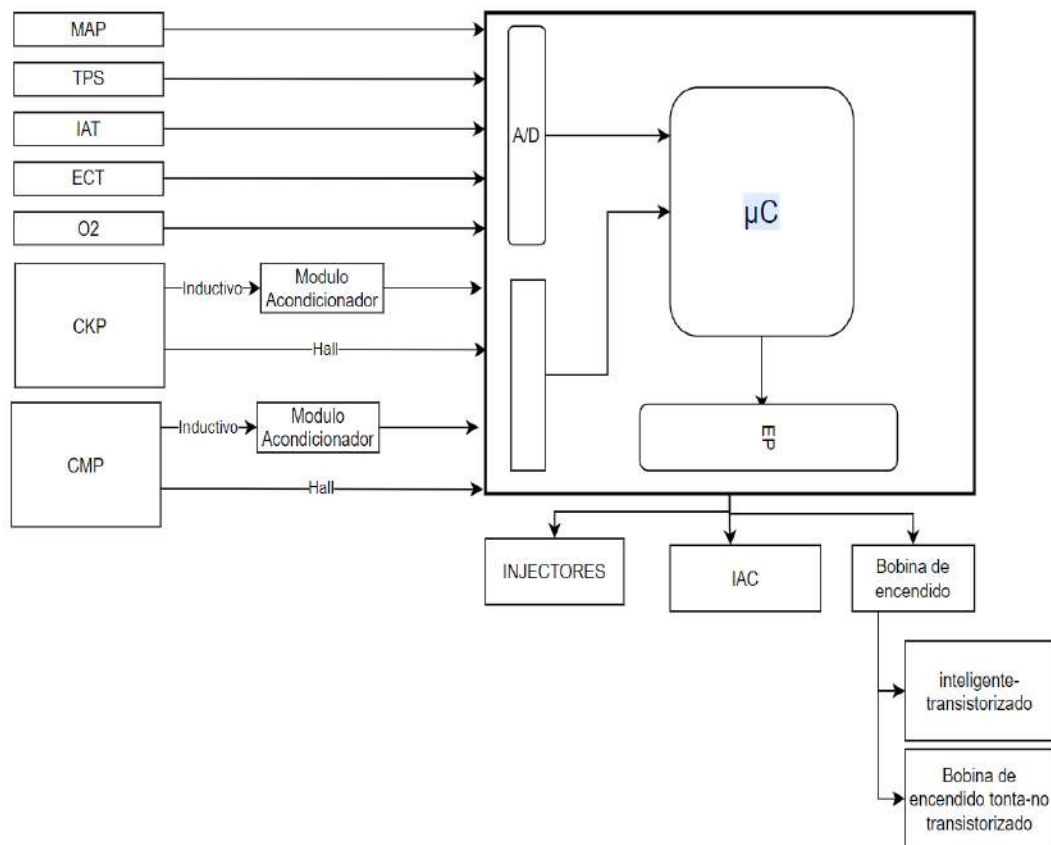


Ilustración 3-2: Diagrama de bloques del comprobador de sensores y actuador

Realizado por: Castro, R.,2023.

El circuito total del sistema con las conexiones entre los distintos dispositivos se muestra en el ANEXO K.

3.1.1 Diseño del circuito de regulación de voltaje

El circuito regulador de voltaje de la Ilustración 3-3, permite alimentar la placa PCB con un voltaje de 5V y 12V a los distintos circuitos. Esta dispuesto por los siguientes componentes:

- Diodo Schottky 30V 2A (D14)
- Diodo TVS 40,2 V (D15)
- Condensador electrolítico de aluminio de 10 μ F a 22V (C17)
- Capacitor cerámico X7R de 0,1 μ F a 50V (C15 y C20)
- Regulador de voltaje lineal positivo LM2940T-5 de 5V (U1)
- Condensador electrolítico de aluminio de 47 μ F a 22V (C21)

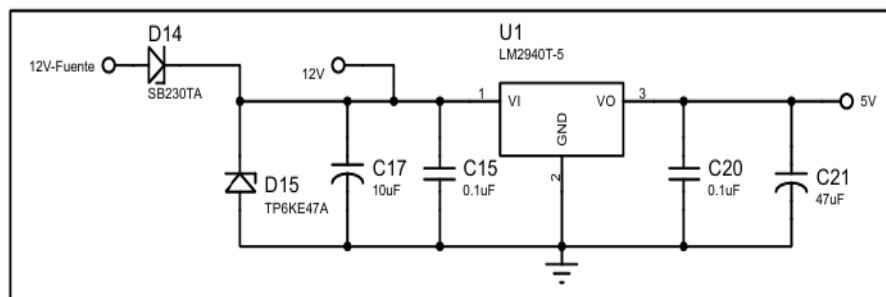


Ilustración 3-3: Circuito de regulación de voltaje

Realizado por: Castro, R.,2023

La Ilustración 3-3 muestra el circuito utilizado para regular el voltaje de entrada de 12V a 5V mediante el regulador de voltaje lineal LM 2940T-5 (consultar en el ANEXO L). El diodo D1 previene la conexión de la fuente de alimentación en polaridad inversa. Cuando la corriente fluye en la dirección adecuada, el diodo se polariza en directa, permitiendo que la corriente circule hacia la carga. El diodo D15 protege el circuito al permitir que la corriente inversa fluya de manera segura hacia la fuente en lugar de afectar los componentes. Los capacitores C17 y C21 permiten estabilizar el voltaje de entrada y salida a su valor nominal. Los capacitores C15 y C20, por su parte, se utilizan para eliminar ruidos.

Los elementos del circuito proporcionar un voltaje de alimentación de 5V y 12V de manera estable y sin interferencias, incluso cuando se ven expuestos a procesos como el encendido y apagado, así como a ruidos externos.

3.1.2 Diseño de interfaz de sensores

3.1.2.1 Diseño de interfaz de sensor de temperatura de entrada (IAT)

El circuito del sensor IAT (*Intake Air Temperature*) de la Ilustración 3-4, permite acondicionar la señal analógica proveniente del sensor físico para ser procesada en el microcontrolador. Está compuesta por los siguientes elementos:

- Resistencia de precisión 1% de 2,49k Ω a 0.25W (R1)
- Capacitor cerámico de 0,1 μ F a 25V (C1)
- Resistencia de 470 Ω a 0.25W (R2)
- Capacitor cerámico de 0,22 μ F a 50V (C2)

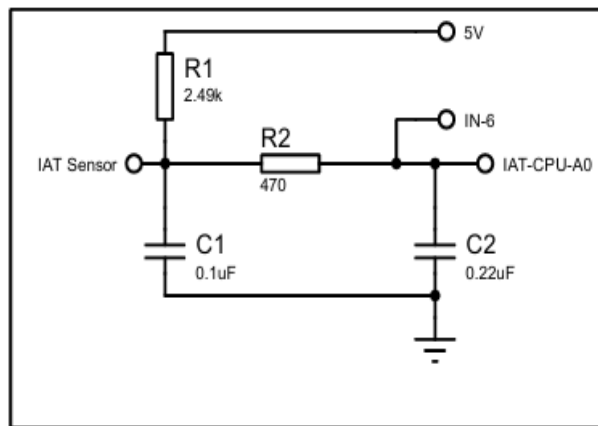


Ilustración 3-4: Circuito de acondicionamiento del sensor IAT

Realizado por: Castro, R.,2023.

El circuito que se muestra en la Ilustración 3-4, tiene una resistencia de precisión R1, la cual establece un divisor de voltaje con el termistor ubicado en el sensor IAT, para transformar el valor de temperatura del aire en un voltaje y poder ingresar a la entrada analógica A0 del microcontrolador ATmega2560. El capacitor C1 permite enviar el ruido hacia tierra mientras que la resistencia R2 y C2 forma un filtro pasa bajo con una frecuencia de 1,54kHz, según la Ecuación (1), para atenuar las frecuencias superiores. La conexión IN-6 permite la protección contra sobrevoltaje con el circuito integrado SP721 (revisar el ANEXO M).

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1)$$

La Ilustración 3-4 ejemplifica un acondicionador de un sensor resistivo, que transforma la variación óhmica del sensor IAT en un voltaje que el microcontrolador pueda evaluar, esto mediante una resistencia de polarización R1 formando un divisor de tensión con el termistor NTC (*Negative Temperature Coefficient*) del sensor IAT.

3.1.2.2 Diseño de interfaz de sensor de oxígeno (O2)

El circuito de la Ilustración 3-5 es el acondicionador de la señal analógica proveniente de la sonda lambda, está compuesta por los siguientes componentes:

- Capacitor cerámico de $0,1\mu\text{F}$ a 25V (C9)
- Resistencia de 470Ω a 0,25W (R22)
- Capacitor cerámico de $0,22\mu\text{F}$ a 25V (C10)

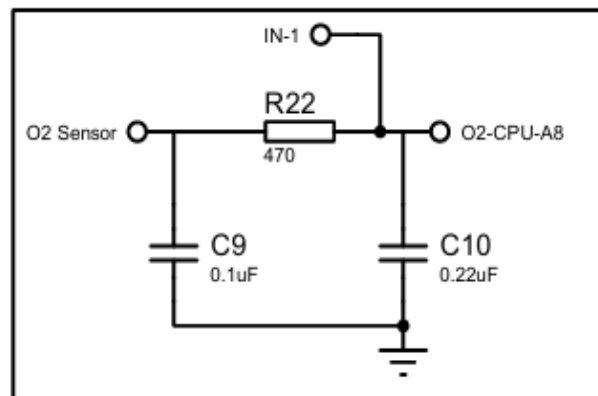


Ilustración 3-5: Circuito acondicionador del sensor de oxígeno

Realizado por: Castro, R.,2023.

El circuito mostrado en la Ilustración 3-5 recibe la señal analógica del sensor de oxígeno (O2 Sensor). Está compuesto por un filtro pasa bajo formado por la resistencia R22 y capacitor C10 para eliminar señales de interferencia mayores de 1,5kHz, según la Ecuación (1). Además, el capacitor C9 aterriza el ruego a tierra. También incluye la conexión IN-1 conectado al circuito integrado EP721 como media de protección contra sobrevoltajes por encima de cinco voltios. Y está conectado al pin analógico A8 del microcontrolador ATmega2560.

El circuito presentado en la Ilustración 3-5 desempeña un papel crucial al filtrar interferencias y prevenir sobretensiones durante el funcionamiento del sensor de oxígeno. Además, protege los pines del microcontrolador. En contraste con el circuito de la Ilustración 3-4, la principal diferencia radica en que el sensor de oxígeno genera directamente una señal de voltaje que puede ser evaluada por el microcontrolador sin necesidad de una resistencia de polarización para crear un divisor de tensión, como ocurre en el caso del sensor IAT, un sensor resistivo que produce exclusivamente una variación de resistencia.

3.1.2.3 Diseño de interfaz de sensor de posición de acelerador (TPS)

La Ilustración 3-6 es el circuito acondicionador de la señal analógica del sensor TPS (TPS Sensor), tiene los siguientes componentes electrónicos:

- Capacitor cerámico de $0,1\mu\text{F}$ a 25V (C5)
- Resistencia de 470Ω a 0,25W (R6)
- Capacitor cerámico de $0,22\mu\text{F}$ a 25V (C6)

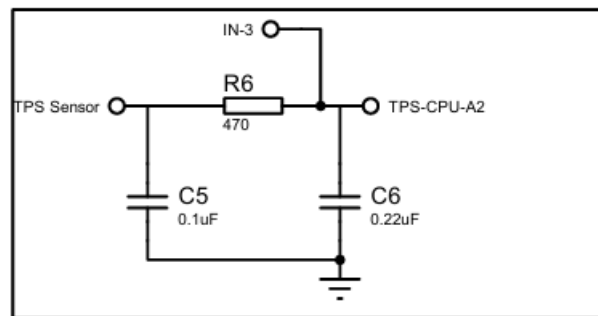


Ilustración 3-6: Circuito acondicionador del sensor TPS

Realizado por: Castro, R.,2023.

El esquema de la Ilustración 3-6 recibe la señal analógica del sensor TPS (TPS Sensor). El circuito tiene el capacitor C5 que aterriza el ruido a GND y la resistencia R6 y capacitor C6 que forman un filtro pasa bajo que no permite el paso de señales de alta frecuencia mayores de 1,5kHz de acuerdo con la Ecuación (1). Además, posee la conexión que está conectado al pin 3 IN-3 del circuito integrado SP731 para evitar sobretensión. La señal del sensor TPS llega al pin analógico A2 del microcontrolador ATmega328P.

El circuito representado en la Ilustración 3-6 se asemeja al esquema de la Ilustración 3-5 porque tanto el sensor de oxígeno como el sensor TPS son dispositivos de tipo resistivo que se asemejan a un potenciómetro.

3.1.2.4 *Diseño de interfaz de sensor de presión absoluta (MAP)*

El circuito de la Ilustración 3-7 este compuesto por dos circuitos, el primero correspondiente al sensor de presión MPX4250 que es un sensor que va montado sobre la propia placa PCB y el otro es el circuito acondicionador de la señal analógica proveniente de un sensor MAP externo. Esta dispuesto de los siguientes elementos:

- Capacito cerámico de $0,01\mu\text{F}$ de 50V (C19)
- Capacitor cerámico de $1\mu\text{F}$ a 50V (C22)

- Sensor MPX4250 (MPX1)
- Jumper (JP11)
- Resistencia de 470Ω a 0,25W (R41, R37)
- Capacitor cerámico de 470pF de 50V (C17, C26)

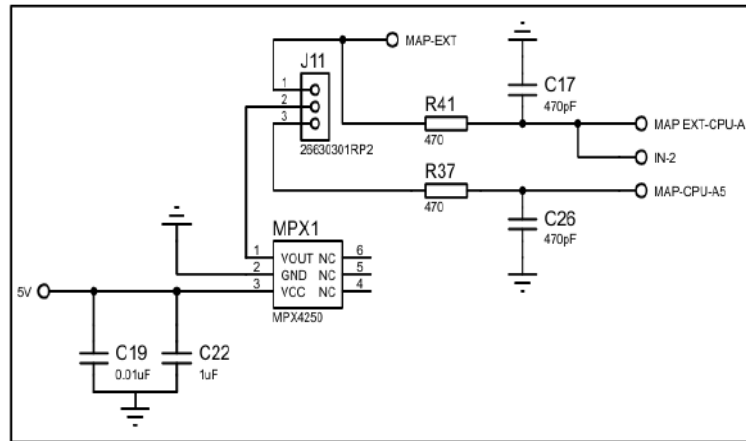


Ilustración 3-7: Circuito de sensor MAP

Realizado por: Castro, R.,2023.

El circuito mostrado en la Ilustración 3-5 muestra el sensor de presión MPX450 (consultar ANEXO N) el cual consta de 6 pines. En esta configuración, se emplea los 3 pines principales: alimentación (VCC), tierra (GND), salida de señal (VOUT). La entrada de alimentación de 5V está dispuesta de 2 condensadores, C19 y C22, para aterrizar el ruido a tierra y estabilizar el voltaje a su valor nominal. Estos condensadores tienen valores distintos para atenuar ruidos a diferentes frecuencias.

Por otro lado, el pin 2 corresponde a la conexión a tierra del transductor, mientras que el pin 1 representa la salida analógica del sensor que varía de acuerdo con la presión aplicada. Esta señal llega a un jumper de 3 pines, denominado J11, el cual dirige la señal hacia dos circuitos de acondicionamiento. El jumper JP11 se activa al conectar los pines 2 y 3, indicando que la señal proviene del sensor de presión MPX450.

En esta configuración, la señal pasa a través de la resistencia R37 y el capacitor C26, los cuales forman un filtro pasa bajo con una frecuencia de corte de 720kHz, según se indica en la Ecuación (1). Posteriormente, esta señal de presión llega al pin analógico A5 del microcontrolador ATmega2560 para su procesamiento.

La señal externa del MAP, que es el sensor de presión absoluta del coche, atraviesa las resistencias R41 y C17, las cuales, al igual que en el caso anterior, forman un filtro pasa bajo con una

frecuencia de corte de 720kHz. Además, esta línea está conectada a través de IN-2 al circuito integrado SP721, específicamente al pin 2, para prevenir sobretensiones por encima de los 5V. Finalmente, este circuito llega al pin analógico 3 del microcontrolador para su procesamiento. Es importante destacar que los valores de los capacitores en este circuito son menores en comparación con los circuitos previamente mencionados. Esto se debe a que el sensor MAP incluye capacitancia en su propio circuito, lo que significa que se necesita una cantidad adecuada de capacitancia en los condensadores de suavizado tanto en la entrada como en la salida de la señal para evitar cambios no deseados en la misma.

3.1.2.5 Diseño de interfaz de sensor de posición de cigüeñal (CKP) y sensor de posición de árbol de levas (CMP)

El esquema de la Ilustración 3-8 representa el circuito de acondicionamiento de las señales del sensor CKP y CMP, los cuales puede ser de tipo inductivo o hall de acuerdo con el tipo de vehículo que se esté evaluando, por lo tanto, el acondicionador está dispuesto para estos dos tipos de señal. Los elementos del que está dispuesto son:

- Resistencia de 1k Ω a 0,25W (R39 y R40)
- Jumper (JP2, JP3, JP4 y JP5)
- Capacitor cerámico de 0,01 μ F de 50V (C24, C25)
- Circuito integrado VR Conditioner MAX9926 (IC3)

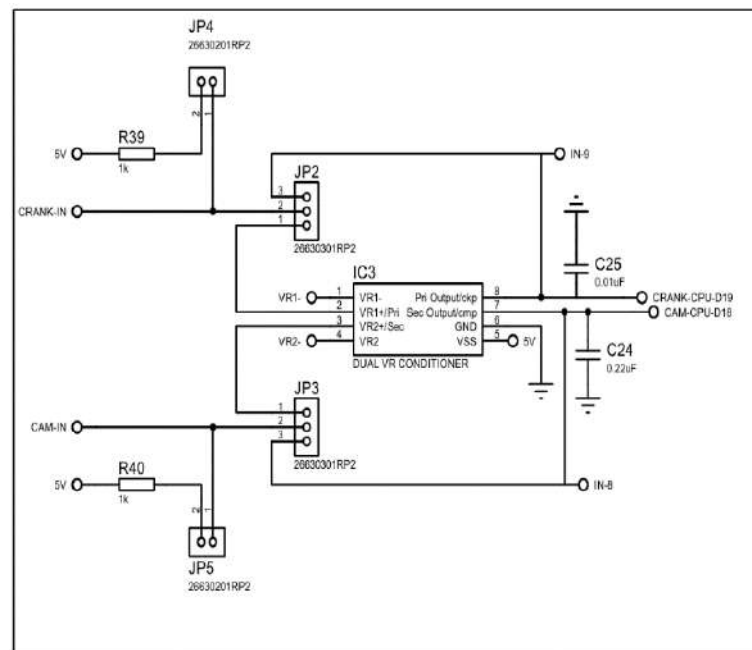


Ilustración 3-8: Circuito de sensor CKP y CMP

Realizado por: Castro, R.,2023.

El esquema de la Ilustración 3-8 muestra la señal de entrada del sensor de posición de cigüeñal denominada CRANK-IN, la cual puede provenir de un sensor de tipo inductivo o efecto hall. En caso de conectar un sensor de tipo inductiva, no se activa el jumper JP4, debido a que este sensor induce su propio voltaje. La señal del sensor llega al pin 2 del circuito integrado MAX9926 (consultar ANEXO O), donde es procesada y convertida en una señal digital que sale por el pin 8 del mismo circuito integrado.

La línea de conexión IN-9, que llega a circuito integrado SP721, proporciona protección contra picos de voltaje. Además, está conectado al capacitor C25, que permite aterrizar el ruido a tierra. Finalmente, la salida esta al pin digital 19 del microcontrolador ATmega2560.

Cuando la señal de entrada proviene de un sensor digital es conectada al igual que el anterior caso al CRANK-IN, con la peculiaridad de que se conecta el jumper JP2 los pines 2 y 3, la línea continua hasta llegar al capacitor C25, que se encarga de filtrar el ruido de alta frecuencia presente en la señal. Finalmente, la salida se dirige al pin digital D19 del microcontrolador ATmega2560 para su posterior procesamiento.

Para el sensor de posición de posición de árbol de levas de la parte inferior de la Ilustración 3-8 donde se puede conectar un sensor CMP de tipo inductivo o efecto Hall. En el caso de un sensor CMP tipo inductivo, se conecta a la entrada CAM-IN sin activar el jumper JP5. La señal se dirige al jumper JP3, donde se conecta los pines 1 y 2, y luego llega al pin 3 del circuito integrado IC3. Este circuito integrado convierte la señal analógica en una señal digital que se emite por el pin 7. La salida está conectada a un capacitor C24 para disipar el ruido a tierra, y la línea de conexión alcanza el pin digital D19 del microcontrolador. Por otro lado, si se utiliza un sensor CMP digital, se activa el jumper JP3 conectando los pines 2 y 3. La señal se aterriza mediante el capacitor C24 para eliminar el ruido eléctrico y luego llega al pin digital D18 del microcontrolador ATmega2560.

3.1.2.6 *Diseño de interfaz de sensor de temperatura de refrigerante (ECT)*

El circuito del sensor ECT (*Engine Coolant Temperature*) de la Ilustración 3-9, permite acondicionar la señal analógica proveniente del sensor de temperatura del refrigerante, para ser procesada en el microcontrolador. Está compuesta por los siguientes elementos:

- Resistencia de precisión 1% de $2,49k\Omega$ a 0,25W (R3)
- Capacitor cerámico de $0,1\mu F$ a 50V (C3)

- Resistencia de 470Ω a $0,25W$ (R4)
- Capacitor cerámico de $0,22\mu F$ a $50V$ (C4)

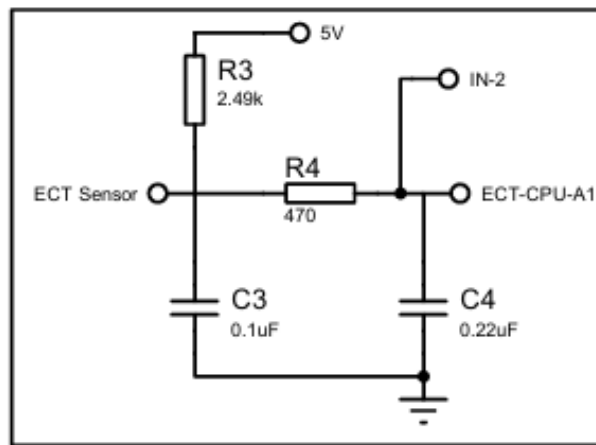


Ilustración 3-9: Circuito acondicionador de sensor ECT

Realizado por: Castro, R.,2023.

El esquema representado en la Ilustración 3-9, tiene una resistencia de precisión R3 que establece un divisor de voltaje con el termistor NTC del sensor IAT. Este divisor de voltaje transforma el valor de la temperatura del aire de admisión en un voltaje que se puede ingresar a la entrada analógica A1 del microcontrolador ATmega2560. El capacitor C3 se encarga de desviar el ruido hacia tierra, mientras que la resistencia R4 y el capacitor C2 forman un filtro pasa bajo cuya frecuencia de corte, según la Ecuación (1), es de $1,5kHz$. Además, la conexión IN-2 proporciona protección contra picos de voltaje mediante el circuito integrado SP721.

La Ilustración 3-9 ejemplifica un acondicionador de señal para un sensor resistivo similar al circuito del sensor IAT. Este acondicionador convierte la variación en la resistencia del sensor en un voltaje mediante el divisor de tensión con el termistor del sensor de temperatura de aire de admisión.

3.1.3 *Diseño de interfaz de actuadores*

3.1.3.1 *Diseño de interfaz de inyector*

El circuito de la Ilustración 3-10, permite accionar el inyector de acuerdo con los parámetros establecido en el microcontrolador. Está compuesta por los siguientes elementos:

- Resistencia de 680Ω a $0,25W$ (R9)
- Diodo led rojo (LED 1)

- Diodo 1N4004 (D9)
- Transistor MOSFET 62A de 33V (Q1)
- Resistencia de $1k\Omega$ a 0,25W (R10)
- Resistencia de $100k\Omega$ a 0,25W (R11)

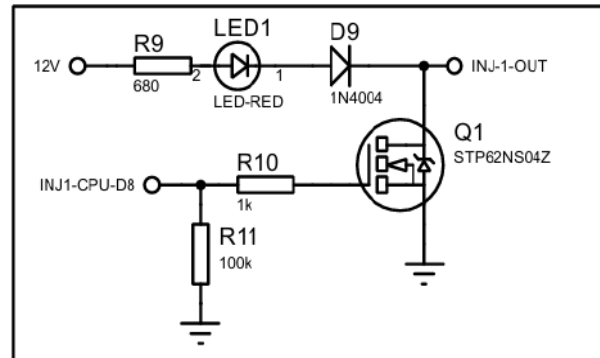


Ilustración 3-10: Circuito de inyector 1

Realizado por: Castro, R.,2023.

El circuito mostrado en la Ilustración 3-10 gestiona la señal de activación digital del inyector 1, la cual proviene del pin digital 8 del microcontrolador ATmega2560. La señal digital atraviesa la resistencia R11, que actúa como una resistencia *pull down* para evitar que la señal quede flotante. También está presente la resistencia de compuerta R10 que limita la corriente que llega a la puerta(*gate*) del transistor MOSFET Q1 (ver ANEXO P), esto para evitar picos de corriente en los tiempos de corte y saturación del transistor.

El transistor Q1, la puerta *source* conectada a tierra, el *gate* a la resistencia R10 y el *drain* va directamente a la salida del inyector INJ-1-OUT. Además, se tiene el circuito del LED1, que permite verificar cuándo el inyector se activa. En este circuito, la resistencia R9 cumple la función de proteger al LED1 al limitar la cantidad de corriente que circula, mientras que el diodo D9 que actúa como protección contra la fuerza electromotriz generada por la bobina del inyector.

El circuito de la Ilustración 3-10 se replica cuatro veces con los mismos componentes, ya que se refiere a un motor de 4 cilindros, lo que implica la presencia de 4 inyectores en total.

3.1.3.2 Diseño de interfaz de bobina de encendido

El esquema de la Ilustración 3-11, representa el controlador del circuito de potencia de dos canales para accionar la bobina de encendido a través de un transistor de potencia. Los elementos del que está dispuesto son:

- Resistencia de precisión 1% de $1k\Omega$ a 0,25W (R23 y R24)
- Resistencia de precisión 1% de $100k\Omega$ a 0,25W (R5 y R35)
- Circuito integrado TC4424EOA (IC1)
- Resistencia de precisión 1% de $2,4k\Omega$ a 0,25W (R26 y R28)
- Diodo led rojo (LED5 y LED6)
- Capacitor cerámico de $0,1\mu F$ de 50V (C11)
- Capacitor cerámico de $1\mu F$ de 50V (C13)
- Jumper (JP1)

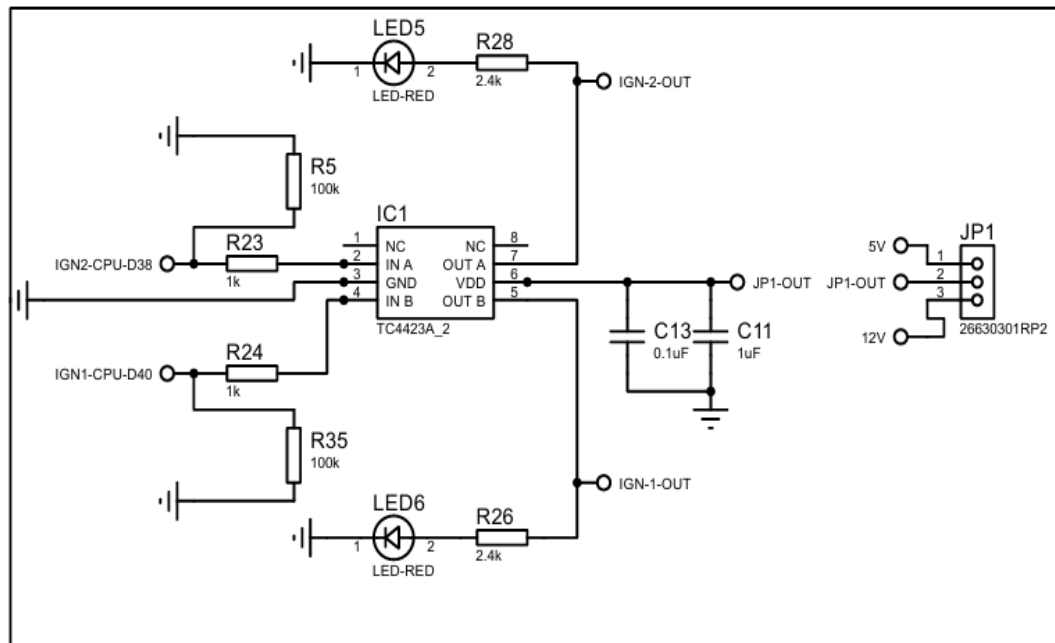


Ilustración 3-11: Circuito de activación de la bobina de encendido

Realizado por: Castro, R.,2023.

El circuito mostrado en la Ilustración 3-11 se encarga de gestionar la señal de activación digital proveniente del microcontrolador ATmega2560 hacia las bobinas. Esta señal digital proviene del pin D28 y D40.

En el primer caso, la señal proviene del pin digital D38. Esta señal pasa a través de la resistencia R5, que actúa como una resistencia *pull down* que cumple la función de conectar la señal a tierra cuando no hay un voltaje de activación presente, evitando de esta manera que la señal quede en un estado flotante y asegurando una referencia definida para el circuito. La resistencia R23 limita el flujo de corriente. Esta línea de conexión llega al pin 2 del circuito integrado TC4424EOA (consultar ANEXO Q). La salida del circuito integrado IC1 es el pin 7, que activa la bobina 2. Además, se tiene el circuito led LED5, que indica la activación de la bobina de encendido, junto con la resistencia R28 que protege al LED5 al limitar la corriente.

En el segundo caso, la señal de activación proviene del pin digital 40 del microcontrolador ATmega2560, es similar al caso anterior. Por lo tanto, los elementos R35, R24, R26 y LED6 desempeñan la misma función descrita anteriormente. Además, los capacitores C11 y C13 se encargan de suavizar el circuito de potencia para evitar caídas de voltaje.

También, en la Ilustración 3-11, a la derecha, se encuentra un jumper JP1 de tres pines que se puede configurar según el sistema de encendido de 5V o 12V que esté siendo evaluado.

3.1.3.3 Diseño de interfaz de válvula IAC

La Ilustración 3-12, muestra el circuito del *controlador* de control que activa la válvula de control de aire en ralentí. Este circuito incluye los siguientes componentes:

- Circuito de control A4988

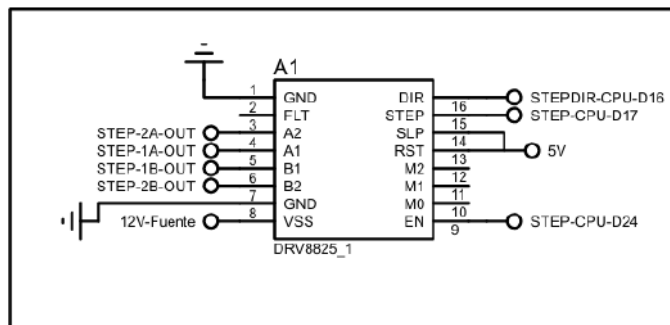


Ilustración 3-12: Circuito de activación de válvula IAC

Realizado por: Castro, R.,2023.

El circuito mostrado en la Ilustración 3-12, emplea el circuito integrado A4989 (ver ANEXO R), que consta de 16 pines. Los pines 1 y 7 están conectados a tierra, por otro lado, los pines 3 y 4 se utilizan para la conexión a la primera bobina, y los pines 5 y 6 para la conexión a la bobina 2. La fuente de alimentación proporciona 12 voltios al pin 8. Por otro lado, el pin 9 se emplea para habilitar o deshabilitar la funcionalidad del controlador de motor paso a paso. Los pines 13 y 14 reciben un voltaje de 5V. Además, el pin 15 se utiliza para controlar la dirección del movimiento y el pin 16 se emplea para controlar la cantidad de pasos. Es decir, el circuito DRV8825 es un controlador de motor paso a paso de alta corriente que se utiliza ampliamente en aplicaciones donde se requiere un control preciso de motores paso a paso.

3.1.4 Programación

- *Inyectores*

El diagrama de flujo correspondiente a la inyección secuencial se encuentra en la Ilustración 3-13, y el programa en el ANEXO B.

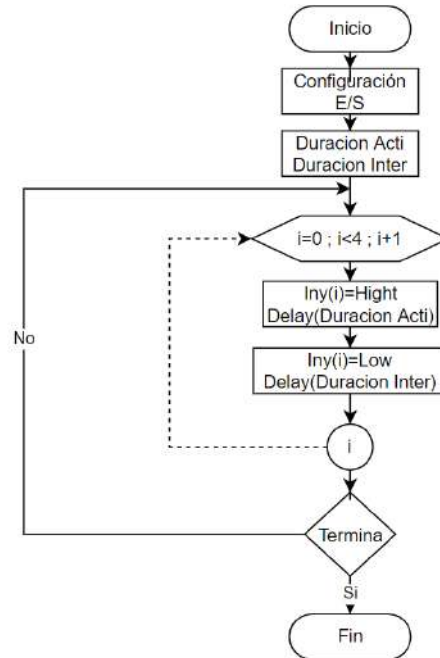


Ilustración 3-13: Diagrama de flujo de inyección secuencial

Realizado por: Castro, R.,2023.

El diagrama de flujo correspondiente al sistema de inyección simultánea es el presentado en la Ilustración 3-14, consultar el programa en el ANEXO C.

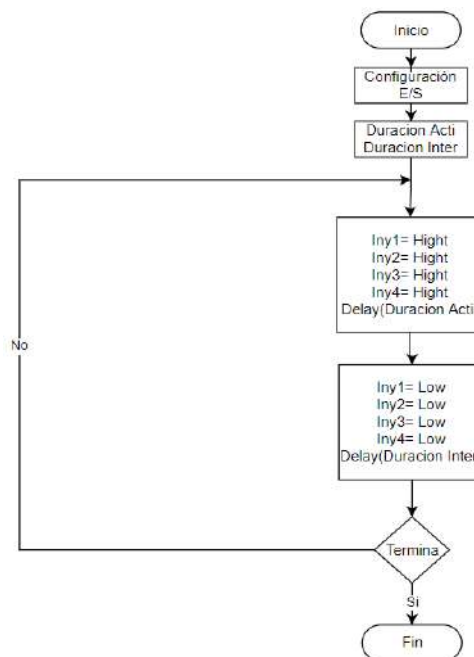


Ilustración 3-14: Diagrama de flujo de inyección simultánea

Realizado por: Castro, R.,2023.

El diagrama de flujo correspondiente al sistema de inyección semisequencial es el presentado en la Ilustración 3-15, revisar el código en el ANEXO D.

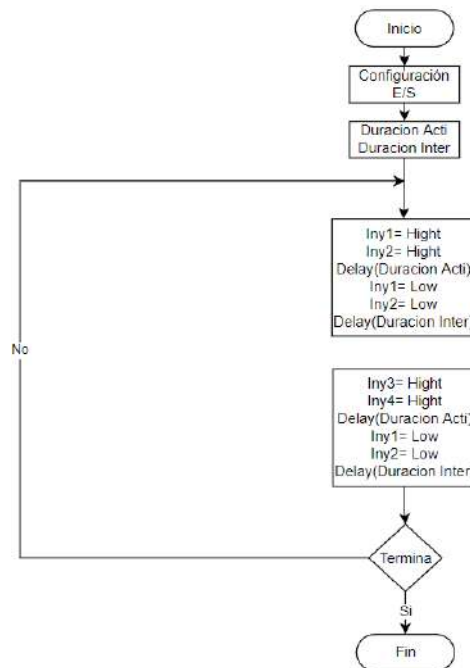


Ilustración 3-15: Diagrama de inyección semisequencial

Realizado por: Castro, R.,2023.

- *Bobinas de encendido*

El diagrama de flujo, correspondiente al sistema de encendido DIS, que recibe una señal de activación de 2 canales, se encuentra en la Ilustración 3-16, consultar el programa en el ANEXO E.

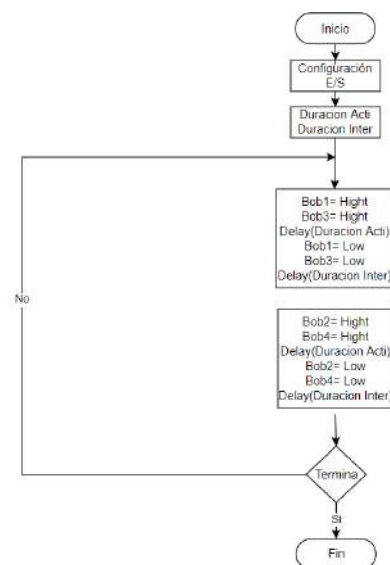


Ilustración 3-16: Diagrama de flujo de bobinas DIS

Realizado por: Castro, R.,2023.

El diagrama de flujo del sistema de encendido COP, que recibe una señal de activación de 4 canales, se encuentra en la Ilustración 3-17, revisar el programa en el ANEXO F.

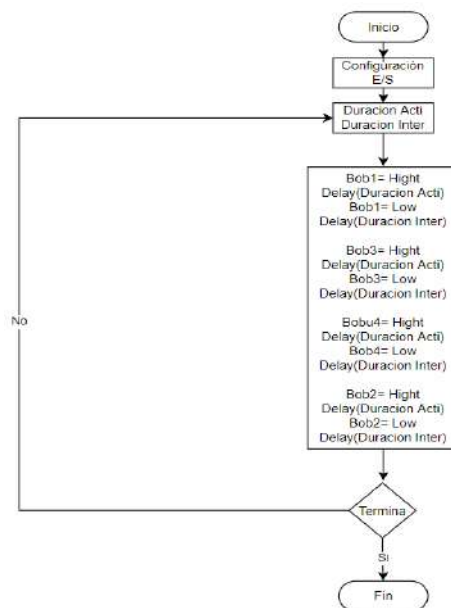


Ilustración 3-17: Diagrama de flujo de bobinas COP

Realizado por: Castro, R.,2023.

- *Válvula de ralentí*

Para el control de la válvula IAC se utiliza el módulo DRV8825, un controlador de motor paso a paso para motores bipolares, se presenta el diagrama de flujo de la Ilustración 3-18, consultar el código en el ANEXO G.

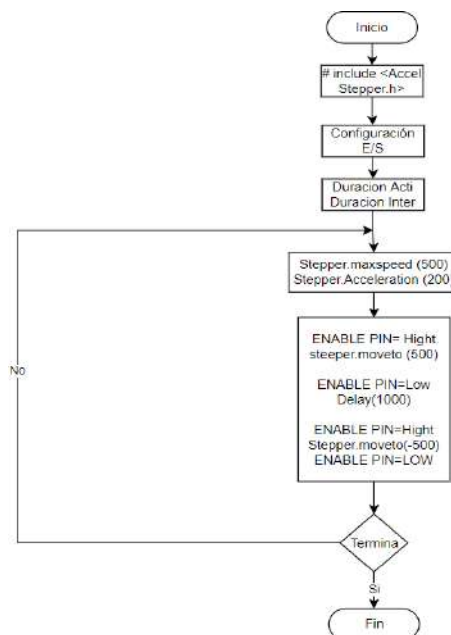


Ilustración 3-18: Diagrama de flujo de válvula IAC

Realizado por: Castro, R.,2023.

- *Evaluación general*

Para la evaluación del conjunto de los sensores y actuadores se utiliza el diagrama de flujo de la Ilustración 3-19, revisar el ANEXO H.

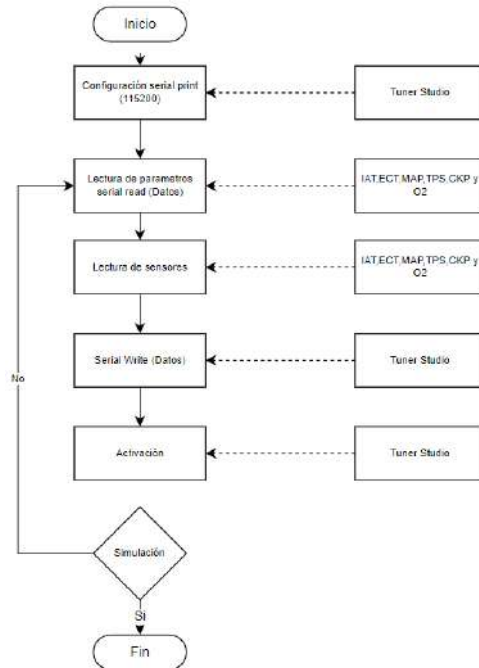


Ilustración 3-19: Diagrama de flujo de evaluación general

Realizado por: Castro, R.,2023.

3.1.5 Simulación

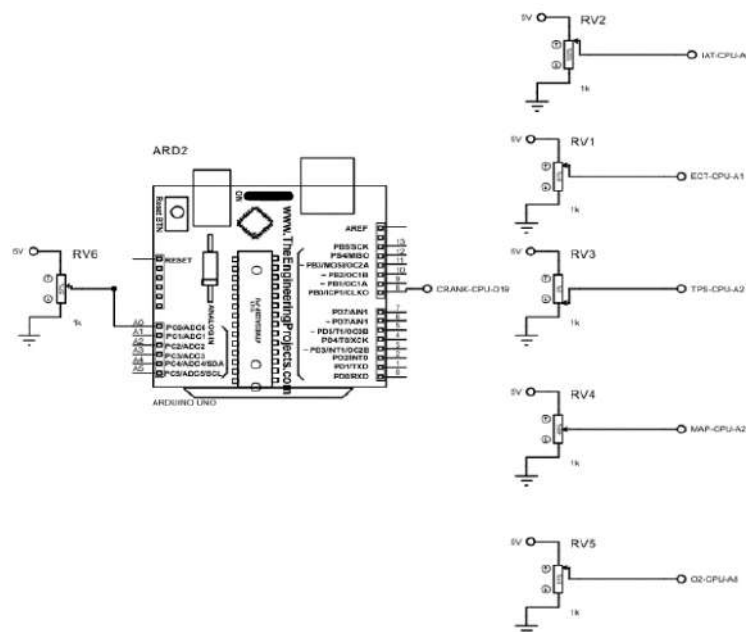


Ilustración 3-20: Simulador de sensores con potenciómetros

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 3-20 muestra la simulación de sensores en Proteus. Los potenciómetros RV2, RV1, RV3 y RV4 representan las señales de los sensores IAT, ECT, TPS, MAP y O₂, respectivamente. Para simular la señal del sensor CKP de tipo inductivo, se utiliza el potenciómetro RV6 para dirigir la señal hacia el Arduino Uno y obtener una señal digital. Se recomienda revisar el código en el ANEXO I para más detalles sobre esta simulación.

La interfaz de Proteus establece comunicación con el programa TunerStudio a través del componente virtual Compim, como se muestra en la Ilustración 3-21. Esta conexión permite simular el comportamiento de los actuadores ante variaciones en la resistencia de los sensores.

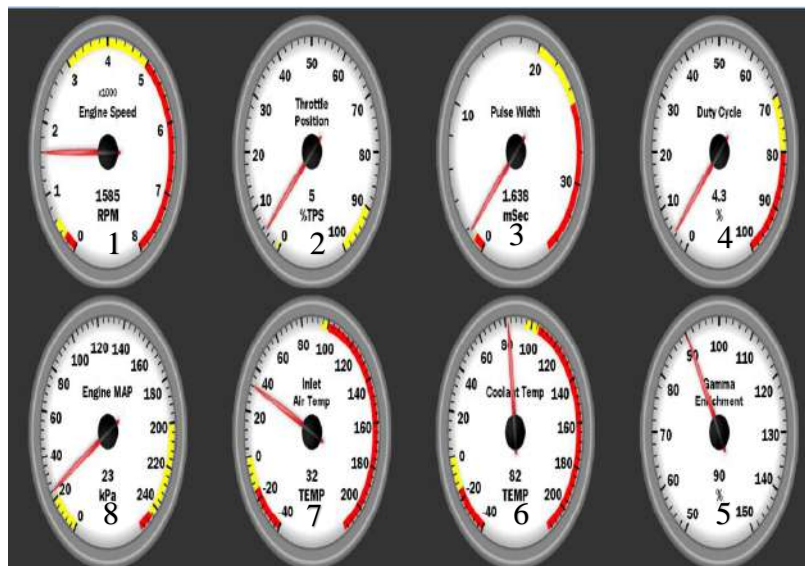


Ilustración 3-21: Simulación virtual en TunerStudio

Realizado por: Castro, R.,2023.

Cada indicador de la Ilustración 3-21 está asociado a un sensor específico. El primer indicador mide las revoluciones por minuto del motor a través del sensor CKP, mientras que el segundo indicador muestra la posición del cuerpo de aceleración mediante el sensor TPS. Los indicadores 3 y 4 representan el comportamiento del inyector, mostrando el tiempo de pulso de inyección y el ciclo de trabajo respectivamente. El indicador 5 está vinculado al ajuste de la mezcla aire-combustible, evaluado según la señal del sensor de oxígeno. Por otro lado, el indicador 6 muestra la temperatura del motor obtenida del sensor ECT, el indicador 7 indica la temperatura del aire de admisión, y el indicador 8 refleja la presión en el múltiple de admisión a partir del sensor MAP. Cabe destacar que cada uno de estos sensores está simulado como potenciómetros en la representación virtual.

3.1.6 *Diseño de circuito impreso*

El diseño del circuito impreso fue elaborado en el software Proteus, como se muestra en la Ilustración 3-22(a) y su respectiva visualización 3d en la Ilustración 3-22(b). Los principales componentes del que está dispuesto el circuito de la Ilustración 3-22 son:

1. Fuente de alimentación
2. Leds de activación de inyectores
3. Conexión del sensor MAP
4. Controlador de la válvula IAC
5. Circuito de control para bobinas de encendido
6. Transistores para control de inyectores
7. Circuitos integrados de sobrevoltajes
8. Circuito integrado para sensor CKP y CMP
9. Circuito acondicionar de sensor TPS
10. Circuito acondicionador del sensor de oxígeno
11. Circuito acondicionador de IAT
12. Circuito acondicionador del sensor ECT
13. Conector de señales de entrada y salida

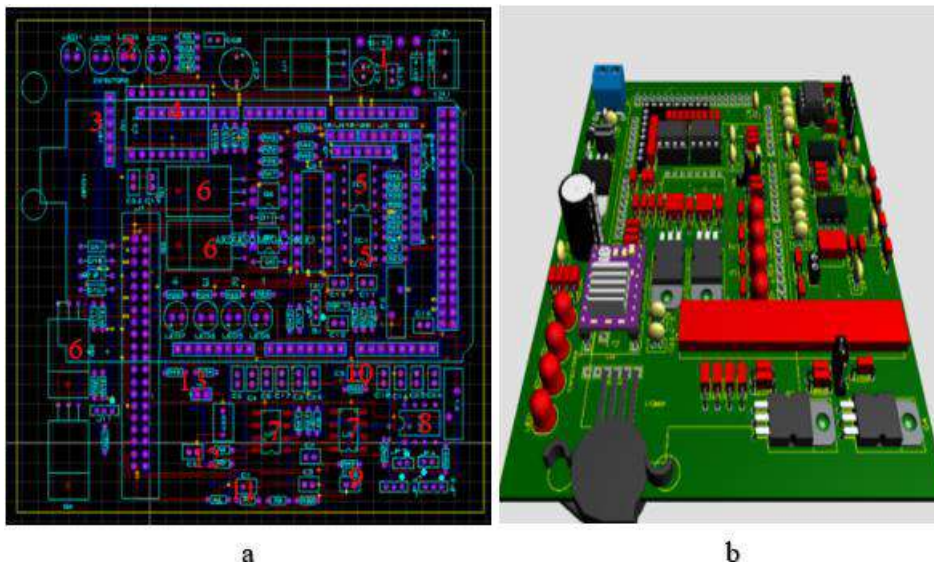


Ilustración 3-22: Placa PCB (a) y visualización 3d (b)

Realizado por: Castro, R.,2023.

3.1.7 *Diseño de la cubierta*

El diseño de la cubierta se ha realizado utilizando SolidWorks, y se puede observar en detalle en la Ilustración 3-23. Este diseño consta de dos elementos principales: la tapa del dispositivo

verificador de sensores y la caja que lo contiene. Para una referencia detallada, los planos se encuentran disponibles en los el ANEXO S y ANEXO T , respectivamente.

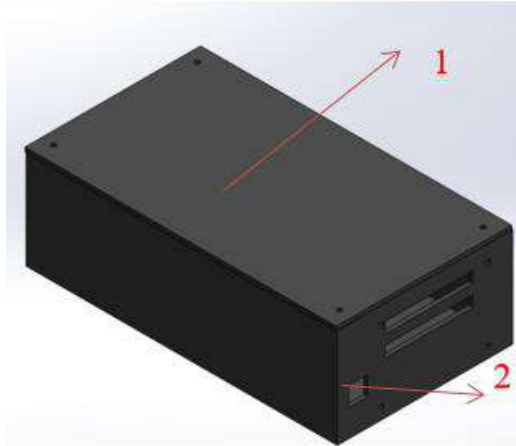


Ilustración 3-23: Cubierta de dispositivo

Realizado por: Castro, R.,2023.

El montaje final del comprobador de sensores y actuadores, utilizado para evaluar el funcionamiento del sistema de inyección electrónica de un vehículo a gasolina, se muestra en detalle en la Ilustración 3-24.



Ilustración 3-24: Comprobador de sensores y actuadores

Realizado por: Castro, R.,2023.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Evaluación del desempeño de comprobador de sensores

4.1.1.1 Sensor CKP

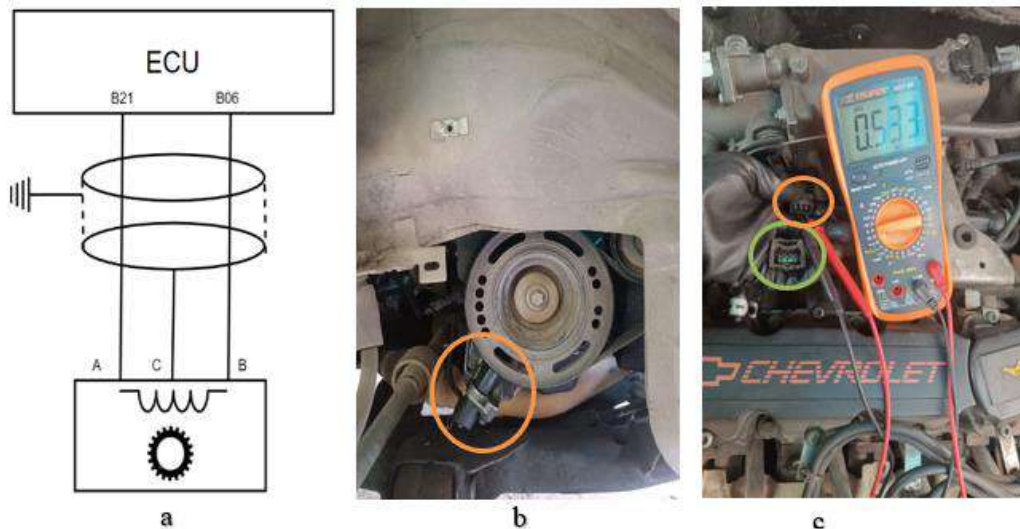


Ilustración 4-1: Sensor CKP: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-1(a), muestra la conexión de la unidad de control electrónico con el sensor de posición de cigüeñal (CKP); el pin A, B, C del sensor corresponden a señal, tierra y coaxial; este último actúa como protección contra perturbaciones externas como ruido. Además, el pin A y B del sensor están conectados al pin B21 y B27 de la ECU.

El sensor CKP se localiza en la polea del cigüeñal, en la parte frontal del MCI debajo del sistema de distribución, tal como se evidencia en la Ilustración 4-1(b). La Ilustración 4-1(c), se muestra los pines descritos en la Ilustración 4-1(a), el conector hembra proveniente de la ECU (color verde) y el conector macho (color naranja) el arnés del sensor CKP. El proceso para identificar los terminales del sensor involucra el uso del diagrama eléctrico de la Ilustración 4-1(a), para corroborar la información se utiliza el multímetro de la Ilustración 4-1(c) y asegurarse que los terminales del sensor coinciden con los detalles del diagrama eléctrico. Determinado el número de cables, color y pines correctos, se procede a medir la resistencia del sensor CKP, el valor se puede apreciar en la Ilustración 4-1(c). Esta resistencia es de 533 ohms, encontrándose dentro del rango establecido en el manual del vehículo. Los valores de rpm y frecuencia correspondientes al sensor CKP se presenta en la Ilustración 4-2.

RPM	Frecuencia	Periodo (ms)
800		12,73
1500		27,02
2500		57,36

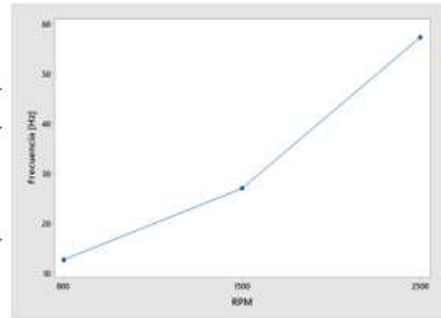


Ilustración 4-2: Sensor CKP: a) Revoluciones vs resistencia, b) Gráfica

Realizado por: Castro, R.,2023.

- *Análisis de gráfica en osciloscopio de sensor CKP*

La señal de osciloscopio permite conocer las características fundamentales del sensor CKP y el patrón de dientes de la rueda fónica. En la Ilustración 4-3 se aprecia la señal analógica del sensor CKP usando el osciloscopio Hantek 1008c, el canal 1 (color amarillo). Con la información descrita en la Ilustración 4-1 se identifica los terminales del sensor CKP, cable de señal y GND. Conectamos la punta del canal 1 (color rojo) al cable de señal y la otra punta (color negro) a GND. La señal capturada se visualiza en la Ilustración 4-3.

Para mejorar la resolución de la imagen, se ajusta el voltaje en el eje “y” a 2 voltios por división y el tiempo de 10 ms por división en el eje de las abscisas. Posteriormente, se activa el trigger del canal 1(color amarillo) que se encuentra en el lado derecho de la Ilustración 4-3 para poder estabilizar la gráfica y evaluar la gráfica de mejor forma.

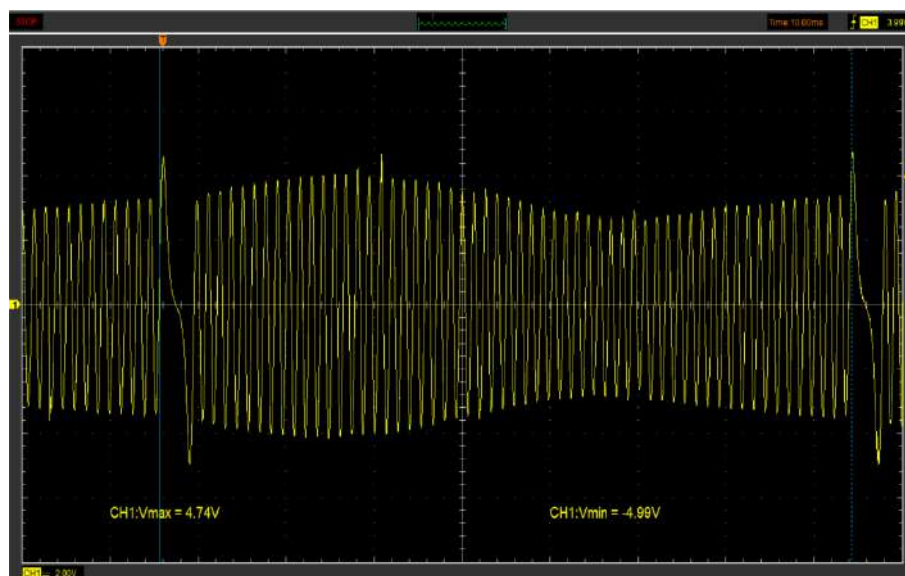


Ilustración 4-3: Señal de sensor CKP a ralentí 800 rpm:

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-3 presenta los parámetros claves del sensor CKP. El sensor es de tipo inductivo que emite una señal sinusoidal con un total de 60 dientes menos 2 dientes perdidos. Durante el ralentí del motor, el voltaje oscila entre -6.4V y $+6.01\text{V}$ de pico a pico. Esta amplitud varía en función del ciclo del motor, específicamente durante la compresión y la explosión. Además, el tiempo requerido para completar una vuelta es aproximadamente de 78.5 milisegundos, con una frecuencia de 12.73 Hz. La señal del sensor CKP a 1500 rpm se presenta en la Ilustración 4-4.

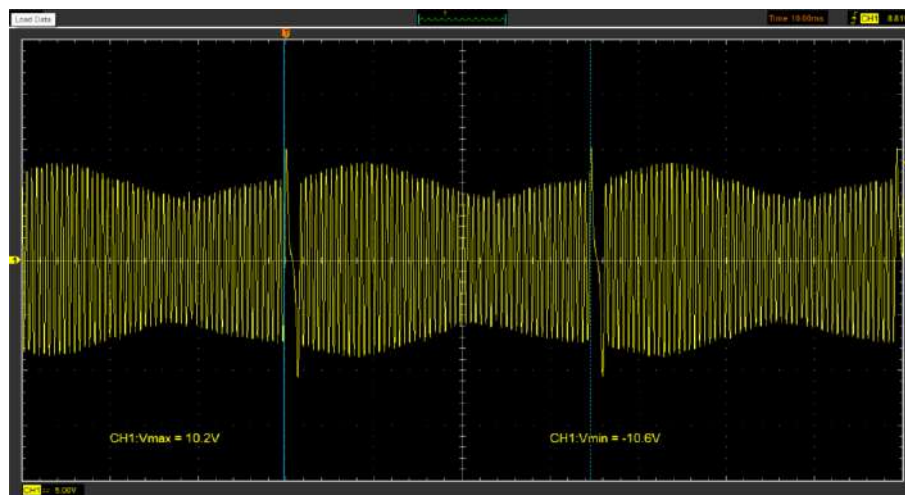


Ilustración 4-4: Señal de sensor CKP a ralentí 1500 rpm:

Realizado por: Castro, R.,2023.

La configuración en el osciloscopio de la Ilustración 4-4 en el eje de las ordenadas “y” de 5 voltios por división y eje de las abscisas “x” 10 ms por división. El voltaje de la Ilustración 4-4 oscila entre -6.40V y $+6.01\text{V}$ de pico a pico. Además, el tiempo requerido para completar una vuelta es aproximadamente de 37 milisegundos, con una frecuencia de 27.02 Hz. La señal del sensor CKP a 2500 rpm se presenta en la siguiente

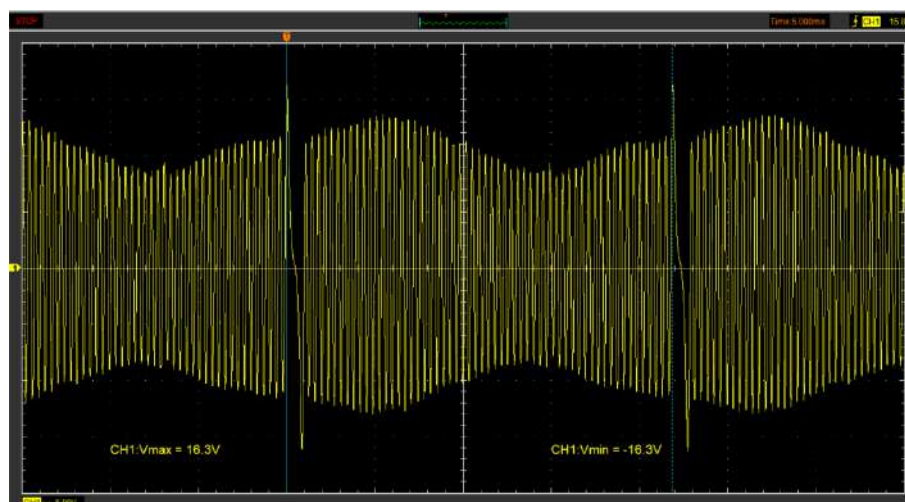


Ilustración 4-5: Señal de sensor CKP a ralentí 2500 rpm:

Realizado por: Castro, R.,2023.

La configuración en el osciloscopio de la Ilustración 4-5 en el eje de las ordenadas “y” es 5 voltios por división y eje de las abscisas “x” 5ms por división. El voltaje de la Ilustración 4-4 oscila de -16.3V a +16.03V de pico a pico. Además, el tiempo que demora la rueda dentada del cigüeñal es aproximadamente de 17.4 milisegundos, con una frecuencia de 57.36 Hz.

- *Conexión con el dispositivo comprobador*

Para la prueba individual en el vehículo se considera el esquema de la Ilustración 4-6.

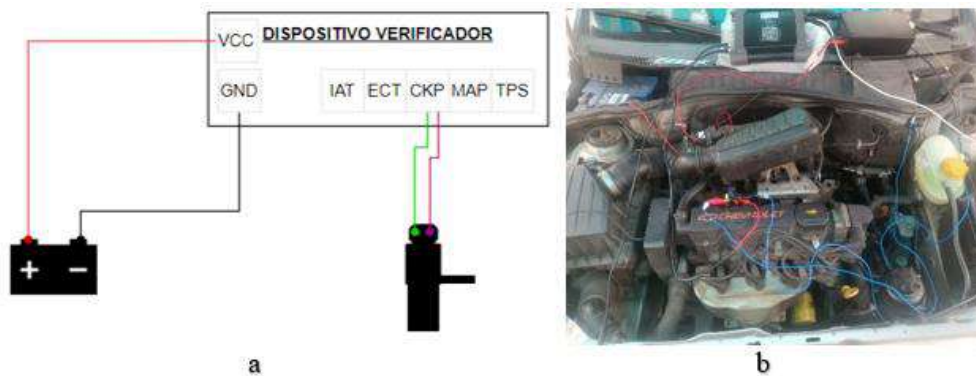


Ilustración 4-6: Conexión de sensor CKP: a) Esquemática, b) Físico

Realizado por: Castro, R.,2023.

El sensor CKP de tipo inductiva debe ser convertirla en una señal digital, para lo cual se considera el circuito de la Ilustración 3-8. Además se realiza una comparación entre las señales inductiva y digital representada en la Ilustración 4-7, con el objetivo de prevenir posibles desfases durante eventos críticos como el salto de chispa e inyección de combustible.

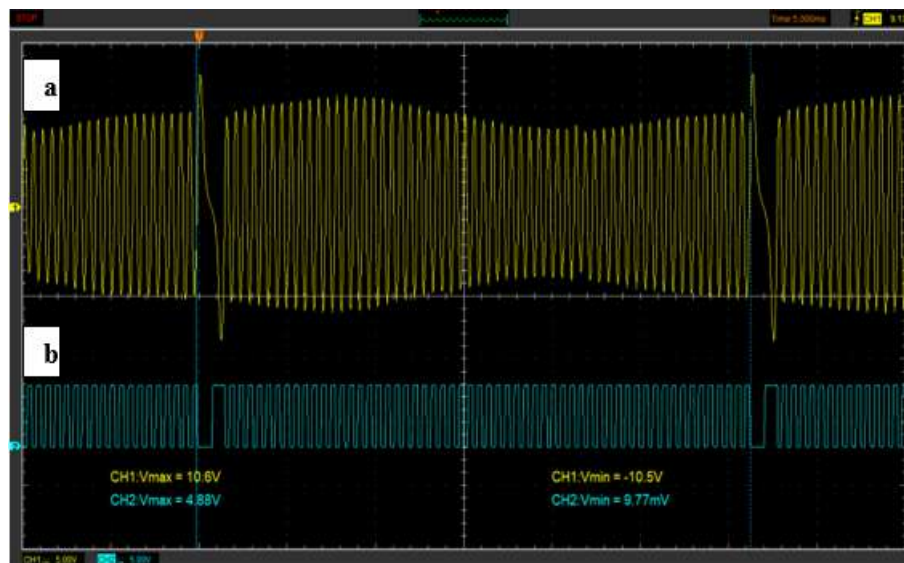


Ilustración 4-7: Sensor CKP acondicionada: a) Inductiva, b) Digital

Realizado por: Castro, R.,2023.

La señal del sensor CKP se puede apreciar en la Ilustración 4-8. La Ilustración 4-8 (a) representa el indicador de 1556 rpm. Además, la Ilustración 4-8 (a) muestra el comportamiento del sensor CKP a lo largo del tiempo.

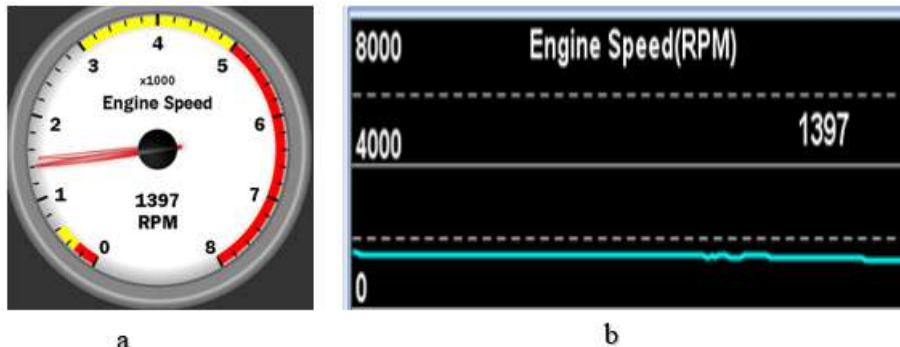


Ilustración 4-8: Señal de sensor ECT: a) Reloj, b) Dato en tiempo real

Realizado por: Castro, R.,2023.

4.1.1.2 Sensor T-MAP

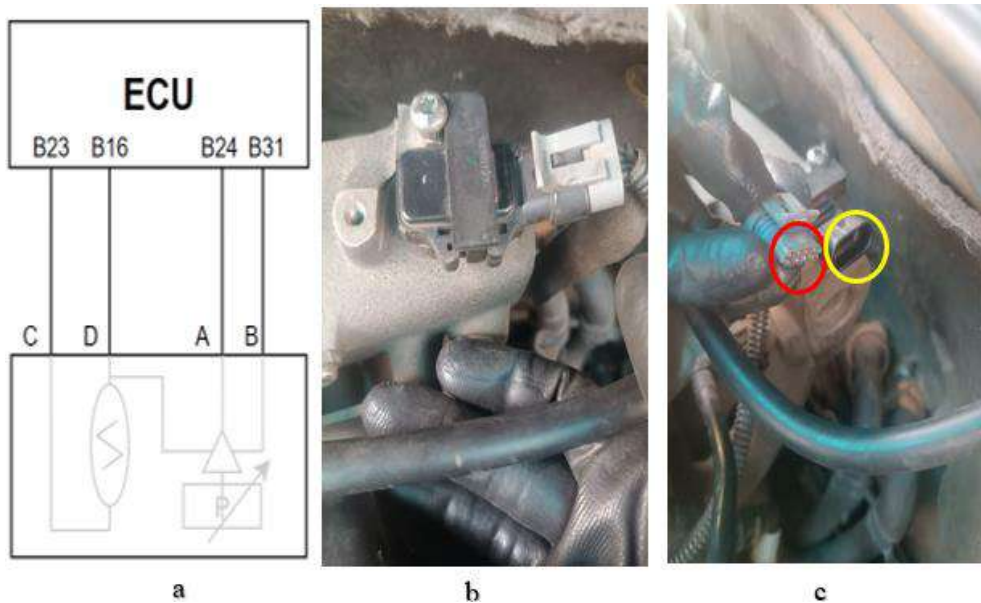


Ilustración 4-9: Sensor T-MAP: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-9 detalla la conexión de la Unidad de Control Electrónico con el sensor T-MAP, el cual incorpora dos sensores: el IAT (*Intake Air Temperature*) y MAP (*Manifold Absolute Pressure*); el pin A corresponde a la señal de sensor MAP, pin B al voltaje de referencia, pin C señal del sensor IAT y pin D es la tierra compartida con otros sensores como el sensor ECT. Además, estos pines están conectados a la ECU a los pines B24, B31, B23 y B16, respectivamente.

El sensor T-MAP se ubica sobre el colector de admisión de acuerdo con la Ilustración 4-9(b). Además, la Ilustración 4-9(c), muestra los pines descritos en la Ilustración 4-9(a), el conector hembra proveniente de la ECU (color rojo) y el conector macho (color amarillo) es el arnés del sensor T-MAP. Los valores de resistencias y temperaturas correspondientes al sensor IAT se presenta en la Ilustración 4-10.

Temperatura [°C]	Resistencia [Ω]
-40	100000
-8	15000
0	9400
10	5700
20	3500
30	2200
40	1500
50	1000
60	700
70	500
80	300
90	250
100	200

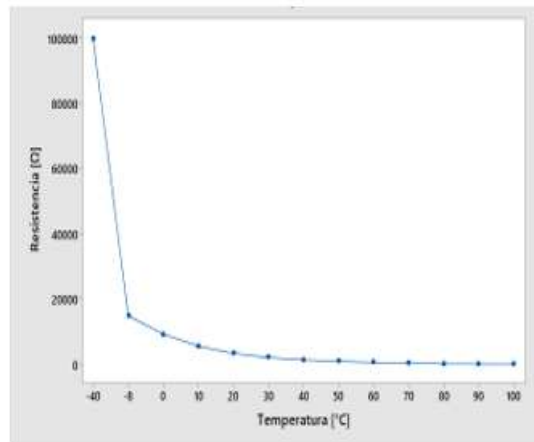


Ilustración 4-10: Sensor IAT: a) Temperatura vs resistencia, b) Gráfica

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-10(a) presenta los valores de temperatura y resistencia, mientras que la Ilustración 4-10(b) proporciona una representación clara de la relación inversamente proporcional entre estas dos variables, característico de un termistor de tipo NTC.

Por otro lado, en el sensor MAP el voltaje se presenta de acuerdo con la presión, como se muestra en la Ilustración 4-11.

Presión [KPa]	Voltaje [V]
20	0,6
30	1,1
40	1,7
50	2,2
60	2,7
70	3,3
80	3,8

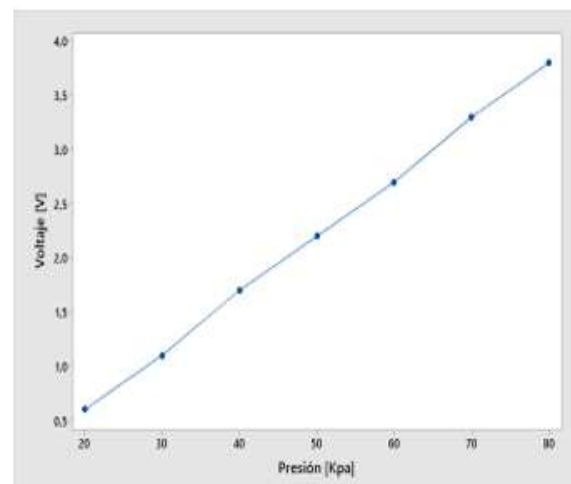


Ilustración 4-11: Sensor MAP: a) Presión vs voltaje, b) Gráfica

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-11(a) presenta los valores presión y voltaje en las diferentes condiciones del motor, además la Ilustración 4-11(b) muestra una relación directamente proporcional entre las variables evaluadas.

- *Análisis de gráfica en osciloscopio de sensor T-MAP*

La Ilustración 4-12 muestra la señal del sensor MAP. La señal analógica obtenida en el osciloscopio Hantek 1008C, en el canal 1(color amarillo). Con la información detallada en la Ilustración 4 9 se identifica el terminal señal del sensor MAP y se procede a conectar la punta del canal 1 (color rojo) al cable de señal de sensor de presión del colector de admisión y la otra punta (color negro) a la tierra del sensor.

Para apreciar la señal del sensor de presión, se ajusta el voltaje en el eje “y” a 1 voltios por división y en el eje “x” de 10 ms por división. Posteriormente, se activa el trigger del canal 1(color amarillo) y se obtiene la Ilustración 4-12.

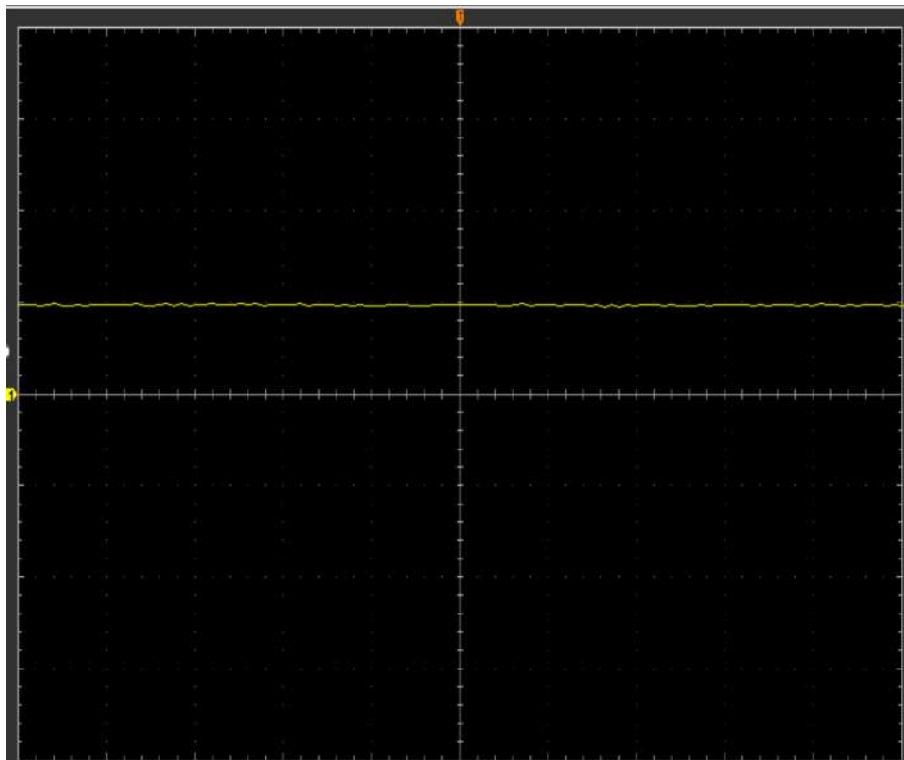


Ilustración 4-12: Señal de sensor MAP a ralentí 800 rpm:

Realizado por: Castro, R.,2023

La Ilustración 4-12 muestra la señal analógica del sensor MAP a 800rpm de aproximadamente 0.968 V. La **Ilustración 4-13** representa el comportamiento del sensor MAP durante el periodo de aceleración y desaceleración. El voltaje en el eje “y” a 1 voltios por división y en el eje “x” de 500 ms por división.

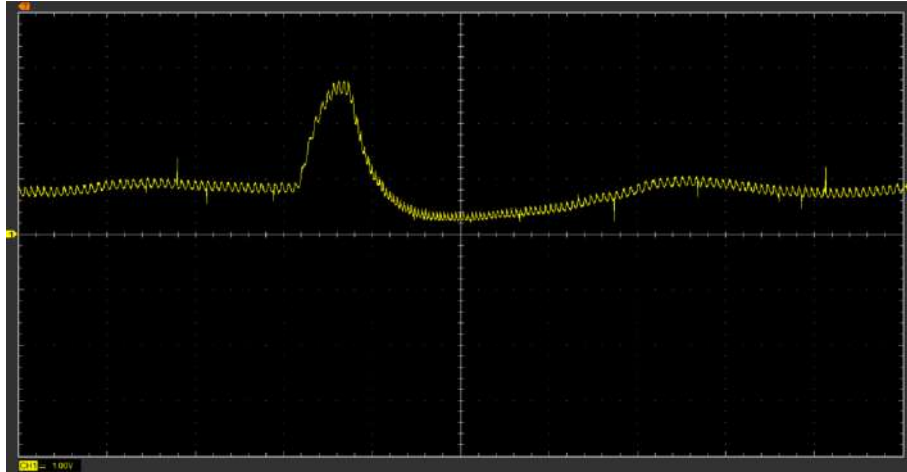


Ilustración 4-13: Señal de sensor MAP a ralentí 1500 rpm:

Realizado por: Castro, R.,2023.

En la señal analógica de la **Ilustración 4-13** el voltaje en ralentí es aproximadamente de 0.968 V. Durante la aceleración rápida hasta 1500 rpm el valor de tensión es de 2.8 V. Posteriormente durante la desaceleración el voltaje es de 0.4 V.

El sensor IAT está integrado con el sensor T-MAP. La Ilustración 4-14 representa el comportamiento del sensor IAT. El voltaje en el eje “x” a 1 voltios por división y en el eje “y” de 500 ms por división.

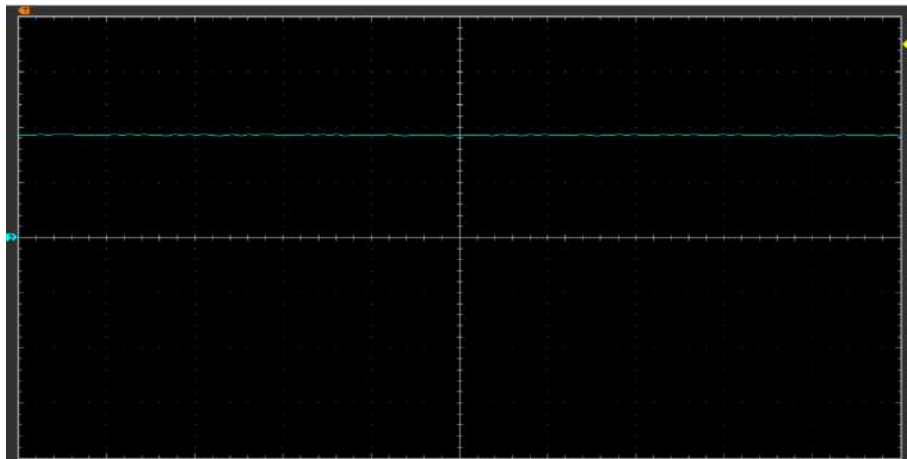


Ilustración 4-14: Señal de sensor IAT a ralentí 800 rpm:

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-14 muestra la señal analógica del sensor IAT, la cual se sitúa en torno a 1.90 V. La señal del sensor de temperatura de aire a 1500 rpm y 2500 rpm no experimenta cambios significativos y guarda similitud con la representación de la Ilustración 4-14.

- *Conexión con el dispositivo comprobador*

Para la prueba individual en el vehículo se considera el esquema de la Ilustración 4-15.

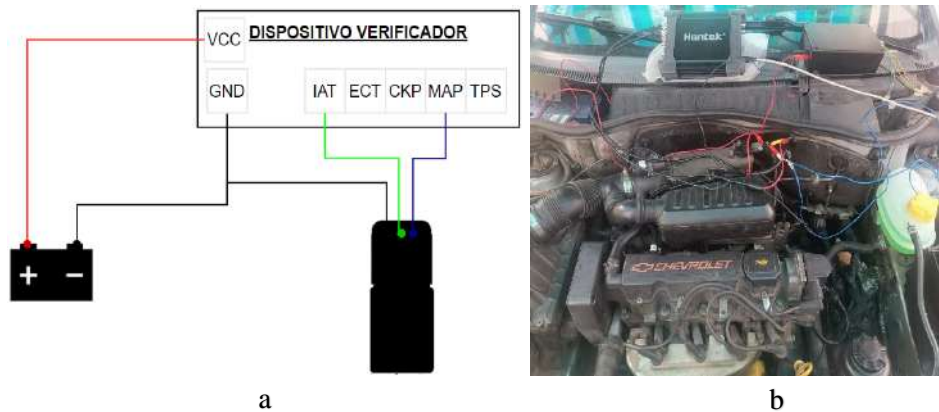


Ilustración 4-15: Conexión de sensor IAT: a) Esquemática, b) Físico

Realizado por: Castro, R.,2023.

La señal del sensor MAP se aprecia en la Ilustración 4-16(a) es el indicador que muestra la señal del sensor de presión del múltiple de admisión. Además, la Ilustración 4-16 (b) muestra el comportamiento del sensor MAP a lo largo del tiempo.

La representación gráfica de la señal del sensor MAP se encuentra en la Ilustración 4-16. Además, la Ilustración 4-16(a) se puede observar el indicador de dicho sensor, representado como un reloj que exhibe la señal del sensor de presión del múltiple de admisión. De la misma manera, la Ilustración 4-17(b) detalla el comportamiento del sensor MAP a lo largo del tiempo.

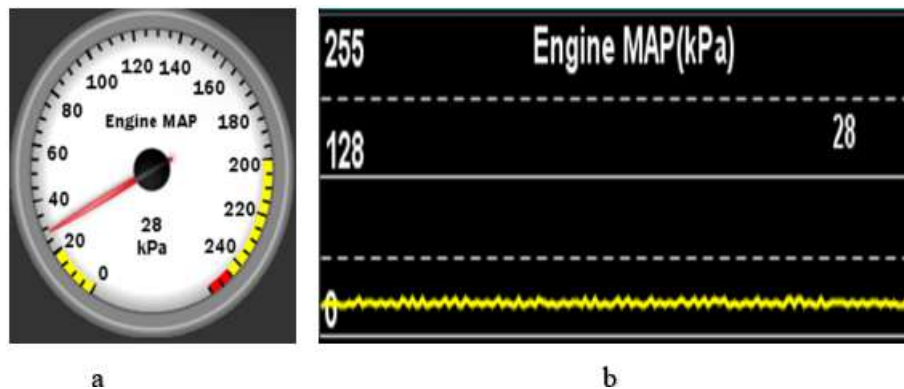


Ilustración 4-16: Señal de sensor MAP: a) Reloj, b) Dato en tiempo real

Realizado por: Castro, R.,2023.

La representación gráfica de la señal del sensor IAT se encuentra en la Ilustración 4-17. Además, la Ilustración 4-17(a) se puede observar el indicador de dicho sensor, representado como un reloj que exhibe la señal del sensor de temperatura de aire de admisión. De la misma manera, la Ilustración 4-17(b) detalla el comportamiento del sensor IAT a lo largo del tiempo.

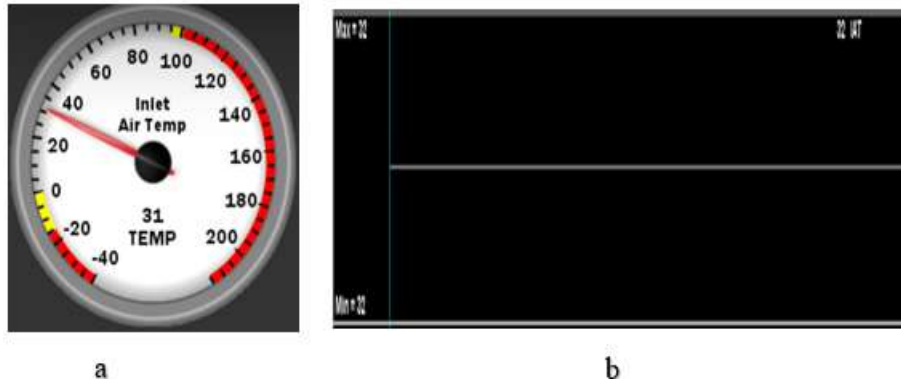


Ilustración 4-17: Señal de sensor IAT: a) Reloj, b) Dato en tiempo real

Realizado por: Castro, R.,2023.

4.1.1.3 Sensor de oxígeno

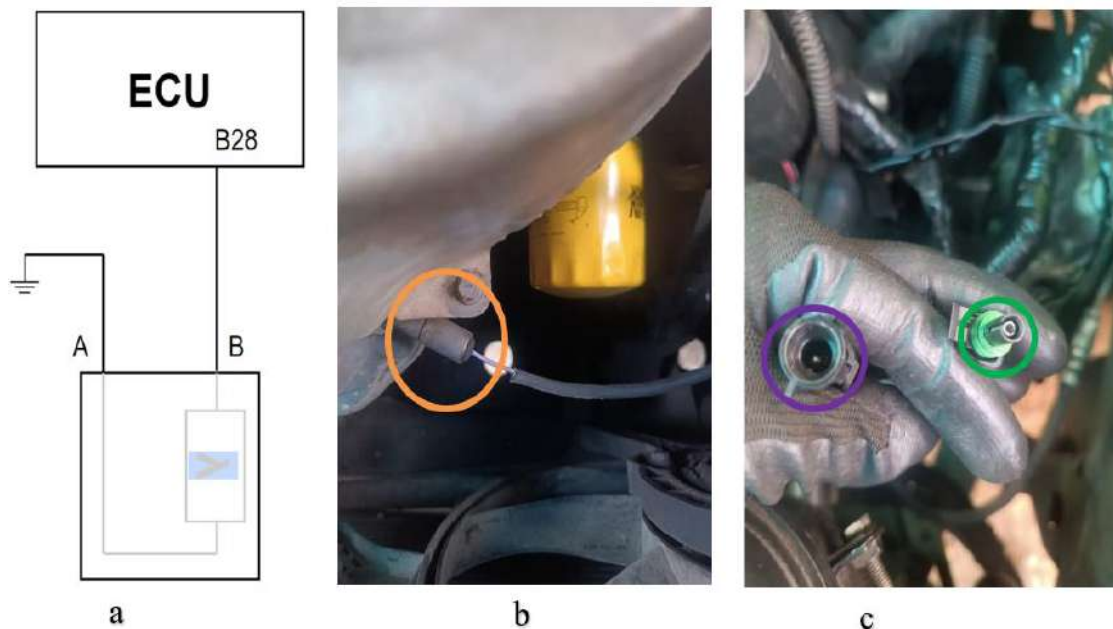


Ilustración 4-18: Sensor O2: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-18(a), muestra la conexión de la ECU y el sensor de oxígeno de cuerpo cerámico de óxido de zirconio; el pin B del sensor corresponden a la señal y tierra es el propio cuerpo del sensor. Además, el pin B del sensor están conectados al pin B28 de la Unidad de Control Electrónica.

El sensor de oxígeno se ubica en el colector de escape cercano al motor de acuerdo con la Ilustración 4-18(b). Además, en la Ilustración 4-18, se muestra los pines descritos en la Ilustración 4-18(a), el conector hembra proveniente de la ECU (color verde) y el conector macho (color morado) es el arnés del sensor de oxígeno.

Por otro lado, en la Ilustración 4-19 se muestra la relación entre el voltaje del sensor de oxígeno de zirconio y la relación aire-combustible.

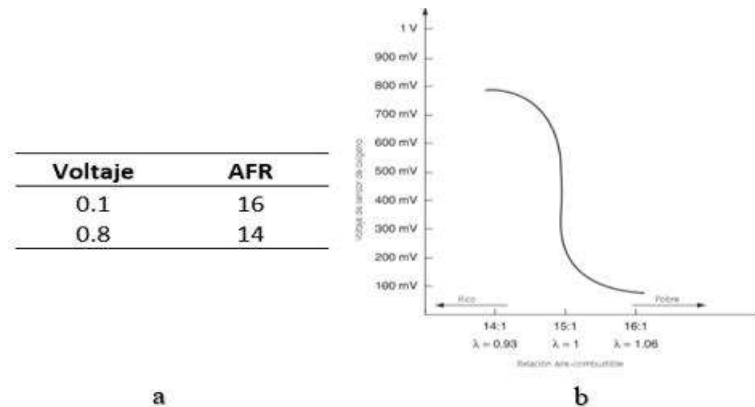


Ilustración 4-19: Sensor O2: a) Voltaje vs AFR, b) Gráfica

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-19(a) presenta los valores de voltaje de salida del sensor de oxígeno de zirconio tipo *narrowband* en relación con la proporción aire-combustible (Lambda). Además, la Ilustración 4-19(b)muestra el comportamiento del sensor de manera más detallada.

- *Análisis de gráfica en osciloscopio de sensor O2*

La Ilustración 4-20 muestra la señal del sensor de oxígeno de zirconio. La señal analógica obtenida en el osciloscopio Hantek 1008C, en el canal 1(color amarillo). Utilizando la información detallada en la Ilustración 4-18, se identifica el pin de señal del sensor, conectando la punta del canal 1 (color rojo) al cable de señal y la otra punta (color negro) a la tierra del sensor. Para visualizar adecuadamente la señal del sensor de oxígeno, se ajustó el tiempo en el eje "x" a 200 ms por división y el voltaje en el eje "y" a 500 mV por división. Posteriormente, se activó el trigger del canal 1 (color amarillo), obteniendo así la señal mostrada en la Ilustración 4-20.

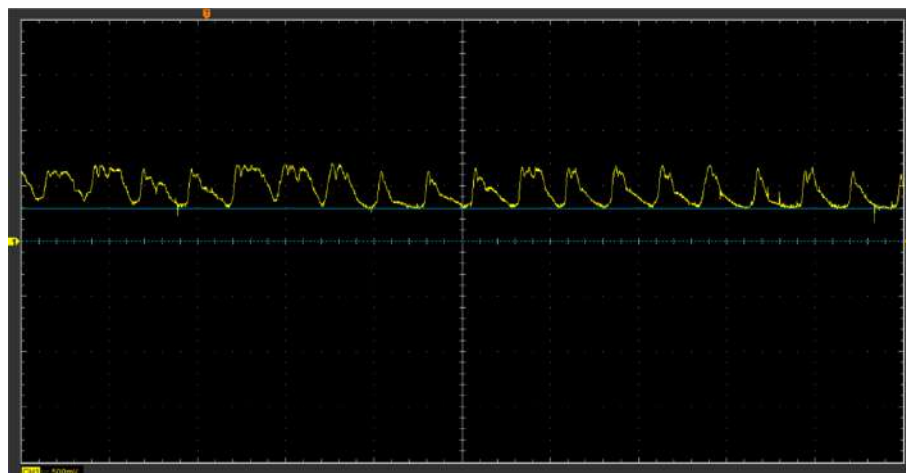


Ilustración 4-20: Señal de sensor IAT a ralentí 800 rpm:

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-20 muestra la señal analógica del sensor de oxígeno O2. Esta señal es analógica y se asemeja a una onda sinusoidal, con un voltaje máximo de 692mV indicando una mezcla rica (exceso de combustible) y un voltaje mínimo de 692 mV indicando una mezcla pobre (exceso de aire). La señal se genera cuando el vehículo opera en "bucle cerrado" a una temperatura superior a los 300 °C.

- *Conexión con el dispositivo comprobador*

Para la prueba individual del sensor de oxígeno en el vehículo se considera el esquema de la Ilustración 4-21.

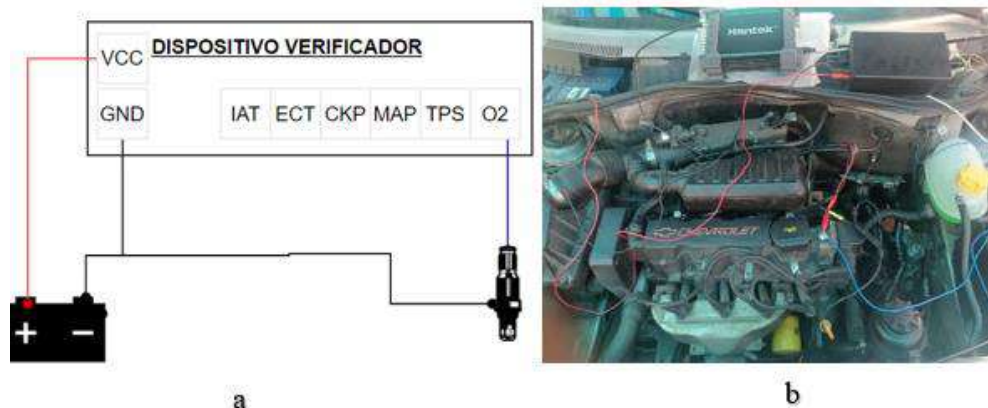


Ilustración 4-21: Conexión de sensor O2: a) Esquemática, b) Físico

Realizado por: Castro, R.,2023.

La representación gráfica de la señal del sensor de oxígeno (O2) se encuentra en la Ilustración 4-22. En la (a) se puede observar el indicador del sensor, representado como un reloj que muestra la relación aire-combustible, en este caso, 14.6, cercano a una mezcla estequiométrica. De manera similar, la Ilustración 4-22(b) detalla el comportamiento del sensor O2 respecto a su relación aire-combustible, mostrando sus valores máximos y mínimos a lo largo del tiempo.

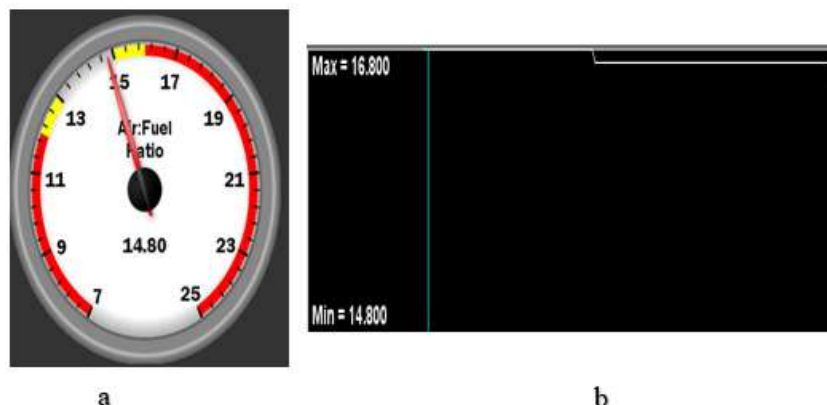


Ilustración 4-22: Señal de sensor O2: a) Reloj, b) Dato en tiempo real

Realizado por: Castro, R.,2023.

4.1.1.4 Sensor TPS

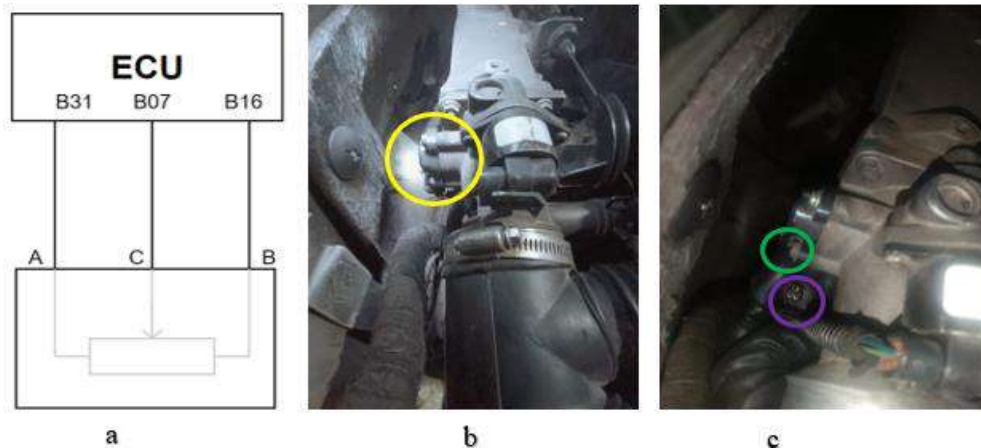


Ilustración 4-23: Sensor O2: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-23(a), muestra la conexión de la unidad de control electrónico con el Ilustración 4-21 sensor de posición de acelerador (TPS). Los pines A, B y C del sensor corresponden a voltaje de referencia, tierra y señal, respectivamente. Estos pines están conectados a los pines B31, B07 y B16 de la ECU.

El sensor TPS está ubicado sobre el cuerpo de aceleración, antes del colector de admisión, como se muestra en la Ilustración 4-23(b). Además, en la Ilustración 4-23(c) se detallan los pines descritos en la Ilustración 4-23(a). El conector hembra, proveniente de la ECU, es de color morado, mientras que el conector macho, correspondiente al sensor de posición del acelerador, es de color verde. El sensor TPS presenta una relación específica entre el ángulo y el voltaje, la cual se ilustra en la Ilustración 4-24.

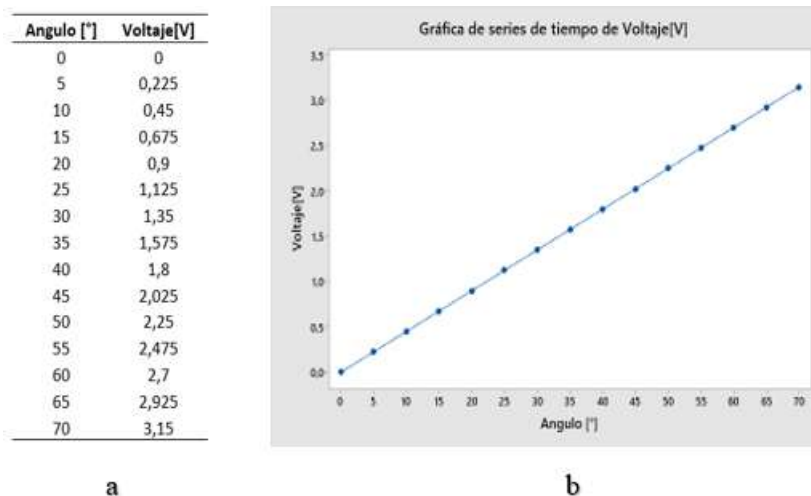


Ilustración 4-24: Sensor TPS: a) Angulo vs Voltaje, b) Gráfica

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-24 (a) presenta los valores de ángulo que gira el potenciómetro interno del sensor TPS y los valores de voltaje que ingresa a la ECU. Además, la Ilustración 4-24(b) muestra la relación lineal entre las variables analizadas.

- *Análisis de gráfica en osciloscopio de sensor TPS*

La Ilustración 4-25 muestra la señal del sensor TPS. La señal analógica obtenida en el osciloscopio Hantek 1008C, en el canal 1 (color amarillo). Con la información detallada en la Ilustración 4-23 se identifica el terminal de señal de TPS y se conecta la punta del canal 1 (color rojo) al pin de señal de sensor de posición de acelerador y la otra punta (color negro) a la tierra del sensor.

Para visualizar la señal del TPS, se ajusta el tiempo en el eje “x” a 500ms por división y en el eje “y” a 1 V por división. Posteriormente, se activa el trigger del canal 1 (color amarillo), obteniendo así la señal mostrada en la Ilustración 4-25.

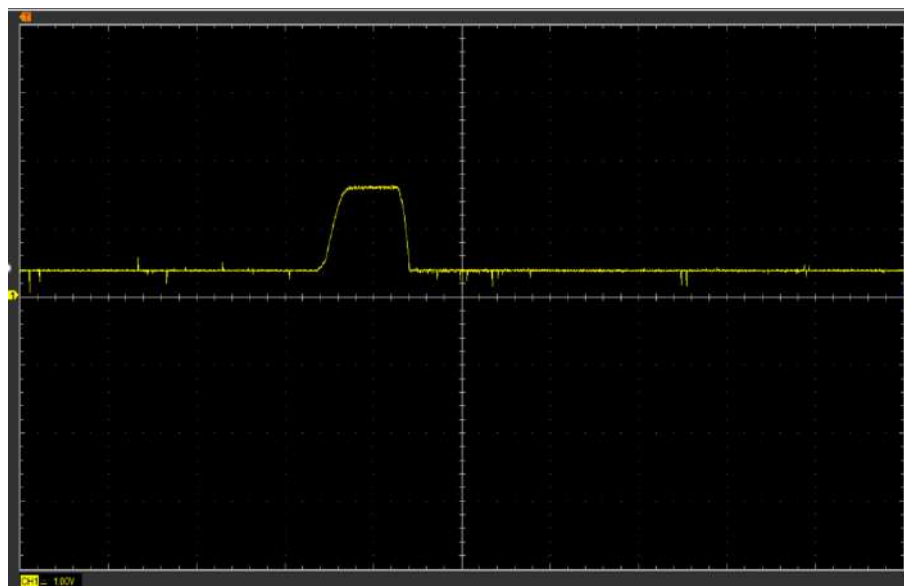


Ilustración 4-25: Señal de sensor TPS

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-25 muestra la señal analógica generada por el sensor TPS. Durante ralentí, el voltaje se sitúa en 0.4V. Al realizar una aceleración rápida, el voltaje alcanza su valor máximo de 1.6V. Posteriormente, durante la desaceleración el voltaje regresa al valor inicial en ralentí.

- *Conexión con el dispositivo comprobador*

Para la prueba individual en el vehículo se considera el esquema de la Ilustración 4-26.

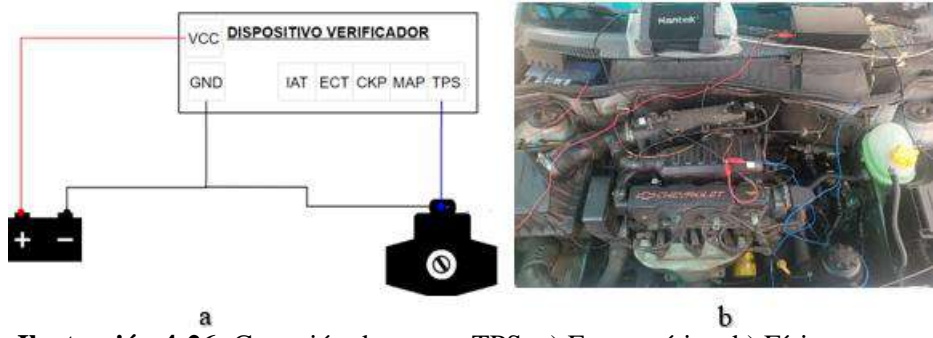


Ilustración 4-26: Conexión de sensor TPS: a) Esquemática, b) Físico

Realizado por: Castro, R.,2023.

La señal del sensor TPS está visualizada gráficamente en la Ilustración 4-27. Asimismo, en la Ilustración 4-27 (a) se presenta el indicador correspondiente a este sensor, representado como un reloj que muestra la posición de la mariposa del cuerpo de aceleración. Del mismo modo, la Ilustración 4-27(b) ofrece un análisis detallado del comportamiento temporal del sensor TPS.

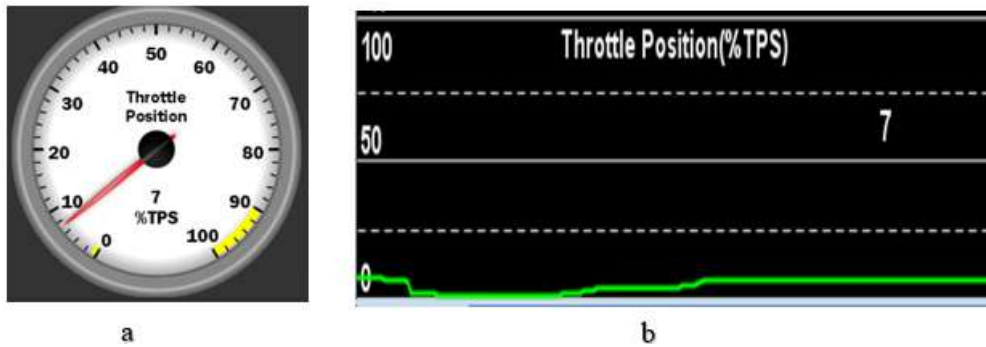


Ilustración 4-27: Señal de sensor TPS: a) Reloj, b) Dato en tiempo real

Realizado por: Castro, R.,2023.

4.1.1.5 Sensor ECT

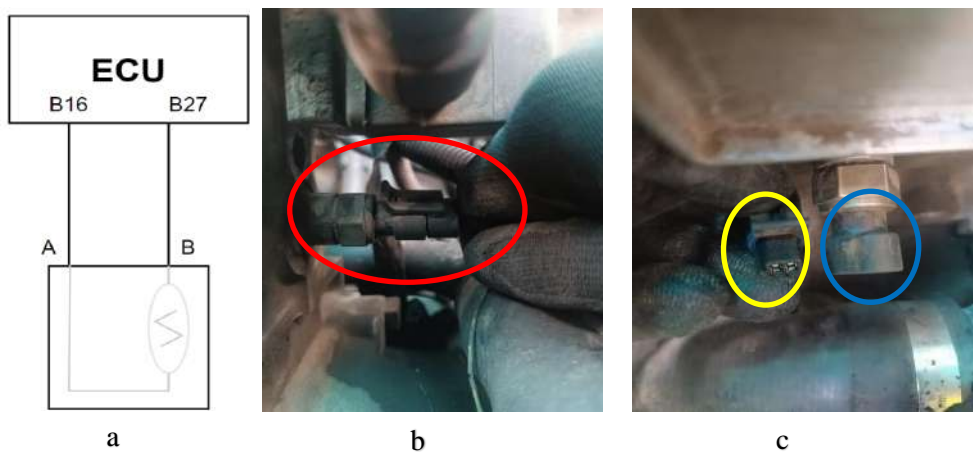


Ilustración 4-28: Sensor ECT: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-28(a), muestra la conexión de la ECU (*Engine Control Unit*) con el sensor ECT (*Engine Coolant Temperature*); donde los pines A, y B del sensor corresponden a tierra y señal. Además, estos mismos pines del sensor están conectados al pin B16 y B27 de la ECU.

El sensor de temperatura del refrigerante se ubica en el bloque del motor, debajo del sistema de encendido DIS (*Direct Ignition System*), como muestra la Ilustración 4-28(b). La Ilustración 4-28(c), muestra los pines descritos en la Ilustración 4-28(a), junto con el conector hembra proveniente de la ECU (color amarillo) y el conector macho (color azul) del arnés del sensor ECT.

El proceso para identificar los terminales del sensor involucra el uso del diagrama eléctrico de la Ilustración 4-28(a), para asegurarse que los terminales del sensor coinciden con los detallados en el diagrama eléctrico se utiliza un multímetro. Determinado el número de cables, color y pines correctos, se procede a evaluar el sensor para obtener los valores de resistencias y voltaje a diferentes temperaturas, datos que se presenta en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1: Valores de temperatura, resistencia y voltaje de sensor ECT

Temperatura [°C]	Resistencia [Ω]	Voltaje [V]
0	9420	4.52
10	5670	4.25
20	3520	3.89
30	2238	3.46
40	1459	2.97
50	973	2.47
60	667	2.01
70	467	1.59
80	332	1.25
90	241	0.97
100	177	0.75

Realizado por: Castro R., 2023.

- Análisis de gráfica en osciloscopio de sensor ECT

La Ilustración 4-29 es la forma de onda obtenida del sensor ECT de tipo NTC. La señal se obtuvo con el osciloscopio Hantek 1008C, específicamente el canal 2 (color celeste). Cuando el motor este encendido en ralentí a 800 rpm, tiene una temperatura aproximada de 80°C a 2.754 msnm, el valor de voltaje es de 1.7 V tal como se puede apreciar en la Ilustración 4-29.

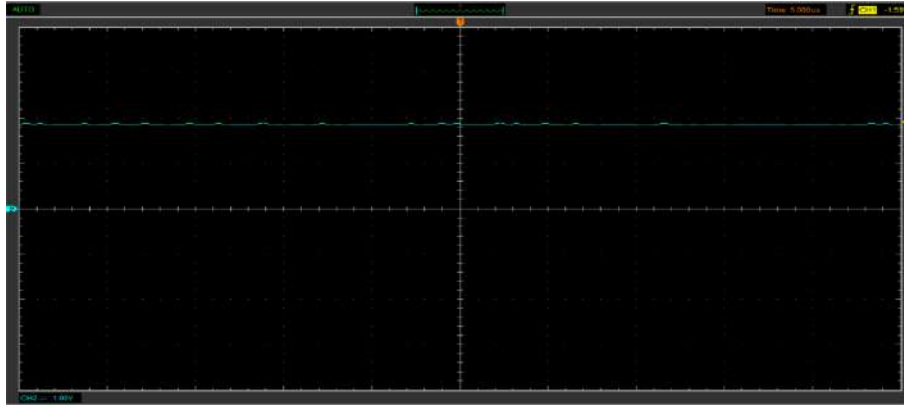


Ilustración 4-29: Señal de sensor ECT a 800 rpm

Realizado por: Castro, R.,2023.

- *Conexión con el dispositivo comprobador*

Para la prueba individual en el vehículo se toma en consideración el esquema de la Ilustración 4-30, se trata de un sensor ECT de 2 conexiones: tierra y señal.

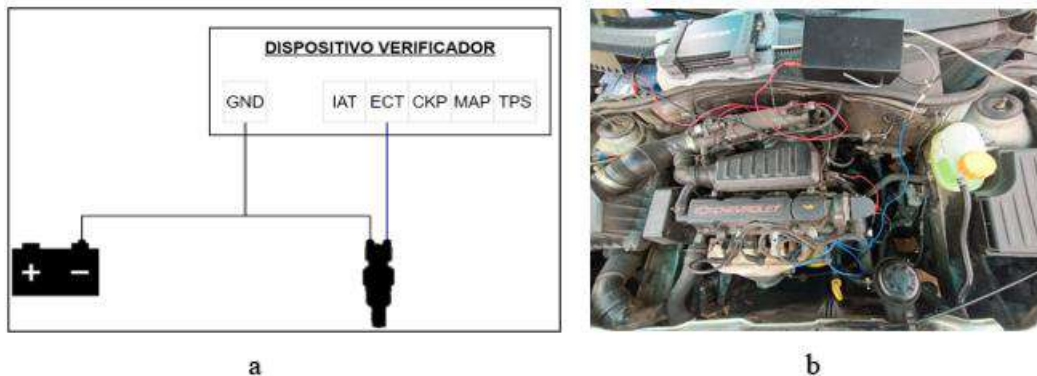


Ilustración 4-30: Conexión de sensor ECT: a) Esquemática, b) Físico

Realizado por: Castro, R.,2023.

La señal analógica del sensor ECT se puede apreciar en la Ilustración 4-31. Tanto la señal instantánea en la Ilustración 4-31(a) y el comportamiento en el tiempo en la Ilustración 4-31(b).

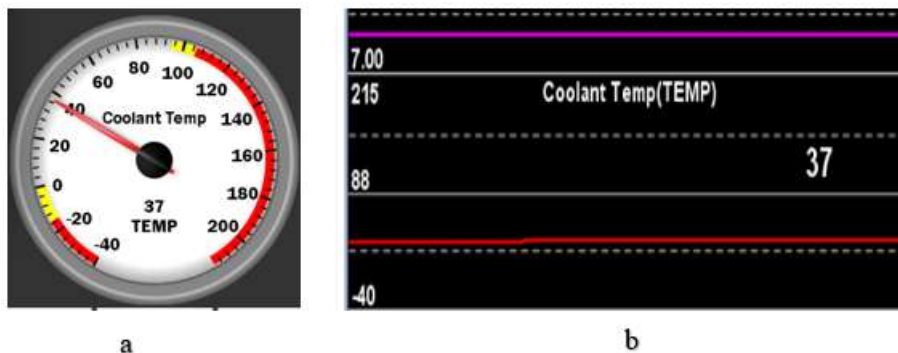


Ilustración 4-31: Señal de sensor ECT: a) Reloj, b) Dato en tiempo real

Realizado por: Castro, R.,2023.

4.1.2 Evaluación general de sensores

Para llevar a cabo la prueba grupal en el vehículo, se tiene en cuenta el esquema presentado en la Ilustración 4-32. En la Ilustración 4-32(a) de dicha ilustración se detalla la conexión de los sensores al dispositivo comprobador. Además, en la Ilustración 4-32(b) se visualizan los parámetros principales de los sensores evaluados en el software TunerStudio, que incluyen CKP, TPS, MAP, IAT y ECT. El manual de la configuración general se encuentra en el ANEXO U.

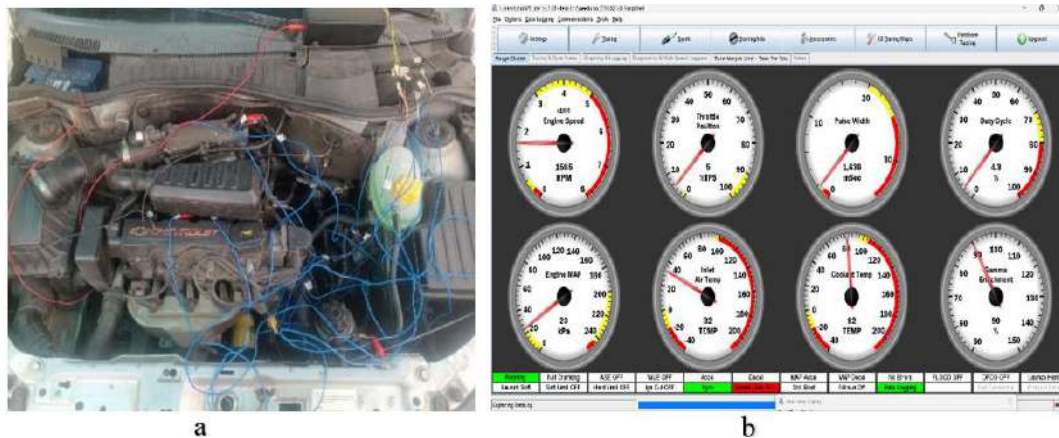


Ilustración 4-32: Conexión de sensores general: a) Físico, b) Software

Realizado por: Castro, R.,2023.

Tras caracterizar cada uno de los sensores, se procede a realizar las configuraciones en el software TunerStudio, lo que da como resultado la Ilustración 4-33. Esta ilustración representa gráficamente el comportamiento de los sensores ECT, IAT, Lambda, MAP, O2, RPM y TPS, en un rango de aproximadamente 1500 a 3500 rpm durante aceleración y desaceleración.



Ilustración 4-33: Comportamiento de sensor de entrada en aceleración y desaceleración

Realizado por: Castro, R.,2023.

4.1.3 Evaluación de actuadores

4.1.3.1 Válvula IAC

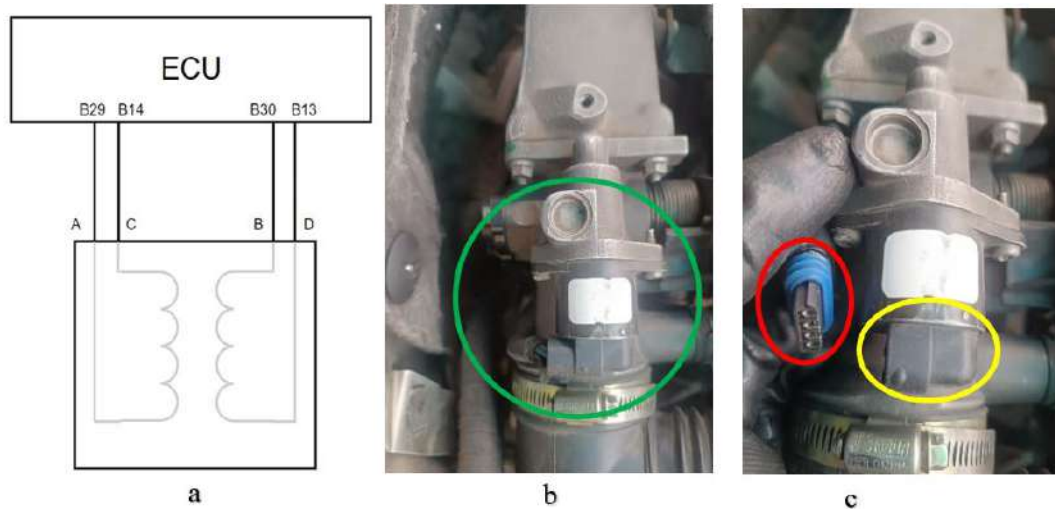


Ilustración 4-34: Válvula IAC: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-34(a), muestra la conexión de la ECU con la válvula para el control de aire en ralentí (IAC). Los pines A, B, C y D del sensor corresponden a señales de alto(*high*), bajo(*low*), bajo(*low*) y alto(*high*), respectivamente. Estos pines del actuador se conectan a los pines B29, B30, B14 y B13 de la Unidad de Control Electrónico.

El actuador IAC está montada en el cuerpo de aceleración, como se evidencia en la Ilustración 4-34(b). En la Ilustración 4-34 (c), se muestra los pines descritos en la Ilustración 4-34 (a), el conector hembra proveniente de la Unidad de Control Electrónico (color rojo) y el conector macho (color amarillo) del IAC. El proceso para identificar los terminales del sensor involucra el uso del diagrama eléctrico de la Ilustración 4-34 (a) y confirmar la información mediante un multímetro digital. Determinado el número de cables, color y pines correctos, se procede a medir la resistencia de las dos bobinas de la IAC que se muestra en Ilustración 4-34(a). La resistencia de las dos bobinas es de 55ohms, encontrándose dentro del rango de 50 a 60 ohm establecido en el manual del vehículo.

- *Análisis de gráfica en osciloscopio de IAC*

La Ilustración 4-35, muestra la señal digital de la válvula IAC, registrada a través del osciloscopio Hantek 1008C. Siguiendo la información detallada en la Ilustración 4-34, se identificaron los terminales de la IAC. Al conectar la punta del canal 1 al pin 29, se obtuvo la gráfica de la Ilustración 4-35(en color amarillo). De igual manera, al conectar la otra punta del canal 2 al pin

14, se generó otra instancia de la Ilustración 4-35 (color celeste). Además, se configura el intervalo de tiempo en el eje “x” a 2 segundos y el voltaje en el eje “y” a 5V por división.

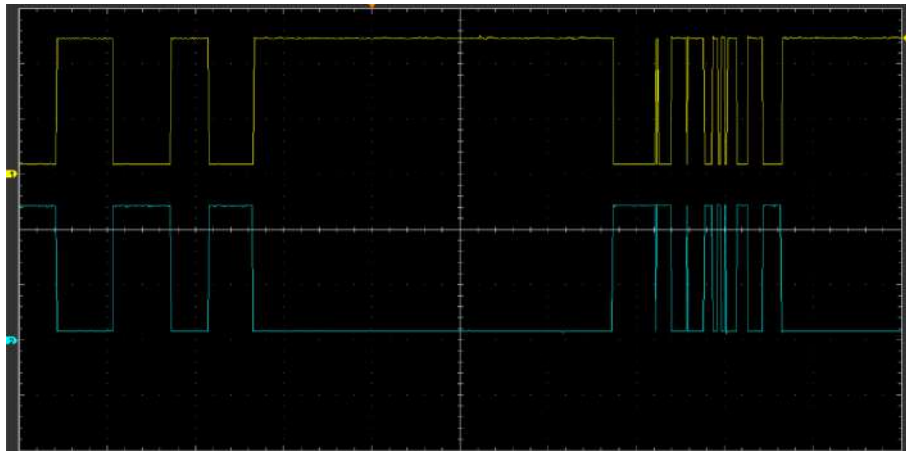


Ilustración 4-35: Señal de activación de válvula IAC

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-35(amarillo), representa la señal de activación que comienza en estado lógico bajo (0), mientras que en la Ilustración 4-35(celeste) se presenta un estado lógico alto (1). El voltaje máximo registrado es de 12.4 V.

Para la bobina 2 de la IAC, se conecta el canal 3 al pin 30, resultando en la gráfica de la Ilustración 4-36 (color morado). De igual manera, al conectar el canal 3 al pin 13, se obtuvo la gráfica correspondiente a la Ilustración 4-36 (color verde). Estos procedimientos permitieron una visualización y análisis efectivos de las señales digitales asociadas a los distintos terminales de la IAC mediante el osciloscopio. Manteniendo la configuración de tiempo y voltaje de la Ilustración 4-35.

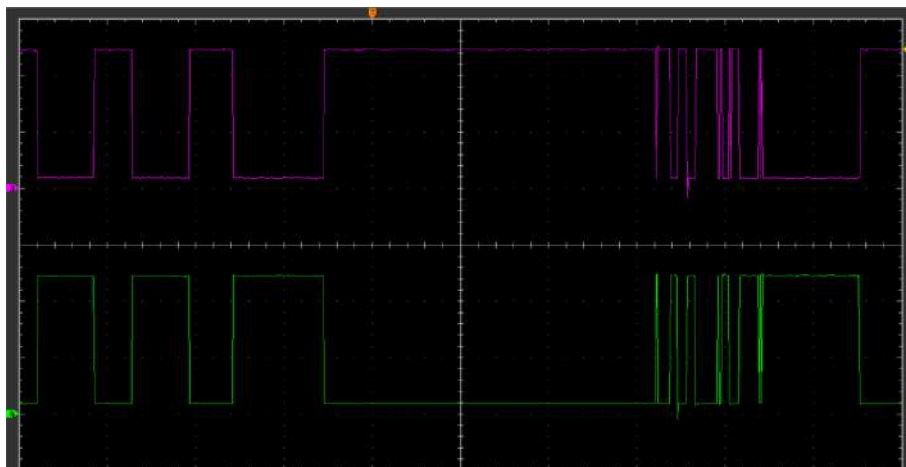


Ilustración 4-36: Señal de activación de válvula IAC

Realizado por: Castro, R.,2023.

En la Ilustración 4-36(morado), muestra la señal de activación de la válvula IAC, la cual comienza en estado lógico bajo (0), mientras que en la Ilustración 4-35(celeste), se presenta un estado lógico alto (1). El voltaje máximo registrado es de 12.4V.

- *Conexión con el dispositivo comprobador*

Para la prueba individual de los inyectores en el vehículo se considera el esquema de la Ilustración 4-37.

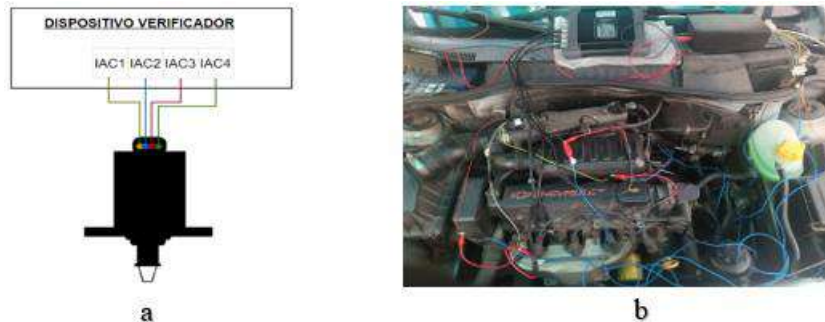


Ilustración 4-37: Conexión de válvula IAC: a) Esquemática, b) Físico

Realizado por: Castro, R.,2023.

La configuración en el software *TunerStudio* para la válvula IAC se muestra en la Ilustración 4-38. El parámetro *idle control type* (en rojo-1) se ajusta para la salida del vástago en modo *stepper open loop*. El *step time* (en amarillo-2), que representa el tiempo en milisegundos para completar cada paso del vástago, está establecido en 4 ms. Además, el *home steps* (en verde-3) determina el número máximo de pasos que el motor puede moverse, configurado en 240 pasos. El *minimum steps* (en morado-4) indica el número mínimo de pasos de la válvula IAC, ajustado a 4 pasos. Por último, el *stepper inverted* (en azul-5) permite invertir la polaridad del motor paso a paso, en este caso está desactivado.



Ilustración 4-38: Configuración de la válvula IAC:

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-39 presenta la señal de activación de la válvula IAC. En el canal 1 (amarillo) y el canal 4 (verde), se visualizan las señales de activación y desactivación para la bobina 1. Mientras tanto, el canal 2 (celeste) y el canal 3 (morado) muestran la representación de los niveles alto (1) y bajo (0) para la bobina 2. El ajuste del voltaje en el eje "x" se establece en 500 ms por división, y en el eje "y" en 5 V por división. Se registra un voltaje máximo de 12.5 voltios en las 4 señales.

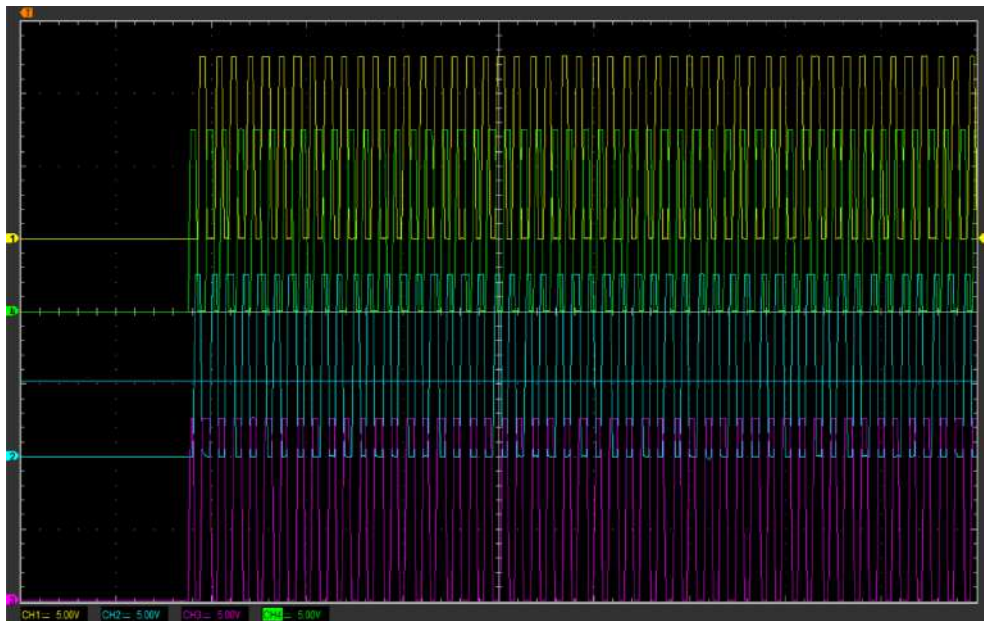


Ilustración 4-39: Señal de activación de IAC

Realizado por: Castro, R.,2023.

El número de pasos que realiza la válvula IAC se aprecia en la Ilustración 4-40.

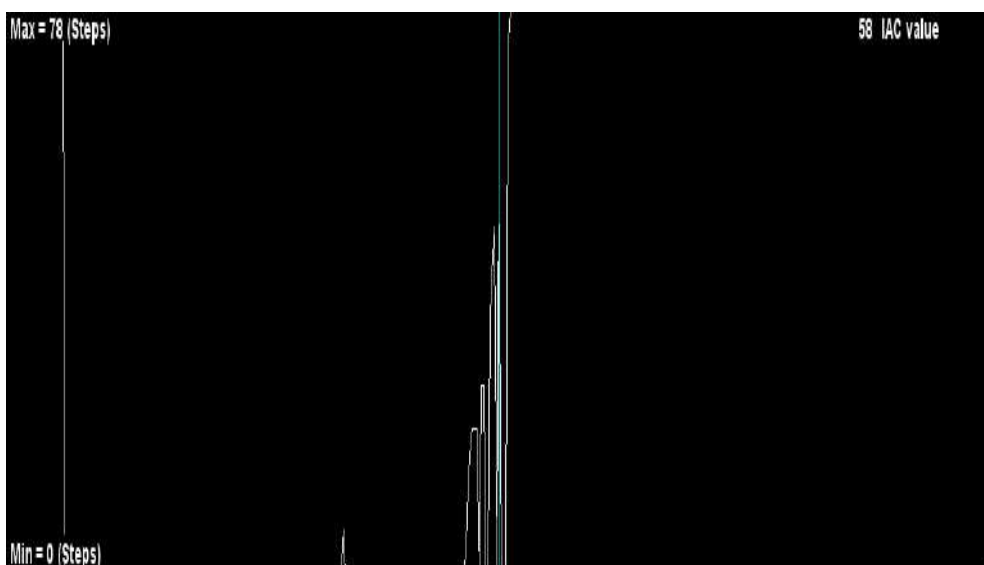


Ilustración 4-40: Pasos de activación de válvula IAC.

Realizado por: Castro, R.,2023.

4.1.3.2 Inyector

- Datos de Fabricante de inyector

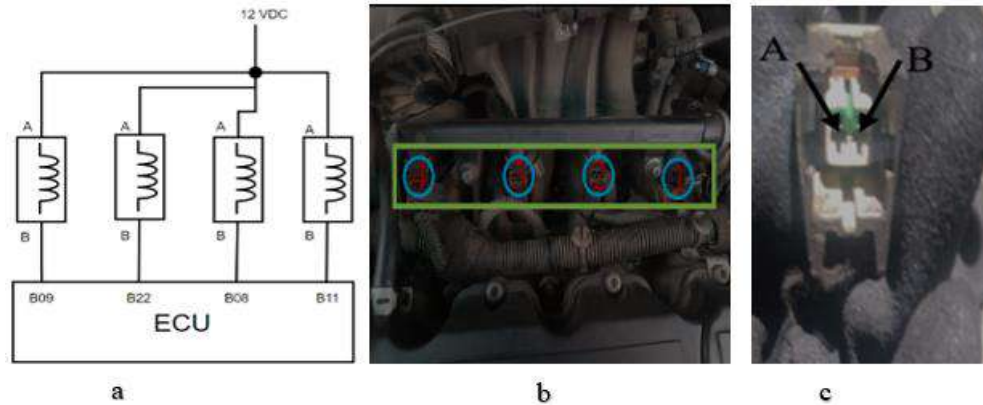


Ilustración 4-41: Inyector: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-41(a) muestra la conexión de los 4 inyectores con la Unidad de Control electrónico. Los pines B09, B22, B08 y B11 correspondientes a los inyectores 1, 2, 3 y 4, respectivamente. El inyector posee 2 pines denominados A y B, el primer pin es la alimentación de 12V, común para los 4 inyectores, mientras que el segundo pin es la conexión a tierra (GND) que es diferente para cada inyector. La identificación de los terminales del sensor se realizó utilizando un multímetro.

Además, en la Ilustración 4-41(b), se observa que los inyectores están ubicados sobre el múltiple de admisión, cerca de la cola de la válvula de admisión. La Ilustración 4-41(c) muestra los pines descritos en la Ilustración 4-41(b). Este es un sistema de inyección indirecta multipunto. Además, los valores de las resistencias de los cuatro inyectores se pueden apreciar en la Ilustración 4-42.

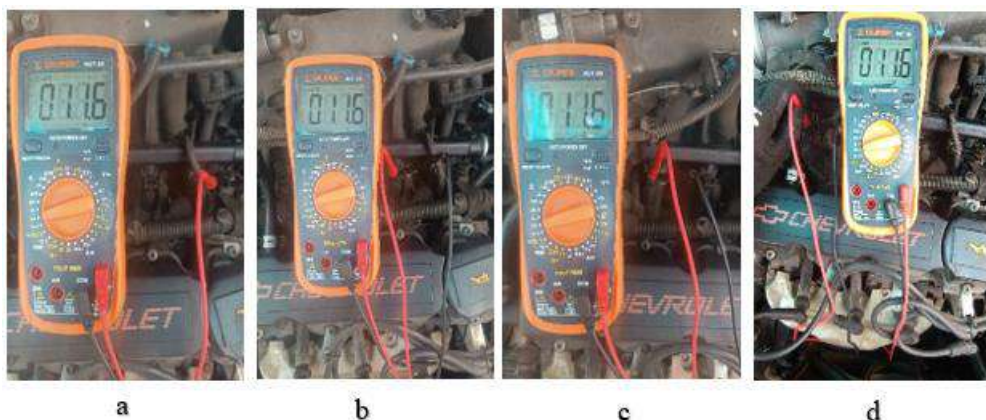


Ilustración 4-42: Resistencia inyector 1 (a), inyector 2 (b), inyector 3(c) e inyector 4(d)

Realizado por: Castro, R.,2023.

- *Análisis de gráfica en osciloscopio de inyector*

La Ilustración 4-43 muestra la señal del inyector usando el osciloscopio Hantek 1008C, el canal 1 (color amarillo). Con la información descrita en la Ilustración 4-41, se identifican los terminales del inyector, el cable de GND y el de alimentación. Conectamos la punta del canal 1 (color rojo) al cable de alimentación y la otra punta (color negro) a GND. Además, se ajusta el tiempo en el eje “x” a 2 ms por división y el voltaje en el eje “y” a 20V por división.

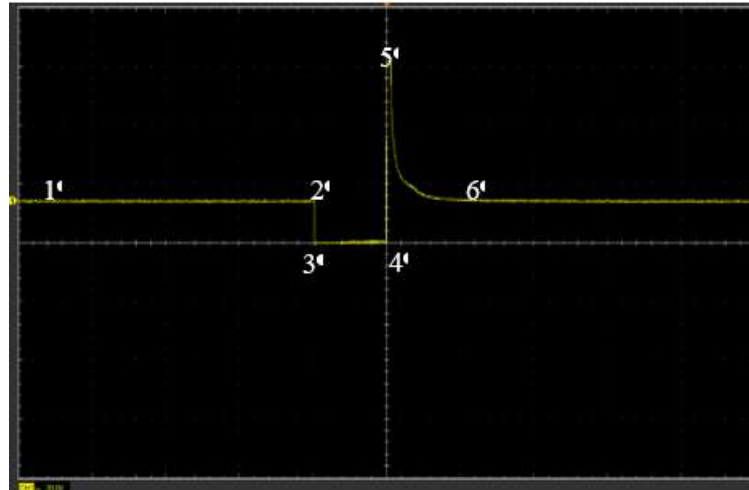


Ilustración 4-43: Señal de inyector a ralentí 800 rpm

Realizado por: Castro, R., 2023.

La Ilustración 4-43 presenta los parámetros de funcionamiento del inyector en un motor de encendido provocado. Inicialmente, se muestra el voltaje suministrado al inyector desde la batería (1-2). Luego, el transistor del controlador se enciende y se inicia el flujo de combustible (2). El tiempo de encendido del inyector (3-4) es de 2 ms. Después, el transistor del controlador se apaga, interrumpiendo el flujo de combustible (4). De la misma manera, se observa el voltaje máximo causado por la bobina del inyector (4-5), que alcanza los 62 V. Finalmente, la bobina se desenergiza y regresa al voltaje de batería (5-6).

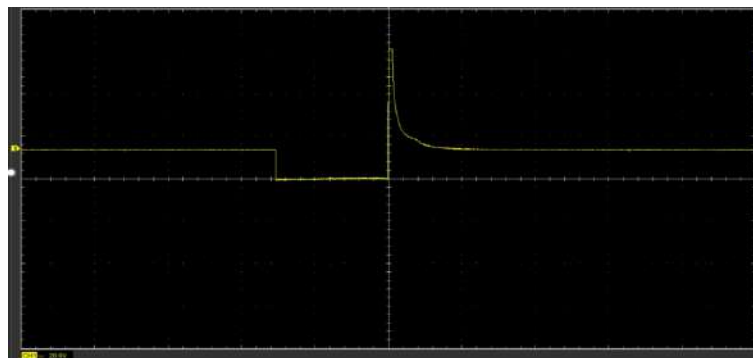


Ilustración 4-44: Señal de inyector a 1500 rpm:

Realizado por: Castro, R., 2023.

La señal del inyector a 1500 rpm se muestra en la Ilustración 4-44. La configuración en el osciloscopio es idéntica a la mostrada en la Ilustración 4-44, manteniendo la misma forma de onda previa. Se destaca un cambio en el tiempo de inyección de 2.5 ms.

La señal del inyector a 2500 rpm se muestra en la Ilustración 4-45.

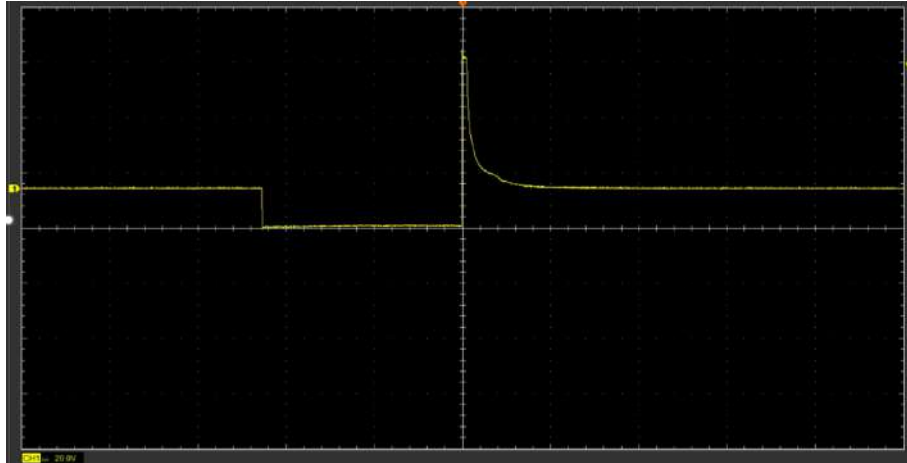


Ilustración 4-45: Señal de inyector a 2500 rpm:

Realizado por: Castro, R.,2023.

La configuración en el osciloscopio replica lo que se observa en la Ilustración 4-44, manteniendo la forma de onda previa, con la particularidad de un cambio en el tiempo de inyección de 4,4 ms.

- *Conexión con el dispositivo comprobador*

Para la prueba individual de los inyectores en el vehículo se considera el esquema de la Ilustración 4-46.

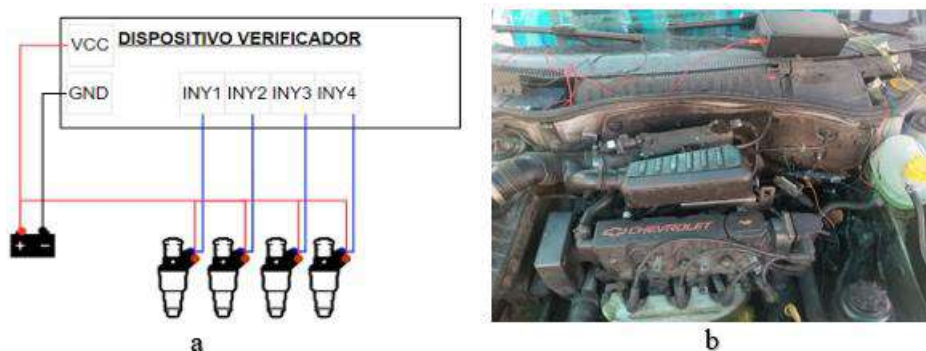


Ilustración 4-46: Conexión del inyector: a) Esquemática, b) Físico

Realizado por: Castro, R.,2023.

La configuración en el software *TunerStudio* para el inyector se muestra en la Ilustración 4-47. El *enable test controls* (en rojo-1) habilita el modo prueba de los inyectores. También se presenta los 4 canales para los inyectores (en morado-2). Del mismo modo se tiene la opción de apagado

de los cuatro canales (en azul-3). Además, se configura el ciclo de trabajo (en verde-4). Para enviar la señal de activación se tiene la opción de encendido (en naranja-5).



Ilustración 4-47: Prueba de inyector

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-48 presenta la señal de activación del inyector. El ajuste del voltaje en el eje "x" se establece en 2s por división, y en el eje "y" en 5V por división. Se registra un voltaje máximo de los 4 canales de 10,4V.

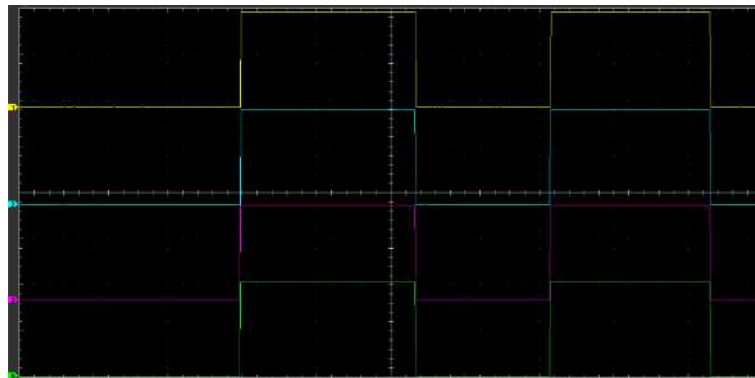


Ilustración 4-48: Señal de activación de inyectores

Realizado por: Castro, R.,2023.

El valor de ancho de pulso se puede apreciar en la Ilustración 4-49.

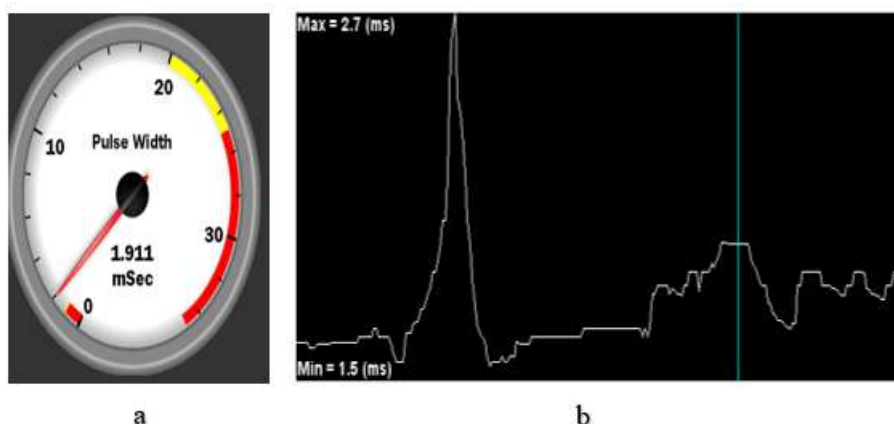


Ilustración 4-49: Señal de sensor ECT: a) Reloj, b) Dato en tiempo real

Realizado por: Castro, R.,2023.

4.1.3.3 Bobina de encendido

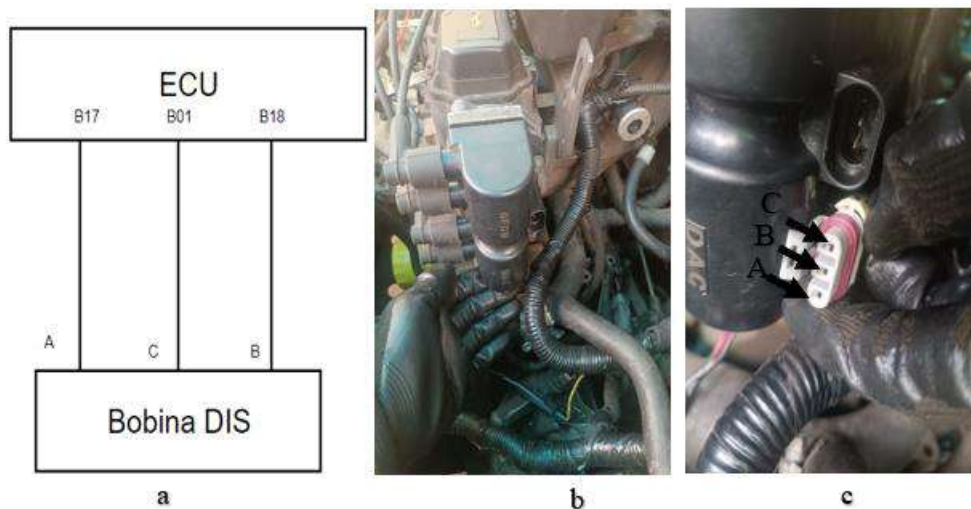


Ilustración 4-50: Bobina de encendido: a) Diagrama eléctrico, b) Ubicación, c) Pines

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-50(a) muestra la conexión de la Unidad de Control electrónico con la bobina de encendido DIS; los pines B17 (señal de activación cilindro 2 y 3), B01(señal de activación cilindro 1 y 4) y B18 (alimentación 12V) correspondientes al pin A, C y B de la bobina de encendido. Además, la Ilustración 4-50(b) muestra la ubicación de la bobina de encendido en la tapa conectada a la culata. La Ilustración 4-50(c) muestra los pines descritos en la Ilustración 4-50 (b). Es un sistema de encendido DIS (*Direct Ignition System*). Además, el valor de las resistencias del primario en la bobina 1 y 2 es de 0.4Ω y las bobinas 1 y 2 del secundario es de $5.72 \text{ k}\Omega$ dentro del rango establecido en el manual del vehículo.

- *Análisis de gráfica en osciloscopio de bobina de encendido DIS*

La Ilustración 4-51 muestra la señal del primario de la bobina de encendido DIS usando el osciloscopio Hantek 1008C, el canal 1 (color amarillo). Con la información descrita en la Ilustración 4-50, se identifica los terminales del sistema de encendido DIS. Se conecta la punta del canal 1 (color rojo) al cable de señal de activación de la bobina ya sea 1-4 o 2-3 y la otra punta (color negro) a GND. Además, se ajusta el tiempo en el eje “x” a 20 ms y el voltaje en el eje “y” de 50 V por división.

La Ilustración 4-51, muestra el voltaje de batería suministrado a las bobinas del sistema de encendido DIS (1-2) de 13,5V. Después se produce la activación de las bobinas por el transistor (2). El periodo *dwell*, tiempo en el que la bobina está a GND (3-4), es de 2.73ms. Posteriormente, se genera el pico inductivo (4-5) de 400V. A continuación, ocurre una caída de tensión debido a

la desenergización de la bobina (5-6). Luego, el tiempo de quemado (6-7) de 1,13ms. Finalmente, las oscilaciones de la bobina (7-8).

La señal del primario de la bobina de encendido DIS a 1500 rpm y 2500 rpm es semejante a la Ilustración 4-51.

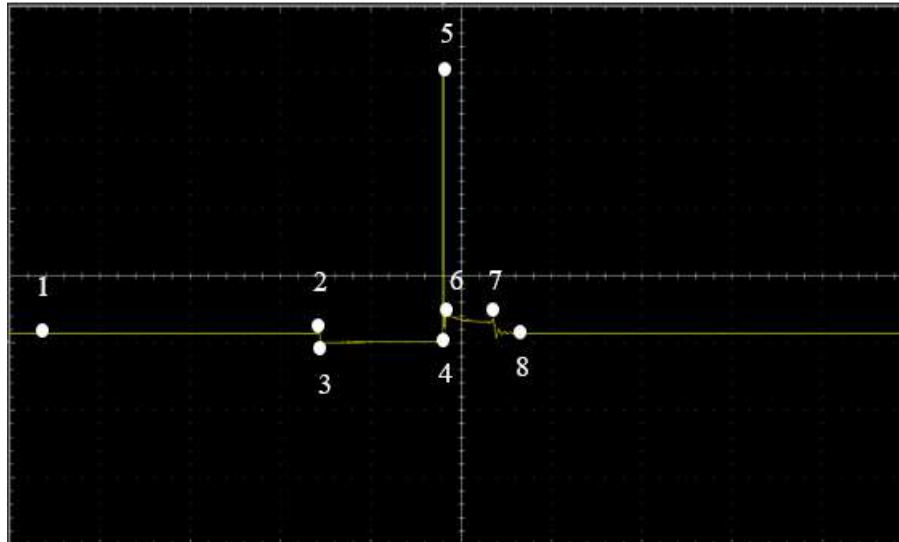


Ilustración 4-51: Señal de bobina de encendido en ralentí

Realizado por: Castro, R.,2023.

- *Conexión con el dispositivo comprobador*

Para la prueba individual del sistema de encendido DIS en el vehículo se considera el esquema de la Ilustración 4-52.

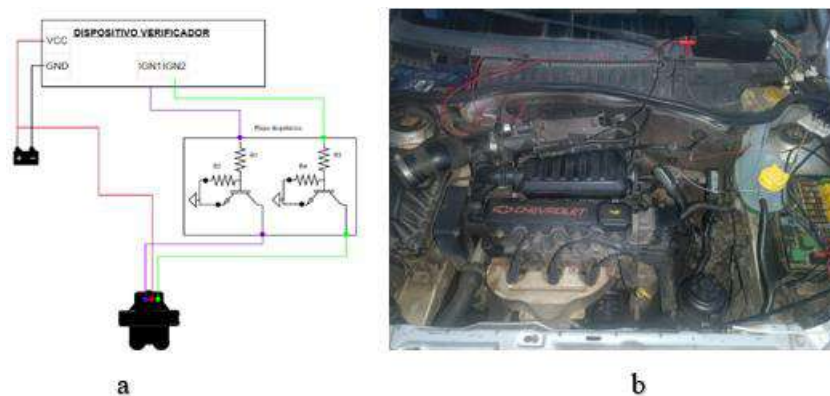


Ilustración 4-52: Conexión de bobina DIS: a) Esquemática, b) Físico

Realizado por: Castro, R.,2023.

La configuración en el software *TunerStudio* para las bobinas se muestra en la Ilustración 4-53. La opción *enable test controls* habilita el modo prueba de las bobinas. También se presenta los 4 canales para las bobinas (morado-1). Del mismo modo, existe la opción de apagar los cuatro

canales (en verde-2). Además, se configura el ciclo de trabajo (en verde-3). Para enviar la señal de activación se tiene la opción encendida (en naranja-4).

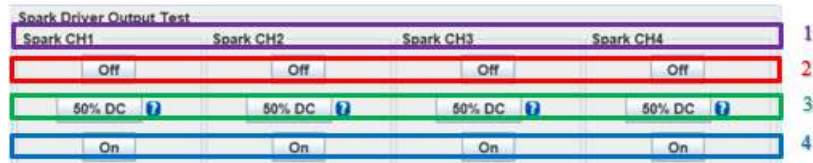


Ilustración 4-53: Prueba de bobina DIS

Realizado por: Castro, R.,2023.

La Ilustración 4-54 presenta la señal de activación para las bobinas DIS. El ajuste del voltaje en el eje "x" se establece en 500 ms por división, y en el eje "y" en 5 V por división. Se registra un voltaje máximo de 12.5 voltios

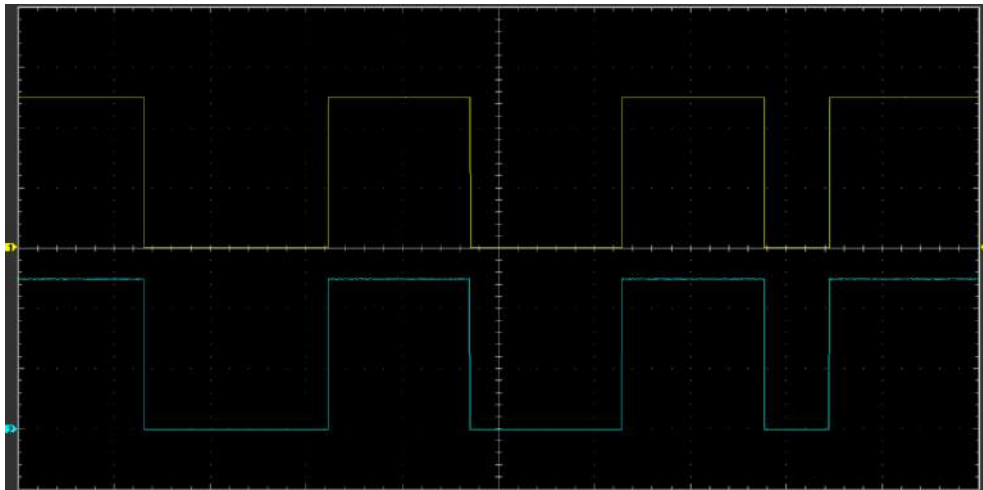


Ilustración 4-54: Señal de activación de bobina de encendido DIS

Realizado por: Castro, R.,2023.

El tiempo de encendido de bobina (Dwell) puede apreciar en la Ilustración 4-55.



Ilustración 4-55: Periodo Dwell

Realizado por: Castro, R.,2023.

CONCLUSIONES

- Para eliminar las señales de ruido que puede afectar los sensores se deben utilizar filtros pasa bajos de frecuencia de corte de 1.5 kHz.
- La programación de los parámetros de sistema de verificación de sensores y actuadores conlleva una evaluación de los parámetros de funcionamiento de sensores: ECT, CKP, T-MAP, O2, TPS, KS y actuadores: IAC, inyectores, bobina de encendido para el correcto funcionamiento del circuito.
- La simulación del sistema electrónico permite evaluar el normal funcionamiento del circuito electrónico mediante el software Proteus tanto evaluando parámetros individuales y colectivos. Para lo cual se establece los parámetros del IDE de Arduino correlacionado con él la interfaz de Proteus y los sensores como potenciómetros de ser el caso y en caso específicos de sensores de tipo inductivo generar una señal digital median un microcontrolador que permitan establecer los parámetros de funcionamiento durante el funcionamiento del dispositivo.
- Para el diseño placa PCB del esquema electrónica del sistema de verificación de sensores y actuadores se considera la diferencia del ancho de la pista para las señales de sensores y actuadores considerando el consumo de corriente con una media de 1mm por cada amperio.
- La evaluación del sistema de verificación de sensores y actuadoras mediante graficas permite establecer los rangos de funcionamiento de los sensores y actuadores donde su operación es normal y no presenta inconvenientes en sus valores nominales tanto en una evaluación individual o grupal.

RECOMENDACIONES

- Evaluar las ventajas y desventajas de diferentes circuitos de acondicionamiento de señal para poder usar en el diseño del sistema electrónico.
- Evaluar diferentes parámetros de funcionamiento del motor en específico el tiempo de inyección de combustible y encendido.
- Analizar los tipos de circuito integrados que cumplen con las características técnicas de voltaje y corriente de los vehículos MEP, mediante el datasheet para poder escoger el más indicado.
- Establecer parámetro individuales y grupales de funcionamiento dentro del Arduino para evitar inconvenientes en el instante de las pruebas

BIBLIOGRAFÍA

1. **AIRD, F.** *Bosch Fuel Injection Systems*. New York-USA: Berkley, 2001, págs. 9-30.
2. **BONNICK, A.** *Automotive Computer Controlled Systems*. Oxford-Inglaterra: Elsever, 2001, págs. 112-166.
3. **BOSCH.** *Manual de la técnica del automóvil*. 3ª ed. Barcelona-España: Reverté, 1996, págs. 456-485.
4. **BOSCH.** *Sistemas de inyección electrónica* [en línea]. 2008. págs. 20-25. [Consulta: 10 mayo 2023]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/sistemas-de-inyeccionbosch/23542433>
5. **CHAFUEL, A.** Diseño y construcción de un sistema de simulación de circuitos para pruebas en banco de sensores y actuadores del sistema de gestión electrónica del motor de combustión interna. [en línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Carrera de Ingeniería Automotriz. Riobamba-Ecuador. 2022. págs. 4-15. [Consulta: 2023-05-05]. Disponible en: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12378>
6. **CHINCHOLKAR, P. & SURYAWANSHI, G.** "Gasoline Direct Injection: An Efficient Technology. Energy Procedia". *Elsevier* [en línea], 2016, (India), vol. 90, págs. 668-670. [Consulta: 2 mayo 2023]. ISSN 18766102. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021631445X>
7. **CORPORATION GENERAL MOTORS.** *Manual Chevi* [en línea]. 2005. pags. 857-860. [Consulta: 15 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.opinautos.com/ec/chevrolet/chevy/info/manuales/taller-reparacion>
8. **DENTON, T.,** 2001. *Automobile electrical and electronic systems*. Oxford-Inglaterra: Elsever, 2001, págs. 36-55.
9. **FERGUSON, C. & KIRKPATRICK, A.** *Internal Combustion Engines*. Colorado-USA: Wiley, 2016, págs. 4-30.
10. **GHOSH, G.** "Review on Direct Petrol Injection in SI engines without using Conventional Carburetor system". *Elsevier* [en línea], 2016, (India), vol. 90, págs. 668-670. [Consulta: 2 mayo 2023]. ISSN 18766102. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021631445X>
11. **CHINCHOLKAR, P. & SURYAWANSHI, G.** "Gasoline Direct Injection: An Efficient Technology. Energy Procedia". *Researchgate* [en línea], 2013, (India), vol.1, págs. 1-10. [Consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021631445X>

12. **GUNSHA, F.** Análisis comparativo del desempeño de controladores discretos pid y difuso evaluados en un sistema de transferencia de calor.[en línea].(Trabajo de titulación) (Maestria). Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Guayaquil-Ecuador. 2018. págs. 20-37. [Consulta: 2023-05-26]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52728>
13. **INEN.** *Transporte* [en línea].2022 [Consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/>.
14. **BOSCH.** *Sistemas de inyección electrónica* [en línea]. 2008. [Consulta: 10 mayo 2023]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/sistemas-de-inyeccinbosch/23542433>
15. **KONRAD, R.** 2015. *Gasoline Engine Management - Systems and Components*. Friedrichshafen-Alemania: Springer, 2015, págs. 4-40.
16. **LENZ, H.** *Mixture Formation in Spark-Ignition Engines*. New York-USA: Springer, 1996, págs. 245-250.
17. **LERROY, D.** Diseño e implementación de equipo para prueba y diagnóstico de sensores y actuadores del sistema de inyección electrónica para vehículos livianos a gasolina (EASYPRO 1.0). [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Carrera de Automatización y Electrónica. Santiago de Cali-Colombia. 2020. págs. 14-18. [Consulta: 2023-06-10]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/entities/publication/96a66b82-0ad6-4620-af80-fc32cece7b5f>
18. **MARTIN, B. et al.** "Desarrollo basado en modelos de un módulo de control del motor para un motor de encendido por chispa". *Researchgate* [en línea], 2018, (Brazil), vol. 6, págs. 1-10. [Consulta: 5 junio 2023]. ISSN 18766102. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6367056.pdf>
19. **PAYRI GONZÁLEZ, F. & DESANTES FERNÁNDEZ, J.M.** *Motores de combustión interna alternativos*. Barcelona-España: Reverté, 2011, págs. 473-500.

ANEXOS

ANEXO A: CARACTERÍSTICA DEL ARDUINO MEGA R3

Regulador de alimentación

Entrada alimentación

Conexión USB

Cristal 16MHz del oscilador

Microcontrolador ATmega2560

ICSP

Pines digitales

Pines digitales

Pines digitales

Los pines analógicos se pueden usar como entradas/salidas digitales

Sin conexión		
IOREF		
Reset		
3.3 V		
5 V		
GND		
GND		
Vin		

SCL	Serial Clock	
SDA	Serial Data	
AREF		
GND		
13	PWM	LED
12	PWM	
11	PWM	
10	PWM	
9	PWM	
8	PWM	
7	PWM	
6	PWM	
5	PWM	
4	PWM	
3	PWM	
2	PWM	
1	Port Serie 0	TX
0	Port Serie 0	RX
14	Port Serie 3	TX
15	Port Serie 3	RX
16	Port Serie 2	TX
17	Port Serie 2	RX
18	Port Serie 1	TX
19	Port Serie 1	RX
20	SDA	I2C TX
21	SCL	I2C RX

Pin Analógico 0	A0	54
Pin Analógico 1	A1	55
Pin Analógico 2	A2	56
Pin Analógico 3	A3	57
Pin Analógico 4	A4	58
Pin Analógico 5	A5	59
Pin Analógico 6	A6	60
Pin Analógico 7	A7	61
Pin Analógico 8	A8	62
Pin Analógico 9	A9	63
Pin Analógico 10	A10	64
Pin Analógico 11	A11	65
Pin Analógico 12	A12	66
Pin Analógico 13	A13	67
Pin Analógico 14	A14	68
Pin Analógico 15	A15	69

MISO		
SCK		
GND		
5V		
22		
24		
26		
28		
30		
32		
34		
36		
38		
40		
42		
44		
46		
48		
50		
52		
54		
56		
58		
60		
62		
64		
66		
68		
70		
72		
74		
76		
78		
80		
82		
84		
86		
88		
90		
92		
94		
96		
98		
100		
5V		
23		
25		
27		
29		
31		
33		
35		
37		
39		
41		
43		
45		
47		
49		
51		
53		
55		
MOSI		
SS		

ANEXO B: CÓDIGO DE INYECCIÓN SECUENCIAL

```
// Definición de pines a los que están conectados los inyectores
int pinesInyectores[] = {8, 9, 10, 11};

// Variable para controlar el inyector actual
int inyectorActual = 0;

// Variable para mantener el tiempo de la última activación
unsigned long ultimoTiempoActivacion = 0;

// Duración de la activación de cada inyector en milisegundos
unsigned long duracionActivacion = 1000;

// Tiempo de espera después del último inyector en milisegundos
unsigned long intervaloDespuesUltimoInyector = 2000;

void setup() {
  // Configuración de los pines de los inyectores como salidas
  for (int i = 0; i < 4; i++) {
    pinMode(pinesInyectores[i], OUTPUT);
  }

  // Iniciar comunicación serial para mostrar información
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // Verificar si ha pasado el tiempo de activación
  if (millis() - ultimoTiempoActivacion >= duracionActivacion) {
    // Activar el siguiente inyector en la secuencia
    activarSiguienteInyector();
    // Actualizar el tiempo de activación
    ultimoTiempoActivacion = millis();
  }
}

void activarSiguienteInyector() {
  // Verificar si todavía hay inyectores por activar
  if (inyectorActual < 4) {
    // Activar el inyector actual
    digitalWrite(pinesInyectores[inyectorActual], HIGH);
    // Mostrar el estado del inyector actual
    mostrarEstadoActivacion(inyectorActual);
    // Mantener el inyector activado durante el tiempo definido
    delay(duracionActivacion);
    // Desactivar el inyector actual
    digitalWrite(pinesInyectores[inyectorActual], LOW);
    // Pasar al siguiente inyector
    inyectorActual++;
  } else {
    // Reiniciar la secuencia de activación
    inyectorActual = 0;
    // Esperar después del último inyector
    delay(intervaloDespuesUltimoInyector);
  }
}

void mostrarEstadoActivacion(int indice) {
  // Mostrar el estado de activación del inyector actual por serial
  Serial.print("Inyector ");
  Serial.print(indice + 1);
  Serial.println(" activado");
}
```

ANEXO C: CÓDIGO DE INYECCIÓN SIMULTÁNEA

```
// Definición de pines a los que están conectados los inyectores
int pinesInyectores[] = {8, 9, 10, 11};

// Duración de la activación simultánea de todos los inyectores en milisegundos
unsigned long duracionActivacion = 1000;

// Tiempo de espera después del ciclo de inyección en milisegundos
unsigned long intervaloDespuesCiclo = 2000;

void setup() {
  // Configuración de los pines de los inyectores como salidas
  for (int i = 0; i < 4; i++) {
    pinMode(pinesInyectores[i], OUTPUT);
  }

  // Iniciar comunicación serial para mostrar información
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // Activar simultáneamente todos los inyectores
  activarInyectores();
  // Mostrar mensaje de activación
  Serial.println("Inyectores activados");
  // Esperar el tiempo del ciclo de inyección
  delay(duracionActivacion);
  // Desactivar todos los inyectores
  desactivarInyectores();
  // Mostrar mensaje de desactivación
  Serial.println("Inyectores desactivados");
  // Esperar después del ciclo de inyección
  delay(intervaloDespuesCiclo);
}

void desactivarInyectores() {
  // Desactivar todos los inyectores
  for (int i = 0; i < 4; i++) {
    digitalWrite(pinesInyectores[i], LOW);
  }
}
```

ANEXO D: CÓDIGO DE INYECCIÓN SEMISECUENCIAL

```
// Definición de pines a los que están conectados los grupos de inyectores
int grupol[] = {8, 9}; // Grupo 1 de inyectores
int grupo2[] = {10, 11}; // Grupo 2 de inyectores

// Duración de la activación de cada grupo en milisegundos
unsigned long duracionGrupol = 1000; // Duración de activación del grupo 1
unsigned long duracionGrupo2 = 500; // Duración de activación del grupo 2

// Tiempo de espera después de la activación de cada grupo en milisegundos
unsigned long intervaloDespuesGrupol = 2000; // Tiempo de espera después del grupo 1
unsigned long intervaloDespuesGrupo2 = 1500; // Tiempo de espera después del grupo 2

void setup() {
  // Configuración de los pines de los grupos de inyectores como salidas
  for (int i = 0; i < 2; i++) {
    pinMode(grupol[i], OUTPUT);
    pinMode(grupo2[i], OUTPUT);
  }

  // Iniciar comunicación serial para mostrar información
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // Activar el grupo 1
  activarGrupo(grupol, 2, duracionGrupol, intervaloDespuesGrupol);
  // Activar el grupo 2
  activarGrupo(grupo2, 2, duracionGrupo2, intervaloDespuesGrupo2);
}

void activarGrupo(int pines[], int numInyectores, unsigned long duracion, unsigned long intervaloDespues) {
  // Activar todos los inyectores del grupo
  for (int i = 0; i < numInyectores; i++) {
    digitalWrite(pines[i], HIGH);
  }

  // Mantener el grupo activado durante el tiempo definido
  delay(duracion);
  // Desactivar todos los inyectores del grupo
  for (int i = 0; i < numInyectores; i++) {
    digitalWrite(pines[i], LOW);
  }

  // Esperar después de la activación del grupo
  delay(intervaloDespues);
}
```

ANEXO E: CÓDIGO PARA BOBINAS DE ENCENDIDO DIS

```
// Definición de pines de activación de las bobinas
int pinBobinal = 40; // Pin de activación de la primera bobina
int pinBobina2 = 38; // Pin de activación de la segunda bobina

// Duración de la activación en milisegundos
unsigned long duracionActivacion = 1000; // Duración de la activación de cada bobina

// Tiempo de espera entre activaciones en milisegundos
unsigned long intervaloEntreActivaciones = 1000; // Tiempo de espera entre activaciones de las bobinas

void setup() {
  // Configuración de los pines de activación como salidas
  pinMode(pinBobinal, OUTPUT);
  pinMode(pinBobina2, OUTPUT);

  // Iniciar comunicación serial para mostrar información
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // Activar la primera bobina
  activarBobina(pinBobinal);
  // Esperar un tiempo antes de activar la segunda bobina
  delay(intervaloEntreActivaciones);
  // Activar la segunda bobina
  activarBobina(pinBobina2);
  // Esperar un tiempo antes de volver a activar la primera bobina
  delay(intervaloEntreActivaciones);
}

void activarBobina(int pin) {
  // Activar la bobina
  digitalWrite(pin, HIGH);
  // Mostrar el estado de activación por serial
  Serial.print("Bobina activada por pin ");
  Serial.println(pin);
  // Mantener la bobina activada durante el tiempo definido
  delay(duracionActivacion);
  // Desactivar la bobina
  digitalWrite(pin, LOW);
}
```

ANEXO F: CÓDIGO PARA BOBINAS DE ENCENDIDO COP

```
// Definición de pines para las bobinas COP de cada cilindro
const int pinBobinal = 40; // Pin para la bobina del cilindro 1
const int pinBobina3 = 52; // Pin para la bobina del cilindro 3
const int pinBobina4 = 50; // Pin para la bobina del cilindro 4
const int pinBobina2 = 38; // Pin para la bobina del cilindro 2

// Tiempo común de activación en milisegundos para todas las bobinas
const unsigned long tiempoComunActivacion = 1000; // 1 segundo

// Tiempo de espera común entre activaciones en milisegundos para todas las bobinas
const unsigned long intervaloComunEntreActivaciones = 2000; // 2 segundos

void setup() {
  // Configurar pines de activación como salidas
  pinMode(pinBobinal, OUTPUT);
  pinMode(pinBobina3, OUTPUT);
  pinMode(pinBobina4, OUTPUT);
  pinMode(pinBobina2, OUTPUT);

  // Iniciar comunicación serial para mostrar información
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  activarYDesactivarBobina(pinBobinal);
  delay(intervaloComunEntreActivaciones);

  activarYDesactivarBobina(pinBobina3);
  delay(intervaloComunEntreActivaciones);

  activarYDesactivarBobina(pinBobina4);
  delay(intervaloComunEntreActivaciones);

  activarYDesactivarBobina(pinBobina2);
  delay(intervaloComunEntreActivaciones);
}

void activarYDesactivarBobina(int pin) {
  digitalWrite(pin, HIGH); // Activar la bobina
  Serial.print("Bobina activada en pin ");
  Serial.println(pin);
}
```


ANEXO G: CÓDIGO PARA VÁLVULA IAC

```
#include <AccelStepper.h>

// Definición de pines para el controlador DRV8825
#define dirPin 16 // Pin de dirección
#define stepPin 17 // Pin de paso
#define enablePin 24 // Pin de habilitación
#define motorInterfaceType 1 // Tipo de interfaz del motor (1 para controlador DRV8825)

// Definición de objeto para el controlador AccelStepper
AccelStepper stepper(motorInterfaceType, stepPin, dirPin);

void setup() {
  // Configuración de pines como salidas
  pinMode(enablePin, OUTPUT);
  digitalWrite(enablePin, LOW); // Habilitar el controlador

  // Configuración de velocidad y otras propiedades del motor
  stepper.setMaxSpeed(500); // Velocidad máxima en pasos por segundo
  stepper.setAcceleration(200); // Aceleración en pasos por segundo por segundo

  // Iniciar comunicación serial para mostrar información
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // Movimiento hacia adelante (abrir la válvula)
  moverValvulaIAC(500); // Número de pasos hacia adelante

  // Mostrar mensaje en la consola serial
  Serial.println("Válvula IAC: Abierta");
  delay(1000); // Esperar un segundo antes de invertir el movimiento

  // Movimiento hacia atrás (cerrar la válvula)
  moverValvulaIAC(-500); // Número de pasos hacia atrás

  // Mostrar mensaje en la consola serial
  Serial.println("Válvula IAC: Cerrada");

  delay(1000); // Esperar un segundo antes de repetir el ciclo
}

void moverValvulaIAC(int pasos) {
  // Configurar la dirección del movimiento
  if (pasos > 0) {
    digitalWrite(dirPin, HIGH); // Movimiento hacia adelante
  } else {
    digitalWrite(dirPin, LOW); // Movimiento hacia atrás
  }

  // Activar el motor paso a paso para mover la válvula
  digitalWrite(enablePin, HIGH); // Habilitar el controlador
  stepper.moveTo(abs(pasos)); // Número absoluto de pasos
  stepper.runToPosition(); // Ejecutar el movimiento
  digitalWrite(enablePin, LOW); // Deshabilitar el controlador
}
```

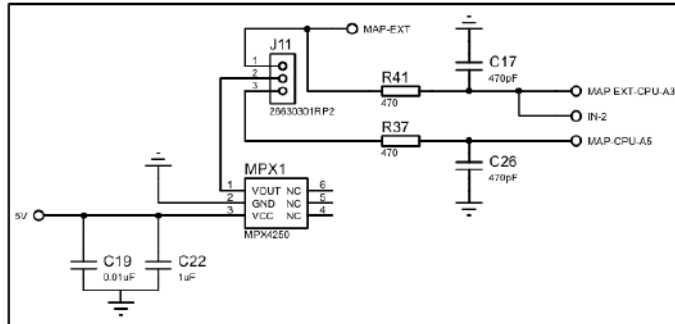

ANEXO J: CARACTERÍSTICAS DE CHEVROLET CORSA EVOLUTION 1.8

Especificaciones del motor

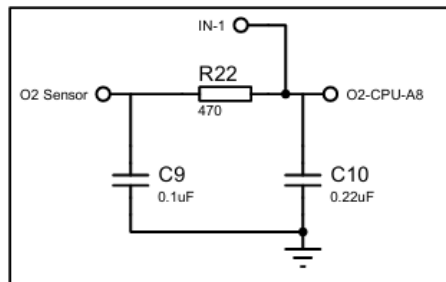
Fabricante del motor:	GM Opel Ecotec 1.8L (Familia 1)
Tipo de motor:	de encendido por chispa de 4 tiempos
Tipo de combustible:	combustible flexible gasolina-etanol, datos para gasolina
Sistema de combustible:	inyección indirecta de gasolina
Sistema de carga:	aspiración natural
Válvulas por cilindro:	2
Sincronización de válvulas:	
Características adicionales:	motronic DOHC
Control de emisión:	Catalizador de 3 vías, Sonda Lambda
Estándar de emisión:	
Alineación de cilindros:	Línea 4
Desplazamiento:	1796 cm3 / 109,5 cui
¿Qué poder?	
Potencia neta:	82 kW / 112 CV / 110 CV (ISO) / 5600
Red de torsión:	174 Nm / 128 pies-libra / 2800
Caballos de fuerza brutos:	
Par bruto:	
Relación potencia-peso del vehículo neto :	73,4 vatios/kg / 33,3 vatios/libra
Relación potencia-peso del vehículo bruto :	
Relación peso/potencia neto del vehículo :	13,6 kg/kW / 10 kg/PS / 22,4 libras/hp
Relación peso/potencia bruta del vehículo :	

ANEXO K: CIRCUITO GENERAL

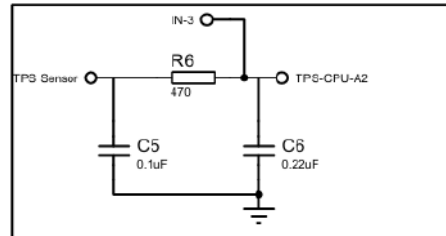
- *Sensores: Circuito acondicionador de sensor MAP*



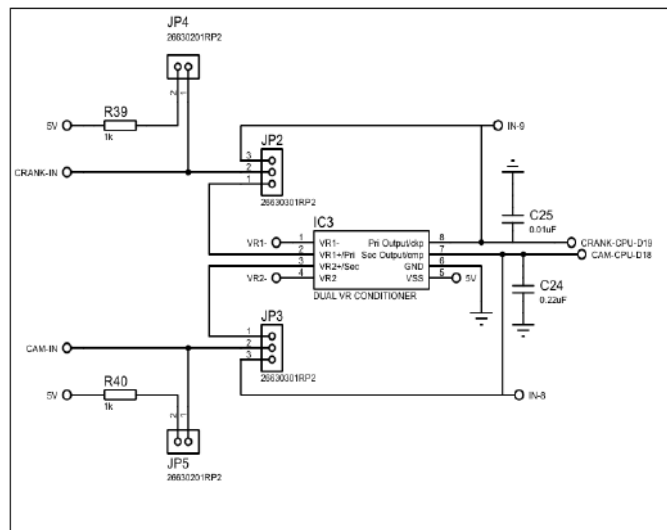
- *Sensores: Circuito acondicionador de sensor O2*



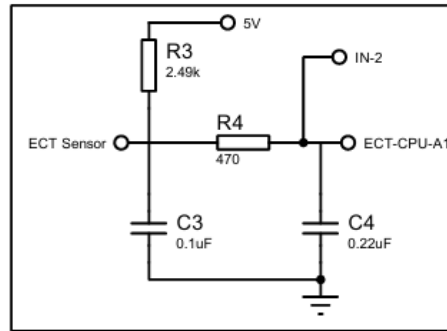
- *Sensores: Circuito acondicionador de sensor TPS*



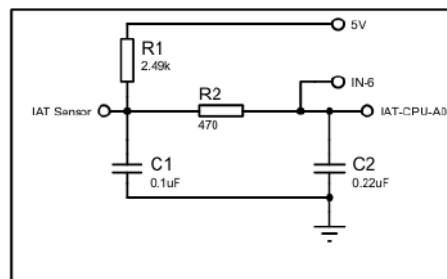
- *Sensores: Circuito acondicionador sensor CKP y CMP*



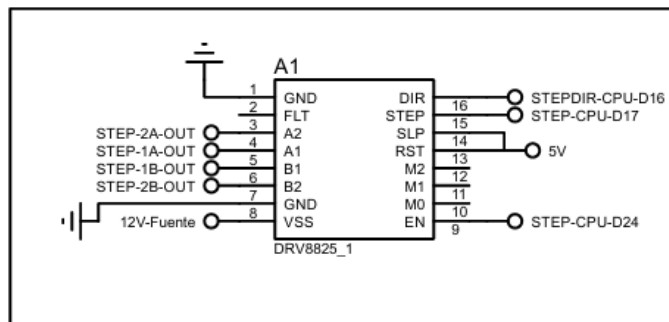
- *Sensor: Circuito acondicionador sensor ECT*



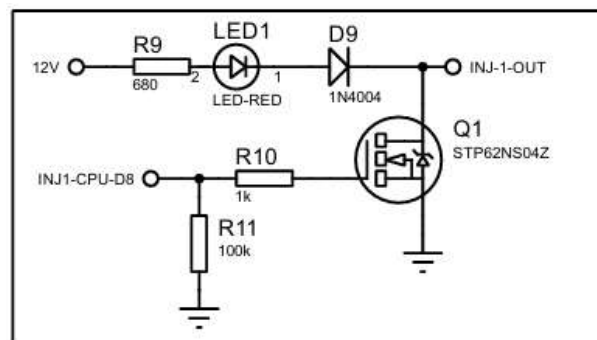
- *Sensor: Circuito acondicionador sensor IAT*



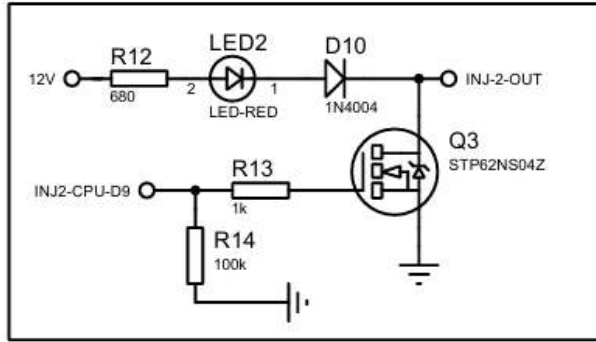
- *Actuador: Válvula IAC*



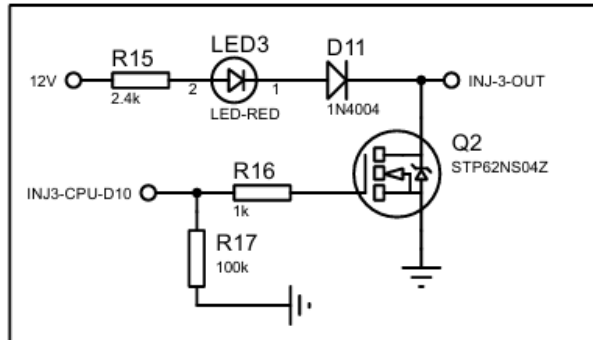
- *Actuador: Inyector 1*



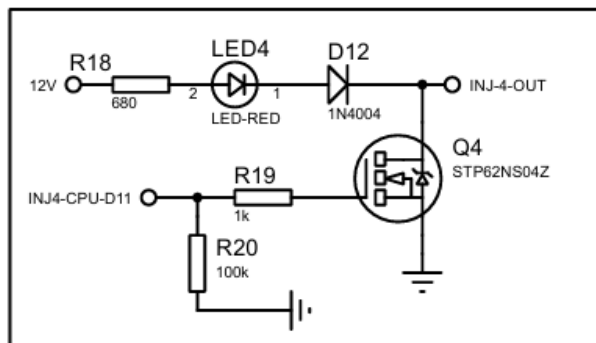
- *Actuador: Inyector 2*



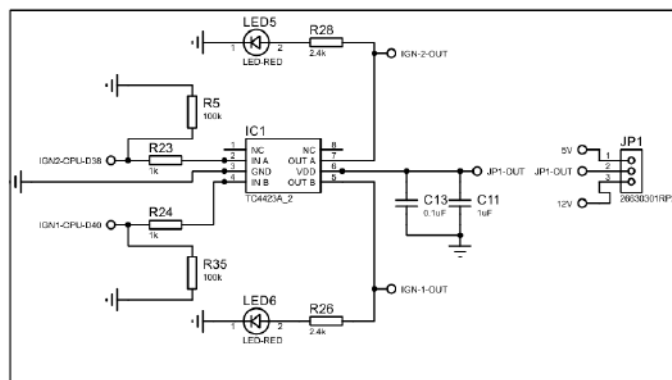
• *Actuador: Inyector 3*



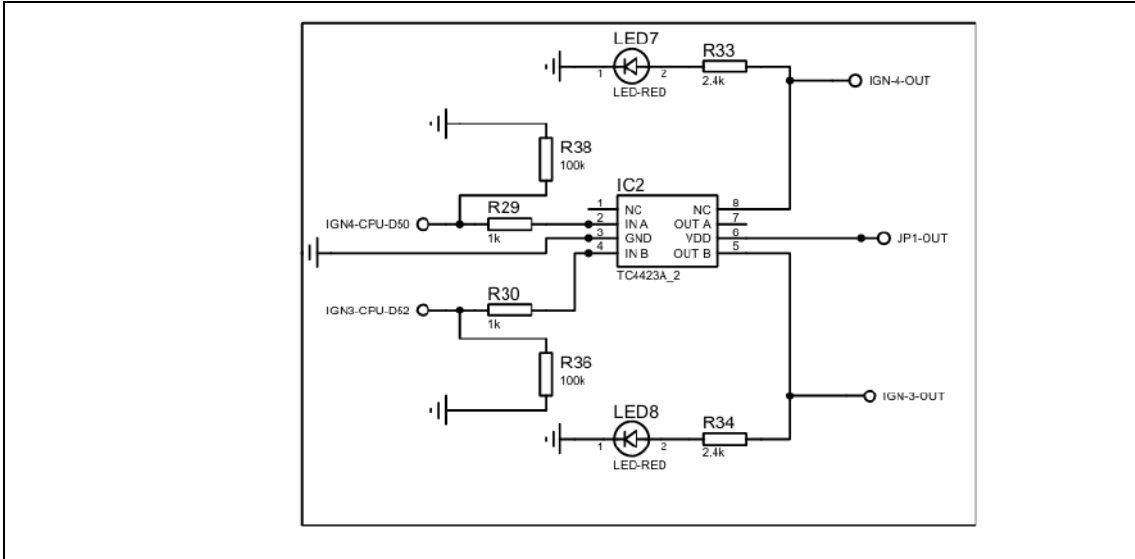
• *Actuador: Inyector 4*



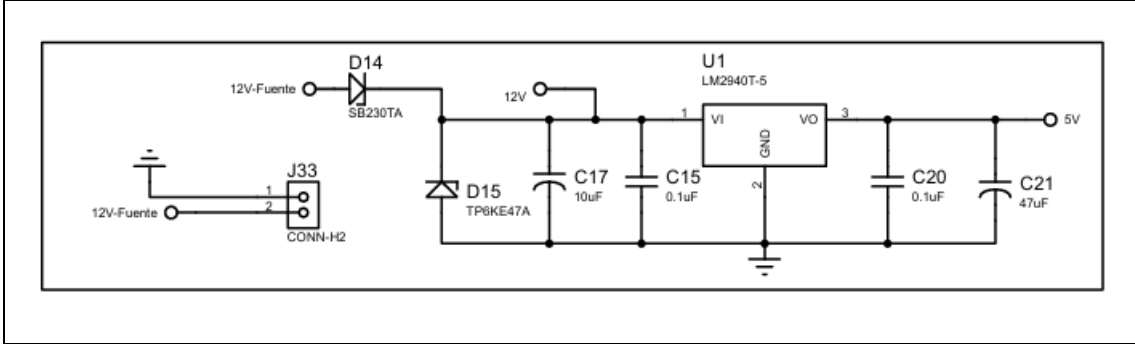
• *Actuador: bobina de encendido 1 y 2*



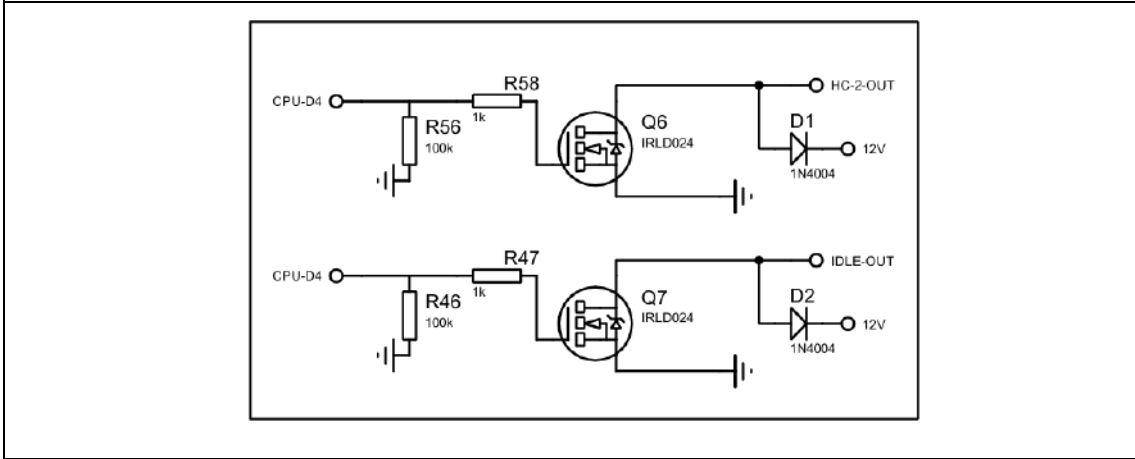
• *Actuador: bobina de encendido 3 y 4*



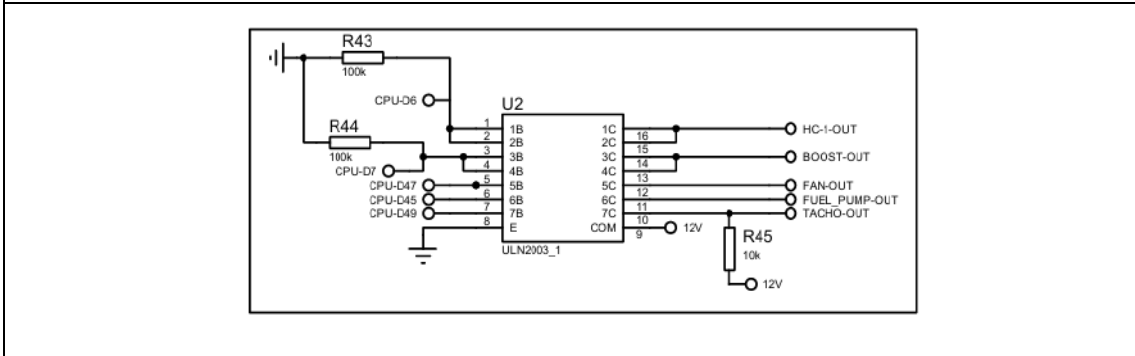
- *Fuente de alimentación*



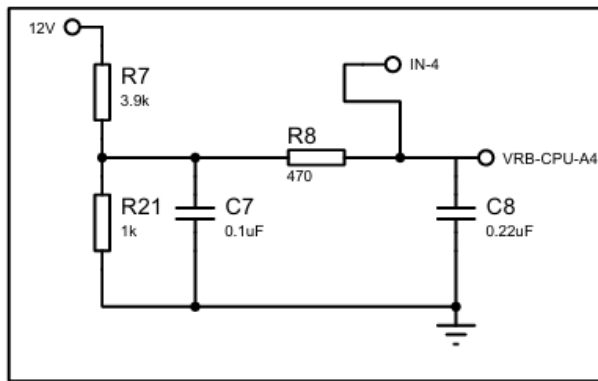
- *Elementos auxiliares: Salidas de alta corriente 1*



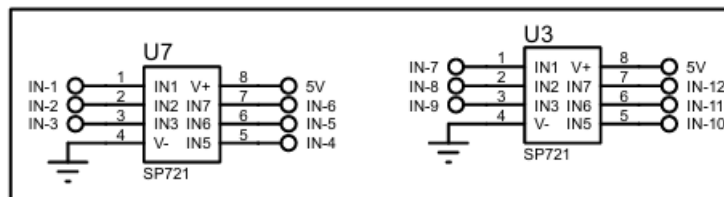
- *Elementos auxiliares: Salidas de alta corriente 2*



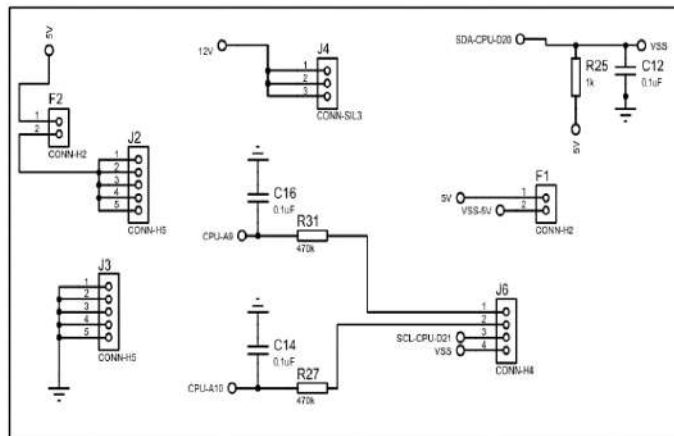
- *Elementos auxiliares: Voltaje de referencia de batería*



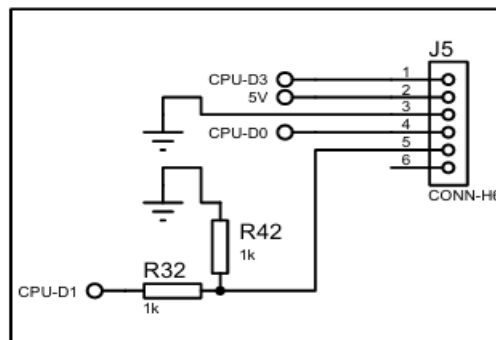
- *Elementos auxiliares: Circuito de protección contra sobretensión*



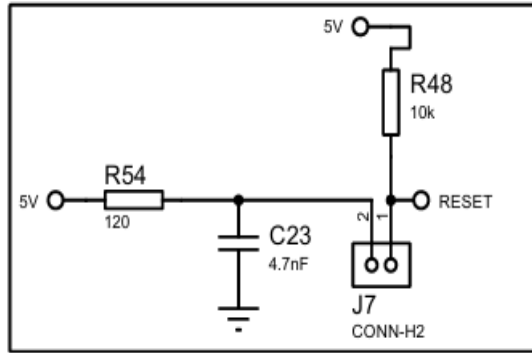
- *Elementos auxiliares: Circuito de alimentación y GND auxiliares*



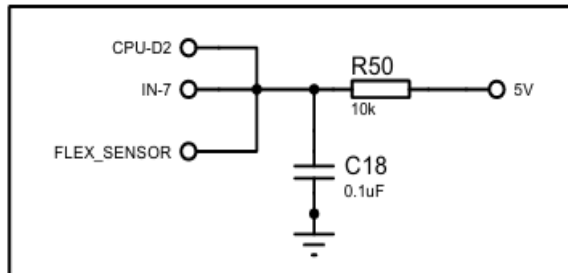
- *Elementos auxiliares: Bluetooth*



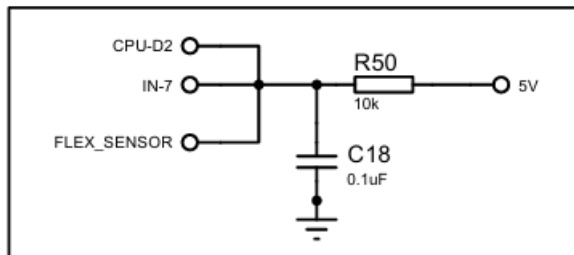
- *Elementos auxiliares: Circuito de reinicio*



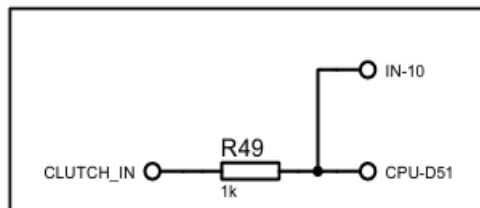
- *Elementos auxiliares: Entrada de sensor Flex*



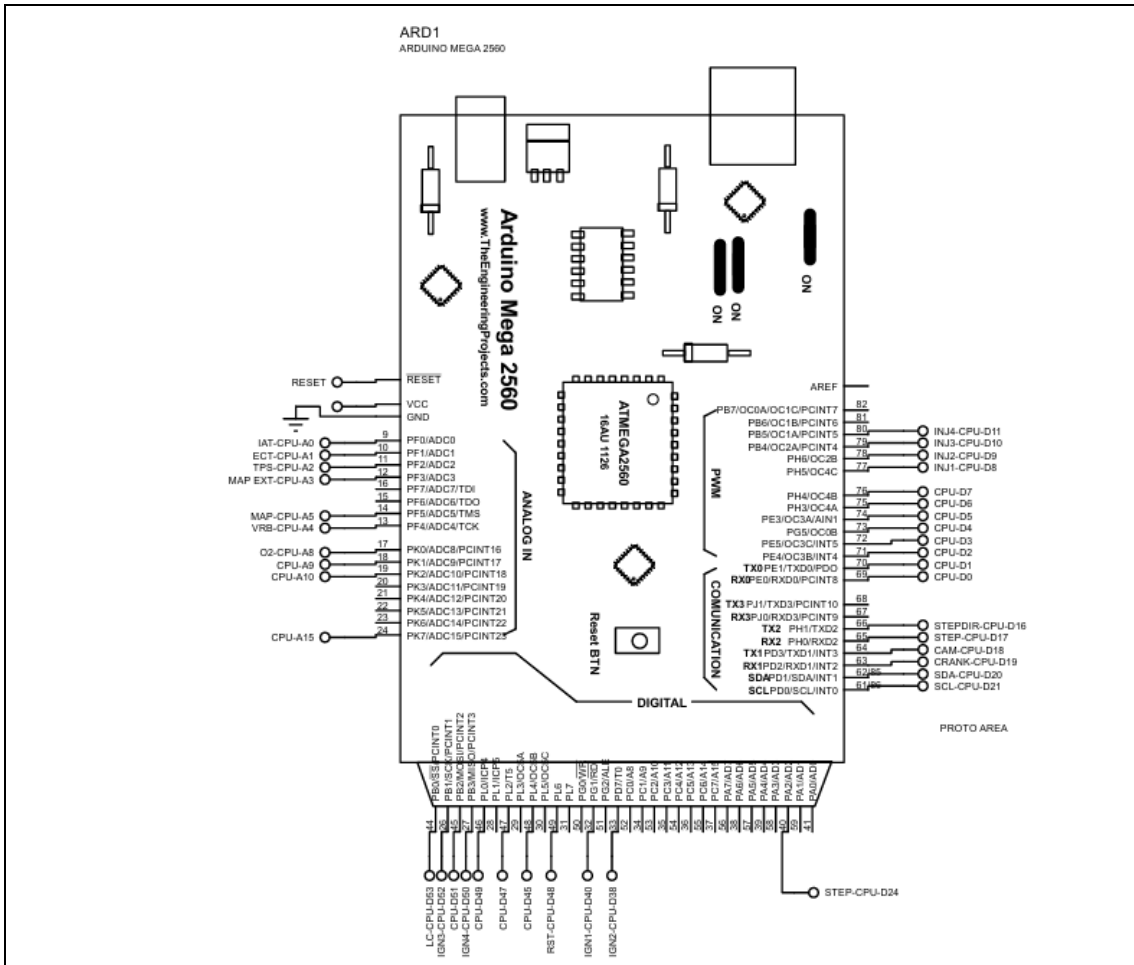
- *Elementos auxiliares: Entrada de sensor Flex*



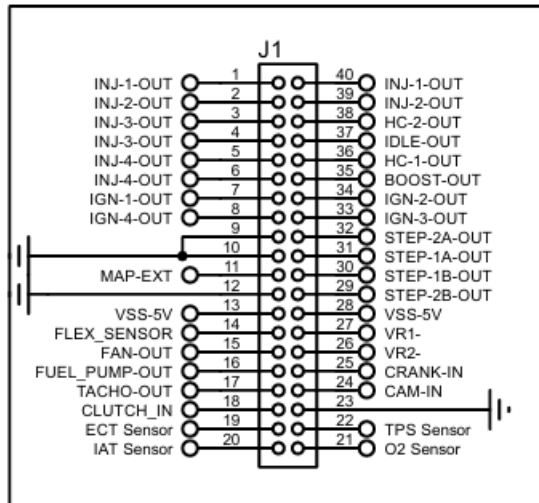
- *Elementos auxiliares: Entrada de embrague*



- *Conexión a Arduino*



- *Conector de señales de entrada y salida*



ANEXO L: DATASHHET CIRCUITO REGULADOR DE VOLTAJE



January 2007

LM2940/LM2940C 1A Low Dropout Regulator

General Description

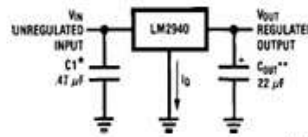
The LM2940/LM2940C positive voltage regulator features the ability to source 1A of output current with a dropout voltage of typically 0.5V and a maximum of 1V over the entire temperature range. Furthermore, a quiescent current reduction circuit has been included which reduces the ground current when the differential between the input voltage and the output voltage exceeds approximately 3V. The quiescent current with 1A of output current and an input-output differential of 5V is therefore only 30 mA. Higher quiescent currents only exist when the regulator is in the dropout mode ($V_{IN} - V_{OUT} \leq 3V$). Designed also for vehicular applications, the LM2940/LM2940C and all regulated circuitry are protected from reverse battery installations or 2-battery jumps. During line transients, such as load dump when the input voltage can momentarily exceed the specified maximum operating volt-

age, the regulator will automatically shut down to protect both the internal circuits and the load. The LM2940/LM2940C cannot be harmed by temporary mirror-image insertion. Familiar regulator features such as short circuit and thermal overload protection are also provided.

Features

- Dropout voltage typically 0.5V @ $I_O = 1A$
- Output current in excess of 1A
- Output voltage trimmed before assembly
- Reverse battery protection
- Internal short circuit current limit
- Mirror image insertion protection
- P+ Product Enhancement tested

Typical Application



*Required if regulator is located far from power supply filter.

** C_{OUT} must be at least 22 μF to maintain stability. May be increased without bound to maintain regulation during transients. Locate as close as possible to the regulator. This capacitor must be rated over the same operating temperature range as the regulator and the ESR is critical; see curve.

Ordering Information

Temp Range	Output Voltage						Package
	5.0	8.0	9.0	10	12	15	
0°C ≤ T _J ≤ 125°C	LM2940CT-5.0	–	LM2940CT-9.0	–	LM2940CT-12	LM2940CT-15	TO-220
	LM2940CS-5.0	–	LM2940CS-9.0	–	LM2940CS-12	LM2940CS-15	TO-263
	LM2940CSX-5.0	–	LM2940CSX-9.0	–	LM2940CSX-12	LM2940CSX-15	
–40°C ≤ T _J ≤ 125°C	LM2940LD-5.0	LM2940LD-8.0	LM2940LD-9.0	LM2940LD-10	LM2940LD-12	LM2940LD-15	LLP 1k Units Tape and Reel
	LM2940LDX-5.0	LM2940LDX-8.0	LM2940LDX-9.0	LM2940LDX-10	LM2940LDX-12	LM2940LDX-15	LLP 4.5k Units Tape and Reel
–40°C ≤ T _J ≤ 125°C	LM2940T-5.0	LM2940T-8.0	LM2940T-9.0	LM2940T-10	LM2940T-12	–	TO-220
	LM2940S-5.0	LM2940S-8.0	LM2940S-9.0	LM2940S-10	LM2940S-12	–	TO-263
	LM2940SX-5.0	LM2940SX-8.0	LM2940SX-9.0	LM2940SX-10	LM2940SX-12	–	

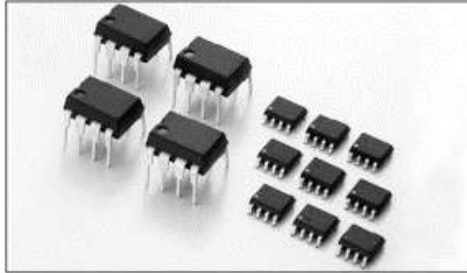
LM2940/LM2940C 1A Low Dropout Regulator

ANEXO M: DATASHHET CIRCUITO REGULADOR DE PICOS DE VOLTAJE

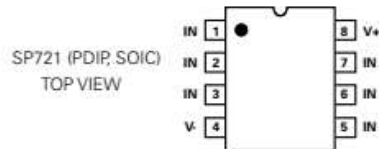
TVS Diode Arrays (SPA® Diodes)
General Purpose ESD Protection - SP721 Series



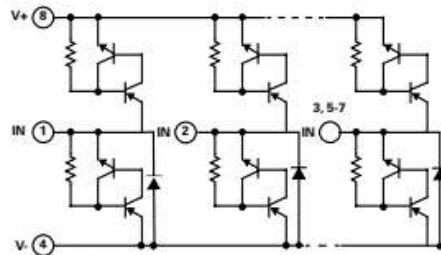
SP721 Series 3pF 4kV Diode Array



Pinout



Functional Block Diagram



Additional Information



Datasheet



Resources



Samples

Description

The SP721 is an array of SCR/Diode bipolar structures for ESD and over-voltage protection to sensitive input circuits. The SP721 has 2 protection SCR/Diode device structures per input. There are a total of 6 available inputs that can be used to protect up to 6 external signal or bus lines. Over-voltage protection is from the IN (Pins 1 - 3 and Pins 5 - 7) to V+ or V-.

The SCR structures are designed for fast triggering at a threshold of one $+V_{BE}$ diode threshold above V+ (Pin 8) or a $-V_{BE}$ diode threshold below V- (Pin 4). From an IN input, a clamp to V+ is activated if a transient pulse causes the input to be increased to a voltage level greater than one V_{BE} above V+. A similar clamp to V- is activated if a negative pulse, one V_{BE} less than V-, is applied to an IN input. Standard ESD Human Body Model (HBM) Capability is:

Features

- ESD Interface Capability for HBM Standards
 - MIL STD 3015.7 15kV
 - IEC 61000-4-2, Direct Discharge,
 - Single Input 4kV (Level 2)
 - Two Inputs in Parallel 8kV (Level 4)
 - IEC 61000-4-2, Air Discharge 15kV (Level 4)
- High Peak Current Capability
 - IEC 61000-4-5 (8/20 μ s) \pm 3A
 - Single Pulse, 100 μ s Pulse Width \pm 2A
 - Single Pulse, 4 μ s Pulse Width \pm 5A
- Designed to Provide Over-Voltage Protection
 - Single-Ended Voltage Range to +30V
 - Differential Voltage Range to \pm 15V
- Fast Switching 2ns Rise Time
- Low Input Leakages 1nA at 25°C Typical
- Low Input Capacitance 3pF Typical
- An Array of 6 SCR/Diode Pairs
- Operating Temperature Range -40°C to 105°C

Applications

- Microprocessor/Logic Input Protection
- Analog Device Input Protection
- Data Bus Protection
- Voltage Clamp

ANEXO N: DATASHHET SENSOR DE PRESIÓN MPX4250A

NXP Semiconductors

MPX4250A, MPXA4250A

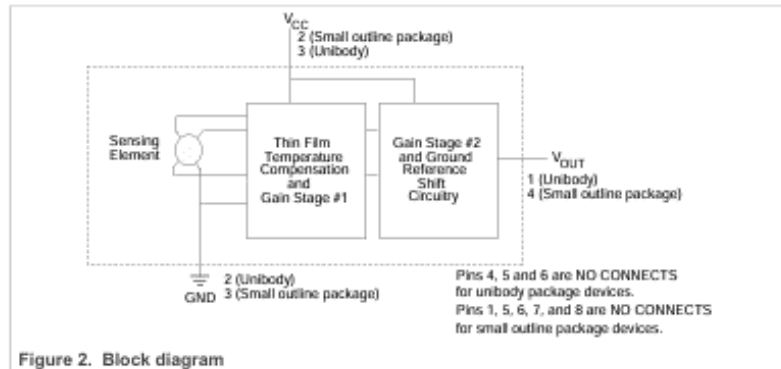
20 to 250 kPa, Manifold absolute pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated

4 Ordering information

Table 1. Ordering information

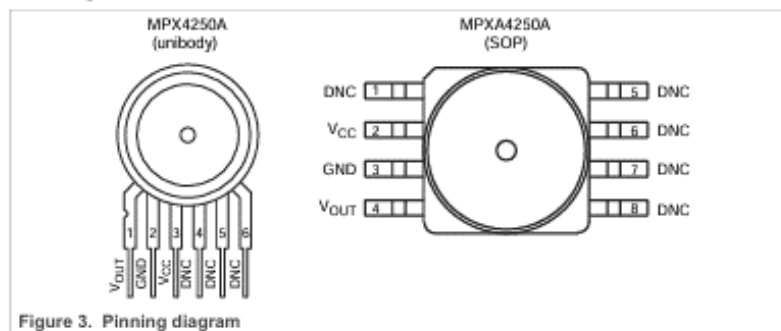
Device name	Package Options	Package Name	# of Ports			Pressure type			Device marking
			None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
Small outline package (MPXA4250A series)									
MPXA4250A8U	Rail	98ASB17756C	•					•	MPXA4250A
MPXA4250AC6U	Rail	98ASB17757C		•				•	MPXA4250A
MPXA4250AC6T1	Tape and Reel	98ASB17757C		•				•	MPXA4250A
Unibody package (MPX4250A series)									
MPX4250A	Tray	98ASB42793B	•					•	MPX4250A
MPX4250AP	Tray	98ASB42796B		•				•	MPX4250A

5 Block diagram



6 Pinning information

6.1 Pinning



ANEXO O: DATASHEET MAX9926

Variable Reluctance Sensor Interfaces with Differential Input and Adaptive Peak Threshold

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V _{CC} to GND	-0.3V to +6V	Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ_{JA}) (Note 1)	
All Other Pins	-0.3V to (V _{CC} +0.3V)	10-Pin μ MAX	113.1°C/W
Current into IN ⁺ , IN ⁻ , IN ₊ ⁺ , IN ₋ ⁻	=40mA	16-Pin QSOP	103.7°C/W
Current into All Other Pins	=20mA	Operating Temperature Range	-40°C to +125°C
Output Short-Circuit (OUT ₊ , OUT ₋) to GND	10s	Junction Temperature	+150°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C) (Note 1)		Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
10-Pin μ MAX (derate 8.8mW/°C above +70°C)	707.3mW	Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
16-Pin QSOP (derate 9.6mW/°C above +70°C)	771.5mW		
Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC}) (Note 1)			
10-Pin μ MAX	42°C/W		
16-Pin QSOP	37°C/W		

Note 1: Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to www.maxim-ic.com/thermal-tutorial.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = 5V, V_{GND} = 0, MAX9925/MAX9927 gain setting = 1V/V, Mode A1, V_{BIAS} = 2.5V, V_{PULLUP} = 5V, R_{PULLUP} = 1k Ω , C_{COU} = 50pF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
POWER SUPPLY						
Operating Supply Range	V _{CC}	(Note 3)	4.5		5.5	V
Supply Current	I _{CC}	MAX9924/MAX9925		2.6	5	mA
		MAX9926/MAX9927		4.7	10	
Power-On Time	P _{ON}	V _{CC} > V _{VUNLO} = 4.1V, step time for V _{CC} ~ 1 μ s		30	150	μ s
INPUT OPERATIONAL AMPLIFIER (MAX9925/MAX9927)						
Input Voltage Range	IN ⁺ , IN ⁻	Guaranteed by CMRR	0		V _{CC}	V
Input Offset Voltage	V _{OS-OA}	Temperature drift			5	μ V/°C
				0.5	3	mV
Input Bias Current	I _{BIAS}	(Note 4)		0.1	6	nA
Input Offset Current	I _{OFFSET}	(Note 4)		0.05	2	nA
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	From V _{CM} = 0 to V _{CC}	75	102		dB
Power-Supply Rejection Ratio	PSRR	MAX9925	88	105		dB
		MAX9927	77	94		
Output Voltage Low	V _{OL}	I _{OL} = 1mA			0.050	V
Output Voltage High	V _{OH}	I _{OH} = -1mA	V _{CC} - 0.050			V
Recovery Time from Saturation	t _{SAF}	To 1% of the actual V _{OUT} after output saturates		1.2		μ s
Gain-Bandwidth Product	GBW			1.4		MHz
Slew Rate	SR			2.3		V/ μ s
Charge-Pump Frequency	f _{CP}			1.3		MHz

ANEXO P: DATASHEET TRANSISTOR STP62NS04Z



STP62NS04Z

N-CHANNEL CLAMPED 12.5m Ω - 62A TO-220
FULLY PROTECTED MESH OVERLAY™ MOSFET

TYPE	V _{DSS}	R _{DS(on)}	I _D
STP62NS04Z	CLAMPED	<0.015 Ω	62 A

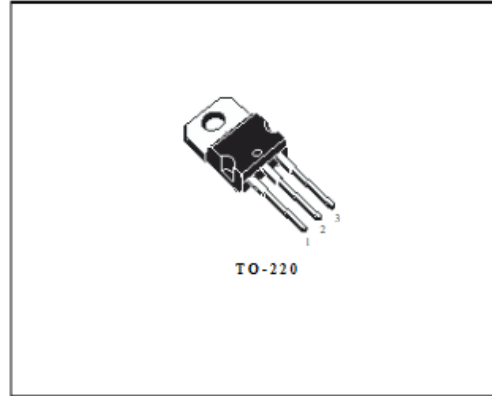
- TYPICAL R_{DS(on)} = 0.0125 Ω
- 100% AVALANCHE TESTED
- LOW CAPACITANCE AND GATE CHARGE
- 175 °C MAXIMUM JUNCTION TEMPERATURE

DESCRIPTION

This fully clamped Mosfet is produced by using the latest advanced Company's Mesh Overlay process which is based on a novel strip layout. The inherent benefits of the new technology coupled with the extra clamping capabilities make this product particularly suitable for the harshest operation conditions such as those encountered in the automotive environment. Any other application requiring extra ruggedness is also recommended.

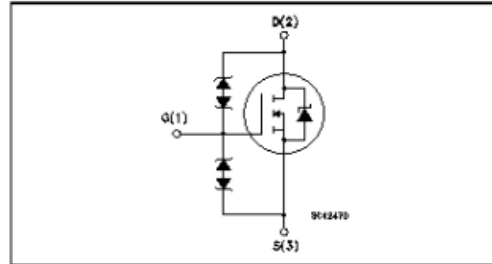
APPLICATIONS

- ABS, SOLENOID DRIVERS
- POWER TOOLS



TO-220

INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM



Ordering Information

SALES TYPE	MARKING	PACKAGE	PACKAGING
STP62NS04Z	P62NS04Z	TO-220	TUBE

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{DS}	Drain-source Voltage (V _{GS} = 0)	CLAMPED	V
V _{DG}	Drain-gate Voltage	CLAMPED	V
V _{GS}	Gate-source Voltage	CLAMPED	V
I _D	Drain Current (continuous) at T _C = 25°C	62	A
I _D	Drain Current (continuous) at T _C = 100°C	37.5	A
I _{DG}	Drain Gate Current (continuous)	± 50	mA
I _{GS}	Gate Source Current (continuous)	± 50	mA
I _{DM} (*)	Drain Current (pulsed)	248	A
P _{tot}	Total Dissipation at T _C = 25°C	110	W
	Derating Factor	0.74	W/°C
dv/dt (1)	Peak Diode Recovery voltage slope	8	V/ns
E _{AS} (2)	Single Pulse Avalanche Energy	500	mJ
V _{ESD}	ESD (HBM - C = 100pF, R = 1.5 k Ω)	8	kV
T _{stg}	Storage Temperature	-55 to 175	°C
T _j	Operating Junction Temperature	-55 to 175	°C

(*) Pulse width limited by safe operating area.

(1) I_{SD} ≤ 40A, di/dt ≤ 100A/µs, V_{DD} ≤ V_{BR(DSS)}, T_j ≤ T_{JMAX}

(2) Starting T_j = 25 °C, I_D = 20A, V_{DD} = 20V

MICROCHIP TC4423A/TC4424A/TC4425A

3A Dual High-Speed Power MOSFET Drivers

Features

- High Peak Output Current: 4.5A (typical)
- Wide Input Supply Voltage Operating Range:
 - 4.5V to 18V
- High Capacitive Load Drive Capability:
 - 1800 pF in 12 ns
- Short Delay Times: 40 ns (typical)
- Matched Rise/Fall Times
- Low Supply Current:
 - With Logic '1' Input – 1.0 mA (maximum)
 - With Logic '0' Input – 150 μ A (maximum)
- Low Output Impedance: 2.5 Ω (typical)
- Latch-Up Protected: Will Withstand 1.5A Reverse Current
- Logic Input Will Withstand Negative Swing Up To 5V
- Pin compatible with the TC4423/TC4424/TC4425 and TC4426A/TC4427A/TC4428A devices
- Space-saving 8-Pin 150 mil body SOIC and 8-Pin 6x5 DFN Packages

Applications

- Switch Mode Power Supplies
- Pulse Transformer Drive
- Line Drivers
- Direct Drive of Small DC Motors

General Description

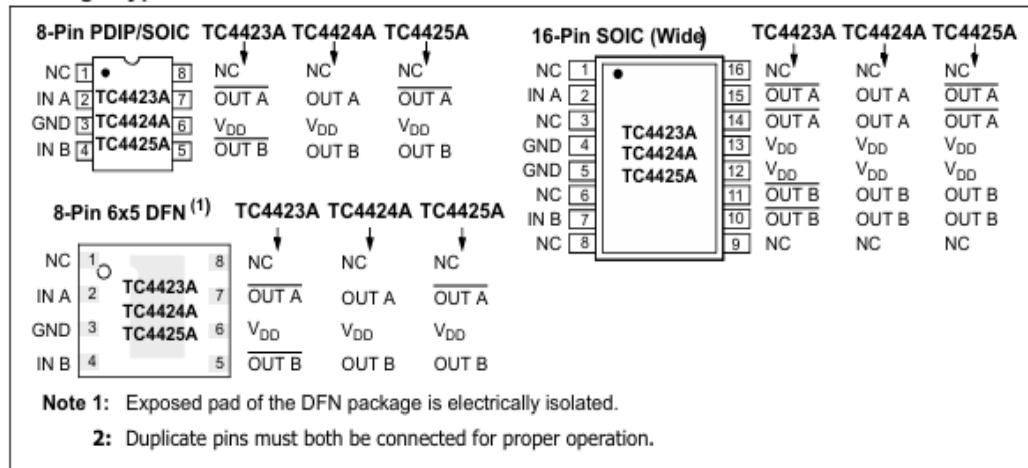
The TC4423A/TC4424A/TC4425A devices are a family of dual-output 3A buffers/MOSFET drivers. These devices are improved versions of the earlier TC4423/TC4424/TC4425 dual-output 3A driver family. This improved version features higher peak output current drive capability, lower shoot-through current, matched rise/fall times and propagation delay times. The TC4423A/TC4424A/TC4425A devices are pin-compatible with the existing TC4423/TC4424/TC4425 family. An 8-pin SOIC package option has been added to the family. The 8-pin DFN package option offers increased power dissipation capability for driving heavier capacitive or resistive loads.

The TC4423A/TC4424A/TC4425A MOSFET drivers can easily charge and discharge 1800 pF gate capacitance in under 20 ns, provide low enough impedances in both the on and off states to ensure the MOSFET's intended state will not be affected, even by large transients.

The TC4423A/TC4424A/TC4425A inputs may be driven directly from either TTL or CMOS (2.4V to 18V). In addition, the 300 mV of built-in hysteresis provides noise immunity and allows the device to be driven from slow rising or falling waveforms.

The TC4423A/TC4424A/TC4425A dual-output 3A MOSFET driver family is offered with a -40°C to +125°C temperature rating, making it useful in any wide temperature range application.

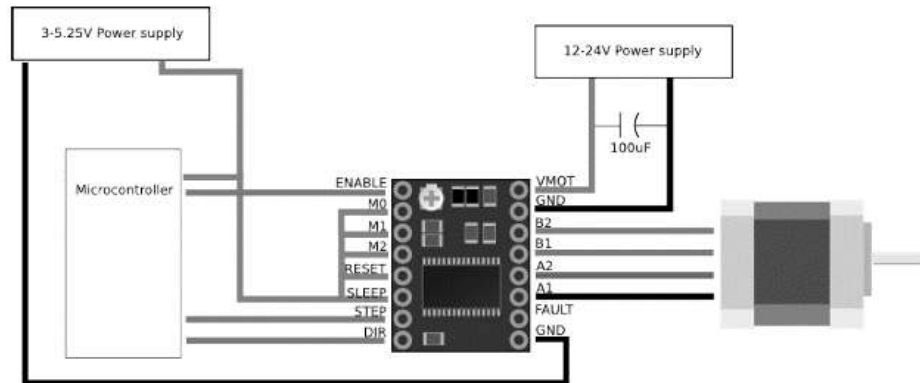
Package Types



ANEXO R: DATASHEET CIRCUITO INTEGRADO A4989

EXAMPLE CIRCUIT

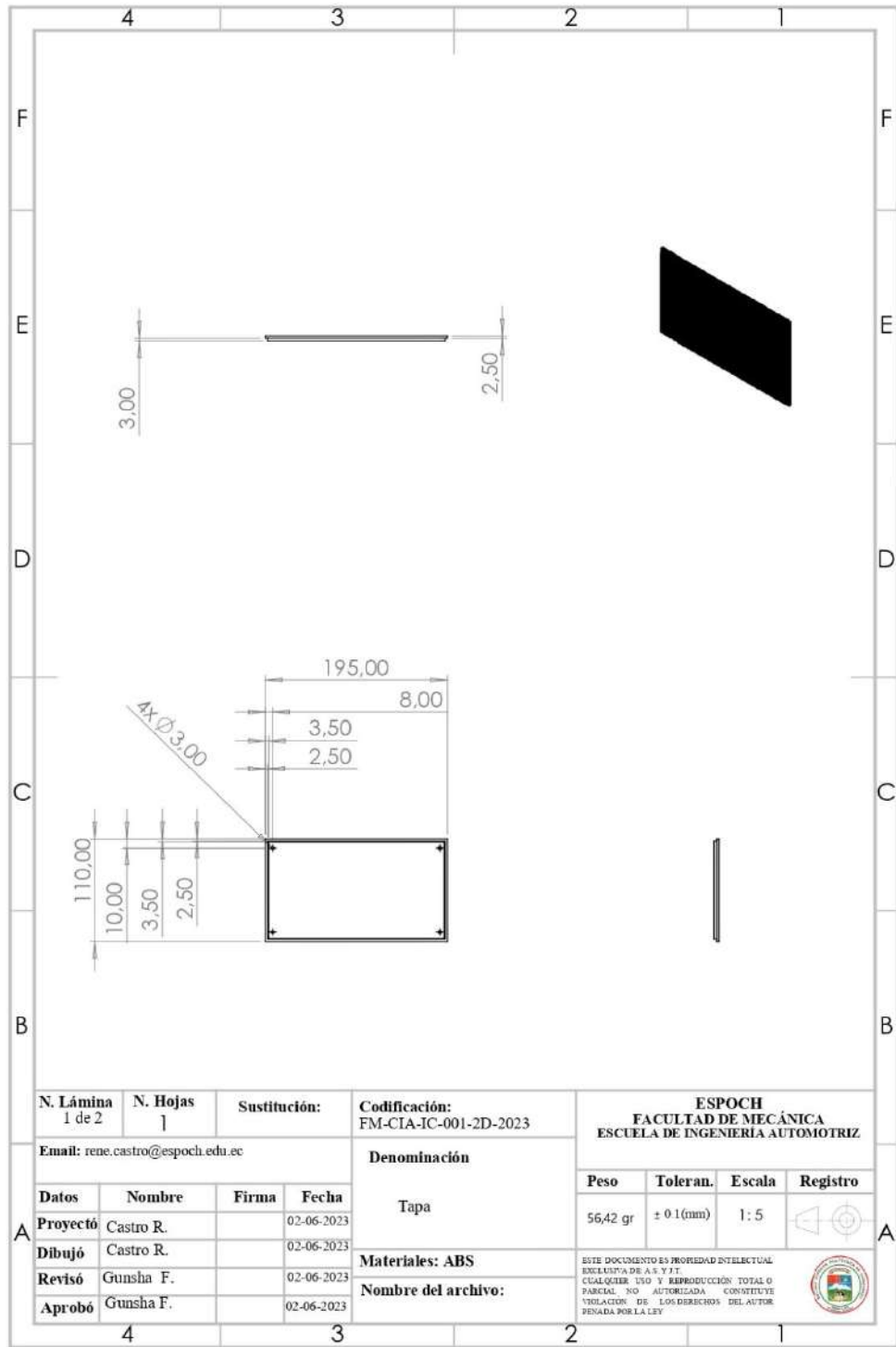
The following diagram lists the pins and show an example circuit.



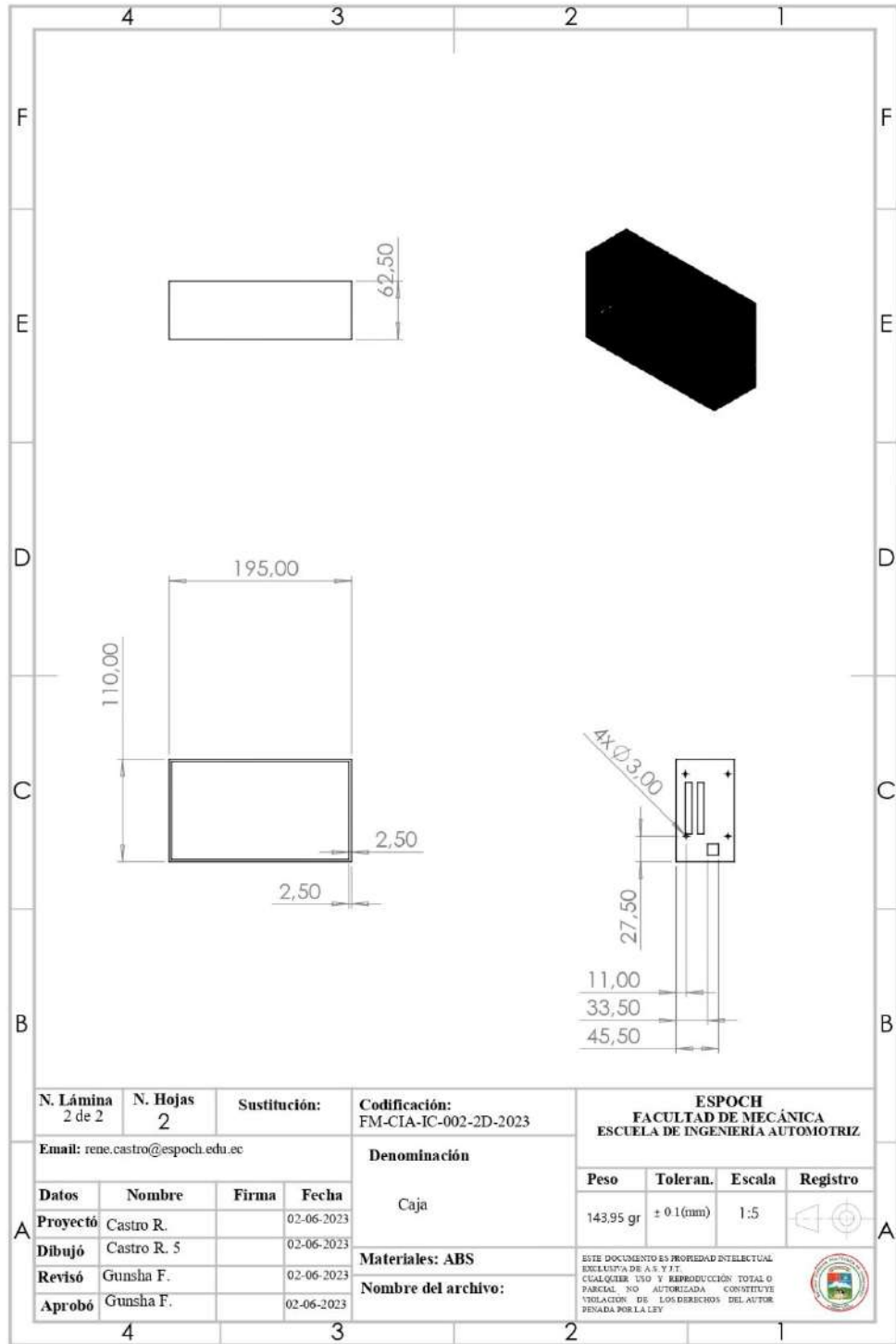
Name	Description
Enable	Enable/disable the stepper driver HIGH - Disable LOW - Enable *
M0 - M2	Step resolution setting, see chapter 'step resolution configuration'
RESET	Enable/disable the H-bridge output * LOW - Disable * HIGH - Enable
SLEEP	Enable/disable low-power sleep mode LOW - Sleep * HIGH - Active
STEP	LOW → HIGH, move one step
DIR	LOW / HIGH switches direction
VMOT	Motor power (12-24V)
GND	System ground
FAULT	LOW when the stepper driver is in fault condition. You can provide 5V on this pin for compatibility with stepstick A4988

* this is the default state when the pin is not connected

ANEXO S: PLANO DE TAPA



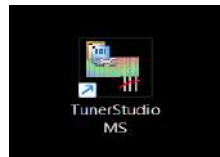
ANEXO T: PLANO DE CAJA



N. Lámina 2 de 2	N. Hojas 2	Sustitución:	Codificación: FM-CIA-IC-002-2D-2023	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Email: rene.castro@esPOCH.edu.ec			Denominación	Peso	Toleran.	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Caja	143,95 gr	± 0,1(mm)	1:5
Proyectó	Castro R.		02-06-2023	Materiales: ABS Nombre del archivo:	<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y F.I. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small> 		
Dibujó	Castro R. 5		02-06-2023				
Revisó	Gunsha F.		02-06-2023				
Aprobó	Gunsha F.		02-06-2023				

ANEXO U: MANUAL

Paso 1: Clic en el software TUNER STUDIO

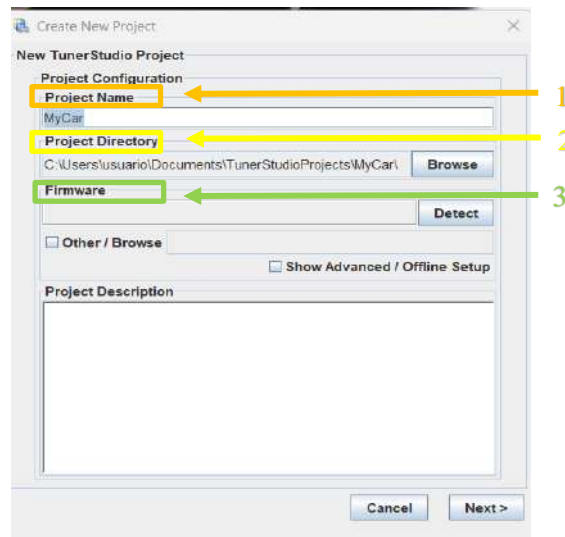


Paso 2: Ventana de inicio de TUNER STUDIO



(1): Nombre del proyecto

Paso 3: Llenar los parámetros de la ventana emergente

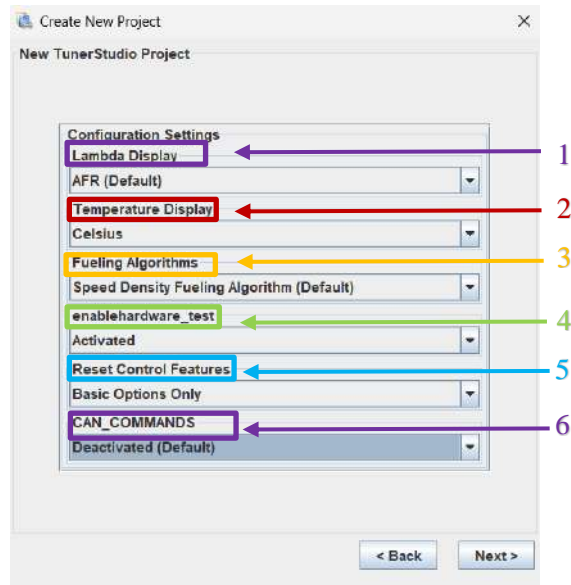


(1): Nombre del proyecto

(2): Selección de carpeta donde se guarda el archivo

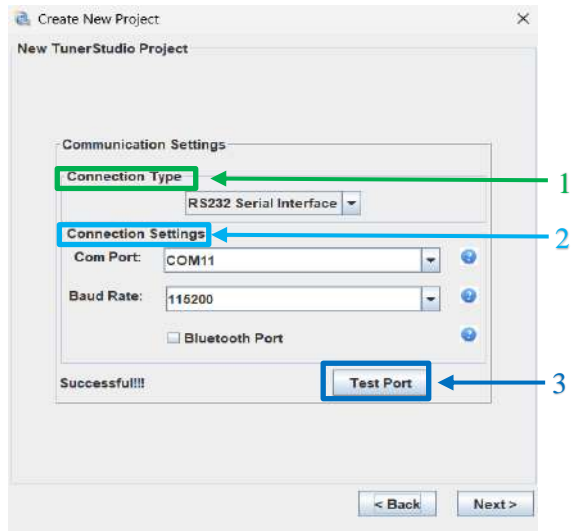
(3): Seleccionar el firmware con extensión .ini

Paso 4: Configurar las propiedades



- (1): Pantalla de lamda escoger AFR (*Air Fuel Ratio*)
- (2): Pantalla de temperatura seleccionar
- (3): Algoritmo de combustible seleccionar *Speed Density Algorithm (MAP)*
- (4): Habilitar prueba de hardware seleccionar *activated*
- (5): Restablecer funciones de control seleccionar *Basic Options Only*
- (6): Comandos CAN seleccionar *desactivated*

Paso 5: Llenar los parámetros de la ventana emergente de comunicación

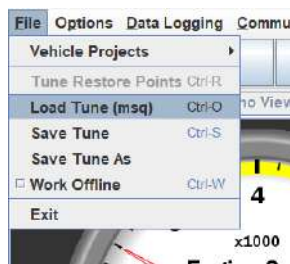


- (1): Seleccionar tipo de conexión serial
- (2): Selección puerto de comunicación (*Com Port*) y velocidad de transferencia de datos (*Baud Rate*)
- (3): Prueba de conexión exitosa (*Successful*)

Paso 6: Selección de gráficas de panel

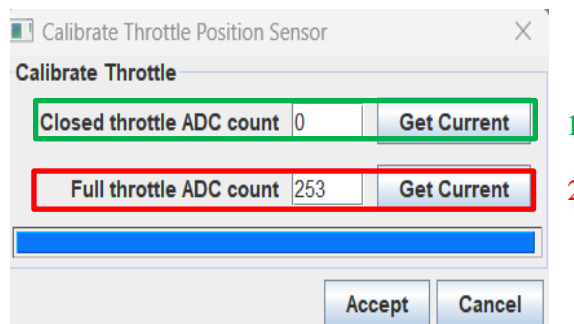


Paso 7: Agregar archivo msq



Paso 8: Configurar parámetros de sensores

- *TPS*



(1): Valor del conteo analógico digital (ADC) del sensor de posición del acelerador (TPS) cuando el acelerador está completamente cerrado.

(2): Valor actual del conteo analógico digital (ADC) del sensor de posición del acelerador (TPS) cuando el acelerador está completamente abierto o a fondo.

- *MAP*

(1): Calibración del sensor MAP

(1.1): Selección tipo de sensor de presión

(1.2): Presión mínima

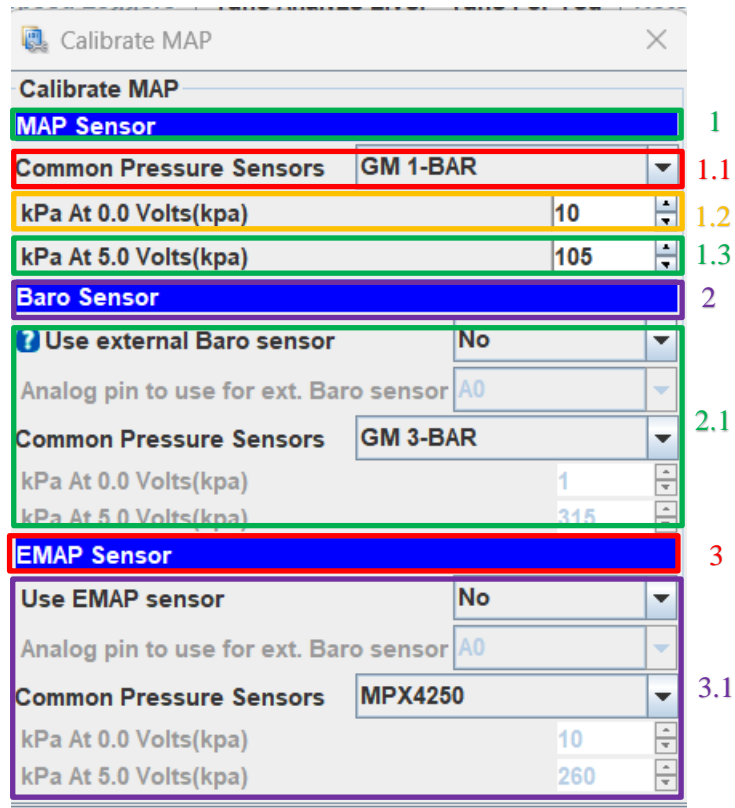
(1.3): Presión máxima

(2): Sensor de presión barométrico externo

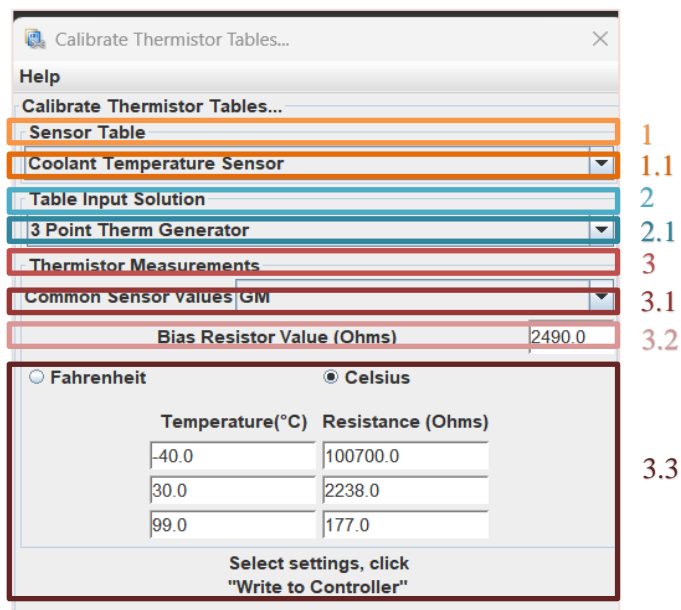
(2.1): Selección tipo de sensor de presión barométrico, presión mínima presión máxima

(3): Sensor d presión absoluta del múltiple de escape

(2.1): Selección tipo de sensor de presión de escape, presión mínima presión máxima



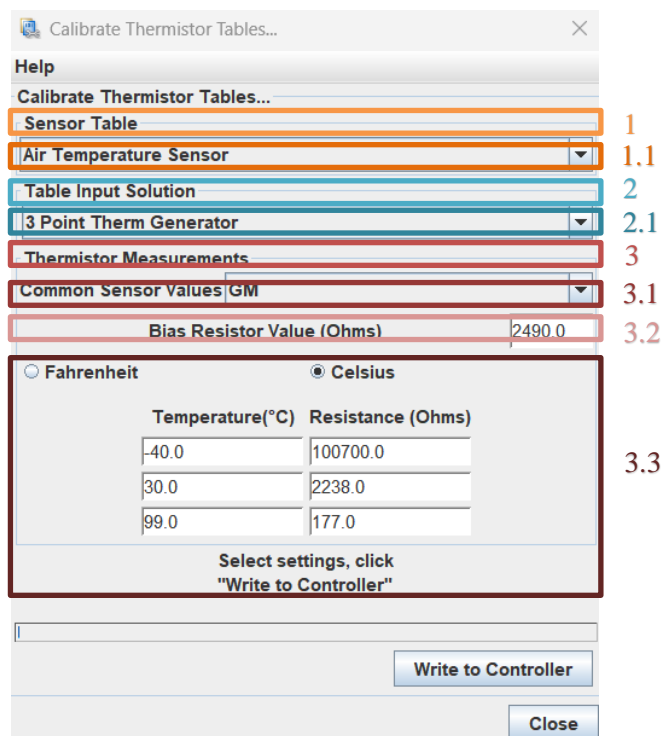
- *Sensor ECT*



(1): Selección de sensor de temperatura

- (1.1): Seleccionar tipo de sensor de temperatura en este caso el sensor ECT
- (2): Selección tipo datos de entrada para temperatura
- (2.1): Generador de temperatura de 3 puntos
- (3): Medida de termistor
- (3.1): Seleccionar marca de sensor ECT
- (3.2): Valor de la resistencia de polarización
- (3.3): Tabla de temperatura vs resistencia del termistor

- *Sensor IAT*



- (1): Selección de sensor de temperatura
- (1.1): Seleccionar tipo de sensor de temperatura en este caso el sensor IAT
- (2): Selección tipo datos de entrada para temperatura IAT
- (2.1): Generador de temperatura de 3 puntos
- (3): Sensor d presión absoluta del múltiple de escape
- (3.1): Selección tipo de la marca del sensor.
- (3.2): Valor de la resistencia de polarización
- (3.3): Tabla de temperatura vs resistencia del termistor

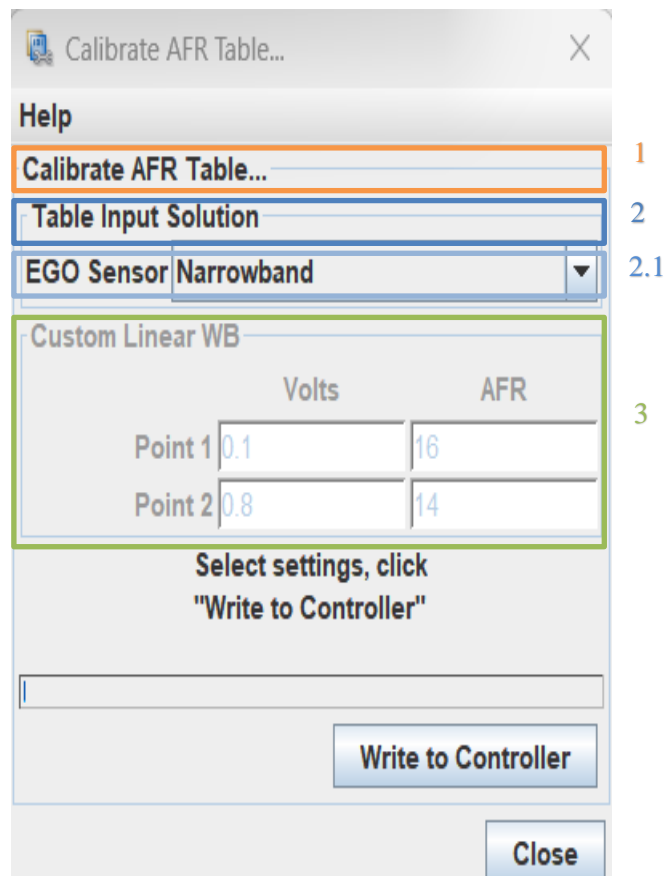
- *Sensor O2*

- (1): Calibración de la tabla de relación aire-combustible

(2): Selección de solución para la entrada de datos en una tabla

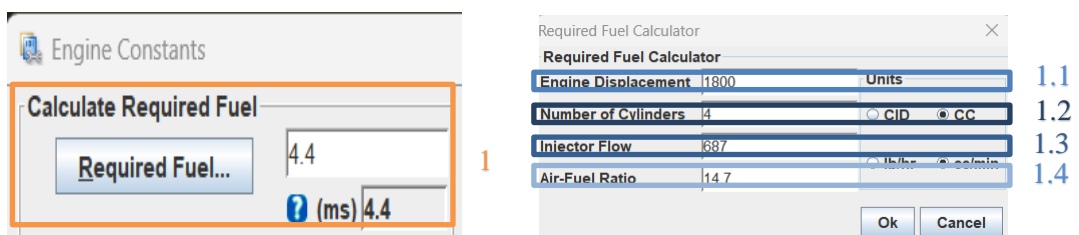
(2.1): Generador de temperatura de 3 puntos

(3): Tabla de la relación de voltaje y relación aire combustible



Paso 9: Configurar constantes del motor

- *Calcular el combustible requerido*



(1): Calculo de combustible requerido

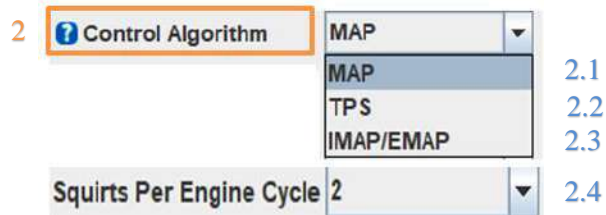
(1.1): Cilindrada del motor

(1.2): Numero de cilindros

(1.3): Flujo de inyectores

(1.4): Relación aire combustible

- *Calcular el combustible requerido*



(2): Algoritmo de control

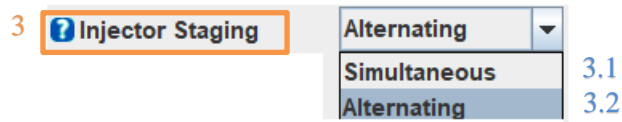
(2.1): Utiliza el sensor MAP para realizar ajustes en la gestión del motor

(2.2): Utiliza el sensor TPS para realizar ajustes en la gestión del motor

(2.3): Utiliza la información de las presiones en el múltiple de admisión y escape para realizar ajustes en la gestión del motor

(2.4): Cantidad de veces que se realiza la inyección de combustible durante un ciclo completo del motor

- *Control de inyección*



(3): Control de inyección

(2.1): Inyección simultánea

(2.2): Inyección alternante

- *Control de inyección*

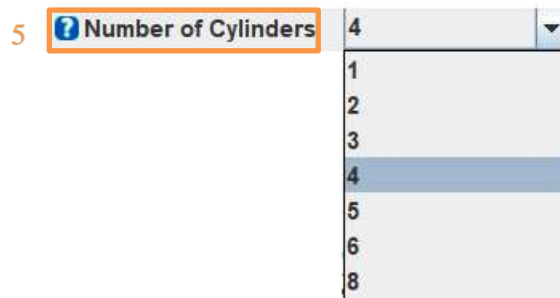


(4): Carrera de motor

(4.1): Motor de cuatro tiempos

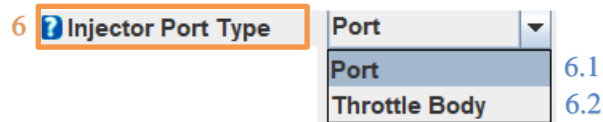
(4.2): Motor de dos tiempos

- *Número de cilindros*



(5): Número de cilindros

- *Tipo de puerto del inyector*

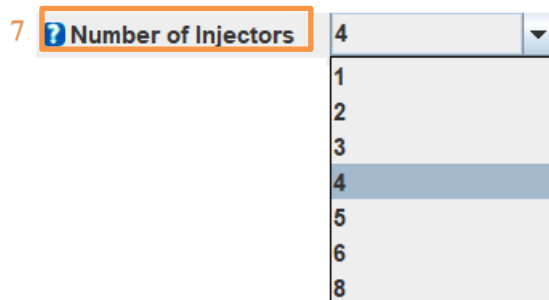


(6): Tipo de puerto de inyección de combustible

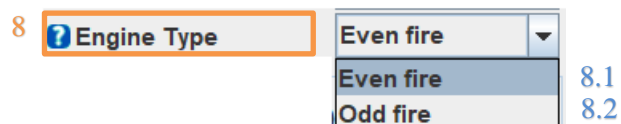
(6.1): Inyección en el múltiple de admisión

(6.2): Inyección en el cuerpo de aceleración

- *Número de inyectores (7)*



- *Tipo de motor*

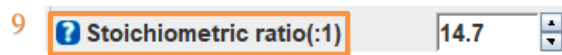


(8): Tipo de motor

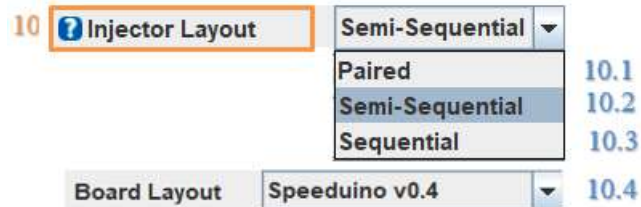
(8.1): Motor de encendido regular (Ángulos de encendido 180 grados)

(8.2): Motor de encendido irregular (Ángulos de encendido varia)

- *Relación aire combustible (9)*



- *Disposición de inyección (10)*



(10): Disposición del inyector

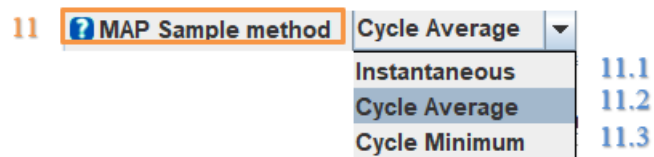
(10.1): Inyección en pares

(10.2): Inyección semi-secuencial

(10.3): Inyección secuencial

(10.4): Diseño de tablero

- *Disposición de inyección (10)*



(11): Método de muestras de presión del múltiple de admisión

(11.1): Toma muestras de la presión del múltiple de admisión en cada ciclo del motor de manera instantánea

(11.2): Calcula un promedio de la presión del múltiple de admisión durante todo el ciclo de trabajo del motor.

(11.3): Utiliza el valor mínimo de presión del múltiple de admisión durante un ciclo completo del motor.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 13/06/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Rene Alexander Castro Toaza
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería Automotriz
Título a optar: Ingeniero Automotriz
<p style="text-align: center;"> Ing. Fabián Celso Gunsha Maji Director del Trabajo de Integración Curricular</p> <p style="text-align: center;"> Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso Asesor del Trabajo de Integración Curricular</p>