

Universidad Internacional del Ecuador



Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz

**Trabajo de Integración Curricular
para la obtención del Título de Ingeniera en Mecánica Automotriz**

**Diseño y construcción de un banco de emulación de estados de
funcionamiento y comprobación de unidades de control electrónico de
motor ECM usando Arduino.**

Gustavo Andrés Morán Tapia

Director: Ing. Juan Fernando Iñiguez

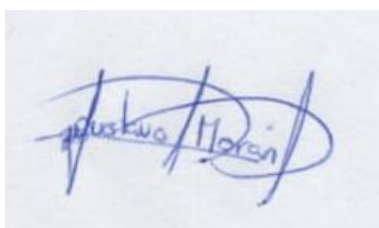
Codirector: Ing. Juan Fernando Iñiguez, Msc

Quito, febrero 2022

CERTIFICACIÓN

Yo, Gustavo Andrés Morán Tapia, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo los derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Gustavo Andrés Morán Tapia

Yo, Juan Fernando Iñiguez Izquierdo, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Firmado electrónicamente por:
**JUAN FERNANDO
INIGUEZ
IZQUIERDO**

Juan Fernando Iñiguez Izquierdo

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo otorgo a Dios, que me ha conferido las fuerzas y el conocimiento para culminar esta etapa de mi vida, a mis padres que me han brindado su apoyo absoluto ante todas las circunstancias que he afrontado, a mi madre Fanny que me ha entregado todo su tiempo y atención en los momentos más difíciles de mi vida, de manera póstuma a mi padre Javier quien en vida fue mi guía e inspiración en mi formación personal, a mi hermana Romyna que ve en mí el ejemplo de la perseverancia y entrega al servicio, a mi abuelo Marco que me ha impulsado mi formación académica.

Conjuntamente rindo homenaje a mis amigos y familiares que apoyaron mi formación académica y personal durante mi etapa universitaria, su respaldo y acompañamiento fueron valiosos en mi vida.

Por último, este trabajo está dirigido a quienes buscan el conocimiento e impulsan su difusión, el conocimiento es un bien intangible que debe ser compartido por el bien de la humanidad, más aún quienes se esfuerzan por cambiar la formación académica en el Ecuador.

AGRADECIMIENTO

Un absoluto agradecimiento a Dios por la vida y salud otorgada durante la carrera universitaria.

A la Universidad Internacional del Ecuador por proporcionar los objetos de prueba utilizados en la realización de esta tesis, al Ing. Juan Fernando Iñiguez quien oriento y corrigió el presente trabajo de titulación.

Al Ing. Luis Medina, quien con su asesoría y conocimiento aportó significativamente a la elaboración del proyecto de titulación, por su tiempo y buen criterio al realizar las diferentes etapas de este trabajo. De igual manera quiero agradecer a mis amigos Ricardo Romero, Gabriel Santos y Jorge Flores que aportaron con su ayuda al realizar esta labor.

Y agradezco a la República del Ecuador por alentar en mi a generar un cambio en la manera de desarrollar tecnología local, el deseo por demostrar que en el país se puede diseñar y construir equipos de diagnóstico automotriz impulso mi sueño.

Culmino mi agradecimiento con un fragmento del último discurso del expresidente Jaime Roldós Aguilera:

“...Nuestra gran pasión oídme, es y debe ser el Ecuador, este Ecuador que no lo queremos enredado en lo intrascendente, sino en lo valeroso, luchador, infatigable, forjando un destino de grandeza...”

ÍNDICE DE CONTENIDO

Certificación	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenido.....	vi
Índice de figuras	xii
Índice de tablas	xvii
Índice de ecuaciones	xviii

CÁPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

1.1. Resumen.....	1
1.2. Introducción	3
1.3. Planteamiento, formulación y sistematización del problema	3
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Justificación	5
1.5.1. Justificación teórica.	5
1.5.2. Justificación metodológica.	6
1.6. Delimitación del proyecto.....	6
1.6.1. Delimitación de contenido y tecnología automotriz.....	6
1.6.2. Delimitación geográfica.	7
1.7. Alcance e impacto del proyecto.....	7

CÁPITULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Señales analógicas y digitales.....	8
2.1.1. Señal analógica.....	8

2.1.2.	Señal digital.....	8
2.1.3.	Señal digital PWM (Pulse Width Modulation).....	9
2.2.	Sistema de inyección electrónica	9
2.2.1.	Mono Motronic.....	9
2.2.2.	Motronic.	10
2.2.3.	Motronic ME.	10
2.2.4.	Motronic MED.	10
2.3.	Sensores	11
2.3.1.	Tipos de sensores.....	12
2.3.1.1.	Sensor piezoeléctrico.....	12
2.3.1.2.	Sensor magnético inductivo.	12
2.3.1.3.	Sensor magnético de tipo Hall.	13
2.3.1.4.	Sensor térmico.....	13
2.3.1.5.	Sensor fotoeléctrico u óptico.....	14
2.3.1.6.	Sensor químico-eléctrico.....	14
2.3.1.7.	Sensor resistivo.	14
2.3.2.	Sensores del vehículo y su funcionamiento.....	14
2.3.2.1.	Sensor de posición angular y velocidad de giro del cigüeñal (CKP).	14
2.3.2.2.	Sensor de posición del árbol de levas CMP.	16
2.3.2.3.	Sensor de presión absoluta del múltiple (MAP).....	17
2.3.2.4.	Sensor de flujo de aire de entrada MAF.....	18
2.3.2.5.	Sensor de temperatura de refrigerante del motor (ECT).....	19
2.3.2.6.	Sensor de temperatura de aire de admisión (IAT).....	19
2.3.2.7.	Sensor de posición de la aleta de aceleración (TPS).....	19
2.3.2.8.	Sensor de detonación (KS).....	20
2.3.2.9.	Sensor de oxígeno o lambda (O2).....	21
2.3.2.10	. Sensor de posición del pedal del acelerador (APP).....	22

2.4.	Actuadores	22
2.4.1.	Tipos de actuadores.	22
2.4.1.1.	Actuadores neumáticos.	22
2.4.1.2.	Actuadores hidráulicos.	23
2.4.1.3.	Actuadores eléctricos.	23
2.4.1.4.	Actuadores de corriente directa (DC).....	23
2.4.1.5.	Actuadores de corriente alterna (AC).....	23
2.4.1.6.	Motores paso a paso.	24
2.4.2.	Actuadores del vehículo	24
2.4.2.1.	Inyectores.	24
2.4.2.2.	Válvula de control de aire en ralentí (IAC).....	25
2.4.2.3.	Cuerpo de aceleración electrónico.	26
2.4.2.4.	Bomba de combustible.	26
2.4.2.5.	Electroventiladores.	27
2.4.2.6.	Bobinas de ignición.	28
2.4.2.7.	Válvula de evaporación de gases del canister (EVAP).	30
2.4.2.8.	Válvula de recirculación de gases de escape (EGR).	30
2.4.2.9.	Válvulas de distribución variable VVT-i y i-VTEC.	31
2.5.	Definición y funciones de una unidad de control (ECU).....	31
2.5.1.	Componentes de una ECU.....	31
2.5.1.1.	Resistencias.	32
2.5.1.2.	Capacitores o condensadores.	32
2.5.1.3.	Varistores.	32
2.5.1.4.	Diodos.	33
2.5.1.5.	Transistores.	34
2.5.1.6.	Circuitos integrados.....	35
2.5.1.7.	Circuito impreso.....	35

2.5.2.	Estructura de una ECU	36
2.5.2.1.	Circuito de la fuente de alimentación.....	36
2.5.2.2.	Circuito de entrada y acondicionamiento de señales.	38
2.5.2.3.	Circuito de procesamiento de información.	40
2.5.2.4.	Etapas de potencia y salida de señales a los actuadores.	44
2.6.	Diagrama del funcionamiento general de una ECU	45
2.6.1.	Interfaz de comunicación de la unidad de control.....	46
2.6.2.	Elementos de la red CAN.	47
2.6.2.1.	Microprocesador de la unidad de control.	47
2.6.2.2.	Controlador.....	47
2.6.2.3.	Transceptor.....	47
2.6.2.4.	Cableado.....	47
2.6.3.	Proceso de transferencia de datos en la red CAN.....	47
2.6.4.	On Board Diagnostic (OBD I, II y III).	48
2.7.	Lenguaje y programa de la unidad de control.....	49
2.8.	Partes y funcionamiento del Arduino	49
2.9.	Arduino IDE.....	51
2.10.	Nomenclatura y distribución de las entradas y salidas de la tarjeta Arduino Mega 2560	53
2.11.	Descripción de LabVIEW	55

CÁPITULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

3.1.	Materiales.....	58
3.2.	Equipos	60
3.3.	Programas	61
3.4.	Metodología de investigación y desarrollo	62

3.4.1. Obtención y modelamiento matemático de señales de los sensores del vehículo.....	62
3.4.1.1. Sensor CKP.....	62
3.4.1.2. Sensor CMP.....	64
3.4.1.3. Sensor MAP.....	64
3.4.1.4. Sensor MAF.....	65
3.4.1.5. Sensor ECT.....	67
3.4.1.6. Sensor IAT.....	69
3.4.1.7. Sensor TPS.....	70
3.4.1.8. Sensor APP.....	71
3.4.1.9. Sensor KS.....	73
3.4.1.10. Sensor O ₂	73
3.5. Programación de la tarjeta Arduino Mega2560 empleando IDE Arduino	75
3.5.1. Emulación de las señales análogas.....	75
3.5.2. Emulación señal inductiva CKP.....	77
3.5.3. Emulación señal digital CKP tipo Hall.....	78
3.5.4. Configuración de interrupción para lectura del tiempo de inyección.....	84
3.5.5. Emulación señal O ₂	87
3.5.6. Comunicación Arduino LabVIEW.....	88
3.6. Comunicación serial para transmitir datos desde Arduino a LabVIEW.....	89
3.7. Diseño y programación de interfaz en LabVIEW.....	91
3.8. Diseño de la placa del banco de pruebas	93
3.8.1. Diseño esquemático de las placas del banco de pruebas.....	93
3.8.2. Modelado de la PCB y presentación 3D.....	96
3.9. Fabricación de las placas electrónicas	99
3.10. Fabricación de los arneses de cables para comunicar la ECU con el banco de pruebas	105

3.11.	Fabricación del case o cuerpo del banco de pruebas para ECU.....	108
3.12.	Ensamble final del banco de pruebas	111

CÁPITULO IV

PRUEBAS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.	Pruebas de las señales de los sensores y actuadores en el vehículo.....	114
4.2.	Pruebas de las señales generadas por el banco de pruebas	118
4.2.1.	Resultados de las señales de sensores ECT, IAT, MAP, MAF, TPS 1, TPS 2, APP 1 y APP 2.	119
4.2.2.	Resultados de la señal del sensor CKP.....	121
4.2.3.	Resultados de la señal del sensor KS.....	124
4.2.4.	Resultados de la señal del sensor O2.....	125
4.3.	Pruebas de las señales de actuadores recibidas.....	126
4.4.	Comparativa de resultados obtenidos en el banco de pruebas y valores medidos en el vehículo de pruebas	131
4.5.	Discusión del cambio del pulso de inyección según la magnitud de las variables físicas que interfieren en la inyección electrónica	132

CÁPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.....	138
5.2.	Recomendaciones	140

BIBLIOGRAFÍA	143
---------------------------	------------

ANEXOS.....	145
--------------------	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema general de funcionamiento del sistema de inyección electrónica.....	11
Figura 2.2. Principio de funcionamiento del sensor magnético inductivo	13
Figura 2.3. Principio de funcionamiento del sensor de tipo Hall	13
Figura 2.4. Señal característica de un sensor CKP inductivo.....	15
Figura 2.5. Esquema de funcionamiento del sensor CMP.....	17
Figura 2.6. Partes del sensor MAP	17
Figura 2.7. Esquema de funcionamiento y partes del sensor TPS.....	20
Figura 2.8. Despiece del sensor KS.....	21
Figura 2.9. Despiece del sensor O2	22
Figura 2.10. Partes y esquema de un inyector de gasolina.....	25
Figura 2.11. Esquema de funcionamiento de la válvula IAC.....	26
Figura 2.12. Esquema de funcionamiento de bobina DIS	29
Figura 2.13. Circuito de fuente de alimentación de la unidad de control de motor	36
Figura 2.14. Circuito de entrada de señales de la unidad de control de motor.....	40
Figura 2.15. Circuito de procesamiento de información de la ECU	43
Figura 2.16. Circuito de salida de señales de la ECU	45
Figura 2.17. Diagrama general de funcionamiento de una ECU.....	45
Figura 2.18. Esquema del proceso de retroalimentación de información en la ECU.....	46
Figura 2.19. Partes y distribución de pines en placas Arduino	51
Figura 2.20. Distribución de pines del Arduino Mega 2560	54
Figura 3.1. Comportamiento señal CKP.....	63
Figura 3.2. Comportamiento señal MAP.....	65
Figura 3.3. Comportamiento señal MAF.....	66
Figura 3.4. Comportamiento señal CKP.....	68
Figura 3.5. Comportamiento señal IAT.....	69
Figura 3.6. Comportamiento señal TPS1 y TPS2.....	71

Figura 3.7. Comportamiento señal APP1 y APP2.....	72
Figura 3.8. Comportamiento señal O ₂	74
Figura 3.9. Definición del tipo de dato en el código de programación	76
Figura 3.10. Asignación de pines utilizables en la tarjeta Arduino.....	76
Figura 3.11. Circuito reproductor de señal CKP inductiva	77
Figura 3.12. Señal CKP inductiva generada en el programa DAQARTA	78
Figura 3.13. Registro TCCR3A del timer 3	79
Figura 3.14. Modo de operación PWM fase y frecuencia correcta del timer 3.....	80
Figura 3.15. Configuración del Bit del registro para el timer 3	80
Figura 3.16. Configuración del modo de operación y sus canales en el timer 3.....	82
Figura 3.17. Configuración del registro TCCR3B y preescalador del timer 3.....	83
Figura 3.18. Configuración del registro TCCR3C y asignación de pin de escritura del timer 3.....	83
Figura 3.19. Configuración del registro TIMSK3 para generar interrupción en timer 3 ...	84
Figura 3.20. Programación del timer 3 en IDE Arduino	84
Figura 3.21. Pulso de inyección característico en motor a gasolina.....	85
Figura 3.22. Configuración del registro TCCR5A del timer 5.....	86
Figura 3.23. Configuración del registro TCCR5B del timer 5	86
Figura 3.24. Configuración del registro TCCR5C del timer 5	87
Figura 3.25. Programación del timer 5 en IDE Arduino	87
Figura 3.26. Modulo XR2206 generador de señales sinusoidales.....	88
Figura 3.27. Esquema general de comunicación Serial Arduino-LabVIEW	89
Figura 3.28. Programación de envío de datos en IDE Arduino.....	90
Figura 3.29. Configuración de inicio de comunicación serial en IDE Arduino	90
Figura 3.30. Configuración de lectura y envío de bits en IDE Arduino.....	90
Figura 3.31. Configuración de la función de lectura de información en IDE Arduino.....	91
Figura 3.32. Configuración de la estructura de comunicación serial en LabVIEW.....	92

Figura 3.33. Configuración de la lectura y transformación a magnitudes físicas en LabVIEW.....	92
Figura 3.34. Interfaz del usuario en LabVIEW	93
Figura 3.35. Esquema eléctrico de conexiones en placa de sensores	94
Figura 3.36. Esquema eléctrico de conexiones en placa de actuadores	96
Figura 3.37. Diseño 2D de la placa de sensores	97
Figura 3.38. Diseño en 3D de la placa de sensores	97
Figura 3.39. Diseño 3D de la placa de actuadores	98
Figura 3.40. Diseño 3D de la placa de actuadores	98
Figura 3.41. Impresión de las pistas de la placa de sensores.....	99
Figura 3.42. Fijación de la impresión de placas de sensores sobre baquelita	100
Figura 3.43. Proceso de quema de la baquelita de placa de sensores.....	100
Figura 3.44. Evaluación del proceso de quema de baquelita de placa de sensores	101
Figura 3.45. Limpieza del ácido en baquelita de placa de sensores	101
Figura 3.46. Corrección de fallos en pistas de placa de sensores.....	102
Figura 3.47. Perforación de orificios en la placa de sensores	102
Figura 3.48. Primer prototipo de placa de sensores para pruebas	103
Figura 3.49. Fabricación de placa de sensores en máquina CNC	103
Figura 3.50. Proceso de soldadura en placa de sensores	103
Figura 3.51. Fijación y quema en ácido de prototipo de placa de actuadores	104
Figura 3.52. Perforación de orificios y acabado de detalles en prototipo de placa de actuadores	104
Figura 3.53. Fabricación de placa de actuadores en máquina CNC	105
Figura 3.54. Soldadura de elementos en placa de actuadores	105
Figura 3.55. Distribución de pines en los conectores VGA y DB25.....	107
Figura 3.56. Soldadura de cables en boquillas de cada pin del conector	107
Figura 3.57. Fijación de cinta termo ajustable para aislar las soldaduras	108

Figura 3.58. Asignación de pines y colores para cada señal en las placas de sensores y actuadores	108
Figura 3.59. Dimensiones de la caja del banco de pruebas	109
Figura 3.60. Fabricación de la caja del banco de pruebas	110
Figura 3.61. Disposición espacial de orificios para los elementos del panel de control ..	110
Figura 3.62. Conexiones eléctricas de los conectores en la caja	111
Figura 3.63. Armado de la parte inferior de la caja.....	112
Figura 3.64. Armado parte superior de la caja	112
Figura 3.65. Armado del tablero de control del banco de pruebas.....	113
Figura 3.66. Pruebas de conexiones en el banco de pruebas.....	113
Figura 4.1. Conector OBD2 y entrada en el vehículo	114
Figura 4.2. Interfaz de entrada en el escáner G-Scan2	115
Figura 4.3. Obtención de información del vehículo con escáner G-Scan2	115
Figura 4.4. Señal del sensor de oxígeno	116
Figura 4.5. Señal del sensor CKP y valores obtenidos de frecuencia de señal en G-Scan2	117
Figura 4.6. Tiempos de inyección en ralentí y a 2500 RPM	117
Figura 4.7. Ancho de pulso y tiempo de inyección medidos en el vehículo de pruebas..	117
Figura 4.8. Medición de continuidad en pistas de la placa de sensores	120
Figura 4.9. Comprobación del cambio de estado con osciloscopio	121
Figura 4.10. Comprobación de las pistas de salida de las señales de salida a la ECU	121
Figura 4.11. Medición de la forma y frecuencia de la señal CKP.....	122
Figura 4.12. Señal CKP emitida por la tarjeta Arduino Mega2560	123
Figura 4.13. Pruebas realizadas para verificar el cambio de frecuencia de la señal CKP	123
Figura 4.14. Captación de la señal producida por el sensor KS	124
Figura 4.15. Mediciones realizadas en la salida de la señal del sensor O ₂	125

Figura 4.16. Pruebas realizadas en el osciloscopio para verificar las características de la señal O ₂	126
Figura 4.17. Comparativa entre señal generada y señal medida del comportamiento del sensor O ₂	126
Figura 4.18. Esquema de las pistas de la placa de actuadores.....	127
Figura 4.19. Pruebas realizadas en el osciloscopio para verificar la activación de actuadores	128
Figura 4.20. Señal obtenida de la activación de las bobinas de ignición	129
Figura 4.21. Señal obtenida de los inyectores de gasolina	130
Figura 4.22. Correlación entre la lectura de ancho de pulso del banco de pruebas y el osciloscopio	131
Figura 4.23. Ejemplo de cartografía de inyección en función de TPS, MAP y CKP.....	133
Figura 4.24. Cambio producido en el ancho de pulso por modificación de señal MAP ..	134
Figura 4.25. Comportamiento del ancho de pulso en función del cambio de la señal MAP	134
Figura 4.26. Comportamiento del ancho de pulso en función del cambio de la señal TPS	135
Figura 4.27. Comportamiento del ancho de pulso en función del cambio de la señal CKP	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla.3.1. Datos tabulados de los valores del sensor CKP.....	63
Tabla.3.2. Datos tabulados de los valores del sensor MAP.....	64
Tabla.3.3. Datos tabulados de los valores del sensor MAF.....	66
Tabla.3.4. Datos tabulados de los valores del sensor ECT.....	68
Tabla.3.5. Datos tabulados de los valores del sensor IAT.....	69
Tabla.3.6. Datos tabulados de los valores de los sensores TPS1 y TPS2.....	70
Tabla.3.7. Datos tabulados de los valores de los sensores APP1 y APP2.....	72
Tabla.3.8. Datos tabulados de los valores del sensor O ₂	73
Tabla.4.1. Datos tabulados de los valores del sensor O ₂	116
Tabla.4.2. Datos tabulados de los valores de condiciones y ancho de pulso en vehículo de pruebas.....	131
Tabla.4.3. Datos tabulados de los valores de condiciones y ancho de pulso en ECU de pruebas.....	132
Tabla.4.4. Datos tabulados de los valores de ancho de pulso en función del sensor MAP.....	134
Tabla.4.5. Datos tabulados de los valores de ancho de pulso en función del sensor TPS.....	135
Tabla.4.6. Datos tabulados de los valores de ancho de pulso en función del sensor CKP.....	136

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. [3.1] Ecuación general de la señal CKP y Frecuencia	63
Ec. [3.2] Ecuación de relación entre voltaje y presión atmosférica del sensor MAP	64
Ec. [3.3] Ecuación de relación entre voltaje y cantidad de aire admitido del sensor MAF	66
Ec. [3.4] Ecuación general de un Termistor NTC	67
Ec. [3.5] Ecuación de relación entre voltaje y temperatura de refrigerante de motor del sensor ECT	68
Ec. [3.6] Ecuación de relación entre voltaje y temperatura de aire de ingreso del sensor IAT	69
Ec. [3.7] Ecuación de relación entre voltaje y posición de la aleta de aceleración del sensor TPS 1	71
Ec. [3.8] Ecuación de relación entre voltaje y posición de la aleta de aceleración del sensor TPS 2	71
Ec. [3.9] Ecuación de relación entre voltaje y posición del pedal del acelerador APP 1	72
Ec. [3.10] Ecuación de relación entre voltaje y posición del pedal del acelerador APP 2 ..	72
Ec. [3.11] Ecuación de relación entre voltaje y frecuencia de trabajo del sensor O ₂	74
Ec. [3.12] Ecuación del modo PWM de fase y frecuencia correcta del timer 3	81

CÁPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

1.1. Resumen

La aplicación de la electrónica para el control de los sistemas de automoción en vehículos de combustión interna se ha convertido en una cuestión indispensable para cumplir los requerimientos de las normativas anticontaminación vigentes en el mundo, asimismo ha logrado obtener avances significativos en el aumento de la eficiencia de estos motores térmicos. Actualmente el uso de unidades de control electrónico (ECU) es habitual y su evolución durante los últimos años ha conducido a que los diagnósticos de fallas sean más complejos. Los talleres multimarca de la ciudad de Quito cuentan con equipos de diagnóstico que han facilitado la tarea de identificar las fallas, sin embargo, están limitados por el reducido número de equipos y la falta de preparación en sistemas más sofisticados, en consecuencia, cuando la falla no puede ser determinada se genera una serie de especulaciones que conlleva a fallidas soluciones y remplazo de piezas innecesarias. El presente equipo desarrollado pretende contribuir a profundizar en diagnósticos más complejos que permitan identificar fallos en unidades de control a través de la emulación de entornos de funcionamiento, el instrumento emula las señales de los sensores y las envía a la unidad de control, las cuales son procesadas para que sea emitida una respuesta de salida, que es leída por el banco de pruebas para que a través de un criterio fundamentado se analice el trabajo de la unidad de control y realizar una valoración del estado de la ECU, dando como resultado diagnósticos precisos y el aumento en el éxito de las reparaciones.

Palabras claves: unidad de control (ECU), diagnóstico, análisis de señales, emulación de entornos, fallos electrónicos.

Abstract

The application of electronics for automotive systems control in internal combustion vehicles has become an essential issue to meet the requirements of anti-pollution regulations in the world and has also achieved significant progress in increasing the efficiency of these combustion engines. The use of electronic control units (ECU) is common nowadays and its evolution in recent years has led to more complex fault diagnosis. The multi-brand

workshops of Quito have diagnostic equipment that has facilitated the task of identifying failures, however, they are limited by the small number of equipment and the lack of preparation in more sophisticated systems, consequently, when the fault cannot be determined, a series of speculations are generated that lead to failed solutions and replacement of unnecessary parts. The present equipment developed intends to contribute to deepen in more complex diagnostics that allow to identify failures in control units through the emulation of operating environments. The instrument emulates the signals of the sensors and sends them to the control unit, which are processed so that an output response is issued, which is read by the test bench so that, through a well-founded criterion, the work of the control unit is analyzed and an assessment of the state of the ECU is made, facilitating diagnostics and increasing the success of the repairs.

Keywords: control unit (ECU), diagnosis, signal analysis, operating environments, electronic failures.

1.2. Introducción

El presente trabajo de titulación está enfocado a solventar los problemas en el diagnóstico electrónico de los sistemas de inyección del motor de combustión interna, debido a la constante incorporación de sistemas electrónicos cada vez más complejos se ha dificultado encontrar las fallas a los sistemas del motor, actualmente la incorporación de sensores y de actuadores cada vez más exactos han permitido tener un control deseado sobre los procesos fisicoquímicos que se realizan dentro de los cilindros optimizándolos y llevándolos a valores de eficiencia cada vez más altos. Sin embargo, este control sobre estos fenómenos está atado al uso de un sistema de gestión de datos electrónico denominado “Unidad de Control del Motor” o por sus siglas en inglés ECU, esta unidad de procesamiento de datos es el cerebro de los sistemas electrónicos del vehículo. En ella se reciben la información del entorno, se procesa y calcula para que a la salida de este módulo los actuadores procedan a ejecutar cambios en los procesos de combustión para obtener los resultados deseados. A pesar de ser un sistema robusto que está diseñado para soportar las condiciones de temperatura y corriente eléctrica no está exenta a presentar daños, por lo que estas unidades de control de motor pueden fallar y el diagnóstico suele ser complejo, la mayoría de las veces estos daños no evitan que la ECU siga funcionando, pero si cambia las condiciones de trabajo ideales, por lo que determinar las posibles fallas se vuelve una tarea importante para mantener el buen desempeño del motor.

1.3. Planteamiento, formulación y sistematización del problema

Los sistemas de gestión electrónica del motor son similares a las computadoras y laptops que se usan a diario, estos ordenadores tienen entradas donde el usuario ingresa comandos a través del teclado y del ratón para que la CPU se encargue de realizar una serie de procesos de acuerdo a las ordenes ingresadas para que estas sean realizadas y proyectadas en la pantalla del computador. Este proceso ocurre exactamente en una ECU automotriz, la información es ingresada por los cambios físicos que se generan en los sistemas auxiliares del motor y que es captada por los sensores, el microprocesador compara y calcula estos datos para enviar una respuesta hacia los actuadores quienes ejecutan lo deseado de acuerdo con lo dictaminado por el microprocesador. Todo este complejo proceso es imperceptible y ocurre a gran velocidad por lo que el usuario únicamente espera una respuesta inmediata a la orden que el realiza al manejar el vehículo. No obstante, existe la posibilidad que los elementos que componen los sistemas de inyección fallen, lo que genera que el vehículo requiera de un diagnóstico para determinar el origen de la falla, al involucrarse elementos mecánicos,

eléctricos y electrónicos el diagnóstico adquiere un grado de complejidad moderado, por lo que se requiere de herramientas y equipos que permitan descartar posibles fallos en un proceso de diagnóstico que va desde lo más simple a lo más complejo, cuando la falla se sitúa en la unidad de control de motor el problema crece y requiere de equipos especializados que determinen el problema exacto dentro de la ECU. En consecuencia, la solución más sencilla suele ser cambiar el módulo de control del motor sin ni siquiera definir el motivo del fallo de este elemento, esta resolución en muchos casos puede ser factible debido a la disponibilidad del repuesto, pero existen casos donde el repuesto no existe o es difícil encontrarlo, por ende, la única opción es reparar la ECU. Para empezar este proceso se requiere desmontar el módulo de control del vehículo y examinarlo en un banco de pruebas, sin embargo, estos equipos de diagnósticos son muy costosos y derivan a que probar una ECU sea un trabajo especializado, no obstante, al igual que cualquier otro elemento del vehículo, la unidad de control es un objeto reparable, por lo que un profesional con las habilidades adecuadas puede deducir fallos en un módulo electrónico a partir del análisis de las señales de salida de la ECU para su posterior compostura. El contar con este tipo de equipos de diagnóstico para unidades de control permitirá optimizar el tiempo de reparación, incluso los costos que puedan generarse, en este sentido adquirir uno en un taller automotriz puede agilizar los trabajos de reparación en sistemas electrónicos, aquí arranca la problemática que se quiere solventar con la construcción de este proyecto de titulación, la mayoría de talleres automotrices no disponen de esta clase de instrumentos de diagnósticos por el costo de inversión y por el poco uso que se le puede dar a comparación de un kit de herramientas mecánicas, sin embargo, cuando se requiere de este equipo los talleres deben tercerizar el servicio de diagnóstico lo que conlleva a tener tiempos muertos de trabajo hasta que el diagnóstico sea llevado a cabo, en muchos casos los laboratorios de electrónica automotriz especializados no se dan abasto y este proceso puede durar días, por lo que contar con un equipo fiable, accesible y fácil de usar es la propuesta que plantea este proyecto, con la aplicación de esta herramienta se planea solucionar la dificultad en el manejo de diagnósticos de ECUs en los talleres automotrices.

El trabajo de titulación presenta el diseño, construcción y ensayo del banco de pruebas para unidades de control de motor, por lo que durante todo este documento se indicará todas las variables físicas que se consideraron, las funciones y tareas que puede realizar este elemento.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

Construir un banco de pruebas de unidades de control de motor que permita la interacción del ingeniero automotriz con la unidad de control generando señales de entrada (sensores) y recibiendo señales de salida de la ECU (actuadores) por medio del uso de una interfaz en LabVIEW y Arduino para la verificación del correcto funcionamiento de la unidad de control de motor, con el propósito de contribuir al desarrollo del diagnóstico electrónico en talleres multimarca de la ciudad de Quito.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Diseñar una interfaz en LabVIEW con base en códigos de programación de Arduino que permita establecer una comunicación entre la ECM y un tablero de instrumentos virtual que se proyectara en una laptop.
- Describir el comportamiento de las señales eléctricas de entrada a la ECU empleando lenguaje matemático para definir la naturaleza del comportamiento de cada señal emitida por los distintos sensores que posee el automóvil.
- Utilizar el osciloscopio, multímetro y escáner automotriz para obtener parámetros de funcionamiento de los sensores y actuadores de los vehículos seleccionados para su posterior estudio e implementación en la programación de las señales.
- Construir circuitos impresos, conectores y el cuadro de instrumentos para la interacción del usuario con la ECU de manera amigable y fácil de manipular para emular diferentes escenarios de funcionamiento de un vehículo.

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación teórica.

Este trabajo se realiza con el propósito de aportar al desarrollo de herramientas de diagnóstico electrónico en vehículos modernos, con especial enfoque en las unidades de control de motor (ECU), con esto se pretende que exista un mejor entendimiento del trabajo de la electrónica en el automóvil, para que sea más fácil acceder a la revisión y análisis de módulos complejos que manejen señales de entrada y salida. Se procura poner en práctica todo el conocimiento recopilado a lo largo de la carrera de ingeniería automotriz que esté al alcance para el desarrollo del banco de pruebas de ECUs, asimismo este trabajo busca comprobar que es posible la interacción de la unidad de control fuera del vehículo a través

de la correcta emulación de señales de los sensores para comprobar sus señales de salida a los actuadores.

1.5.2. Justificación metodológica.

El presente proyecto de titulación utiliza un método cuantitativo para obtener la información necesaria para realizar un esquema matemático del trabajo de los sensores del vehículo, se estudiará el comportamiento de las señales que ingresan a la ECU, asimismo las señales que salen del módulo de control de motor hacia los actuadores. Se planteará un proceso para determinar los parámetros básicos de comunicación entre la unidad de control de motor y el banco de pruebas, este proceso será apoyado por el uso de herramientas de visualización como es el multímetro y el osciloscopio. Con el modelo matemático obtenido se realizará una simulación empleando la plataforma IDE de Arduino y el programa LabVIEW, para crear el software que permita la comunicación y envío-recepción de información de la ECU al banco de pruebas.

Una vez obtenida la programación en ambos programas se realizará pruebas con ECM para validar que el trabajo hecho tuvo éxito, posterior a esto se cargara dicha programación en la tableta Arduino a la cual se la realizará las instalaciones de hardware para crear el tablero de instrumentos con el que podrá el usuario interactuar con la ECU a través de una laptop o computadora de escritorio, la cual mostrara en su pantalla todas las variables físicas que se están manejando.

1.6. Delimitación del proyecto

1.6.1. Delimitación de contenido y tecnología automotriz.

El proyecto de titulación busca satisfacer las necesidades generales en el diagnóstico electrónico de los sistemas de inyección actuales, por lo que anhela cubrir la mayoría de los sistemas de inyección electrónicos de los vehículos del Ecuador, para aportar al desarrollo de herramientas de diagnóstico más completas y accesibles a los talleres automotrices, de acuerdo con las últimas tendencias del mercado. El banco de pruebas está en las capacidades de emular cualquier señal de sensores y recibir información de las repuestas de las señales de salida de la ECU, sin embargo, en unidades de control más complejas es necesario realizar ajustes para que exista sincronía entre las señales primordiales del CKP y CMP y adicionar sensores de elementos extras como son el de la presión de carga del turbo, sensor postcombustión, etc.

1.6.2. Delimitación geográfica.

El proyecto está dirigido especialmente a la comunidad de talleres automotrices de la ciudad de Quito y del Valle de los Chillos, debido a que en estas zonas la cantidad de talleres automotrices multimarca es alta y el uso de equipos de diagnóstico está en auge, por lo que es un sector estratégico para introducir este equipo de comprobación de unidades de control.

1.7. Alcance e impacto del proyecto

El trabajo de titulación ayudará a que los talleres automotrices logren diagnósticos electrónicos más complejos y precisos, a través de la aplicación de este banco de pruebas en unidades de control de motor, el propósito es que sea una herramienta útil y de bajo costo que logre brindar una evaluación del funcionamiento de la ECU, a través de la emulación y lectura de señales eléctricas simulando el funcionamiento de un vehículo real, el impacto real del proyecto se basa en romper el paradigma o el miedo a la electrónica automotriz, debido a que en muchos casos se han estropeado los módulos de control de motor por mala manipulación, no obstante este banco ansia cambiar este pensamiento y abrir las puertas al diagnóstico general de unidades de control en talleres multimarca.

CÁPITULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Señales analógicas y digitales

2.1.1. Señal analógica.

Se define como una señal que varía su forma de manera continua respecto al tiempo, las señales análogas se representan como los cambios de voltaje generados durante un periodo, existen dos tipos de señales analógicas las periódicas que varían durante ciclos definidos y las no periódicas que su cambio no es repetitivo en el tiempo (Ramirez, Jiménez, & Carreño, 2016).

Las características más importantes que destacar de estas señales son:

- Los valores evolucionan en el tiempo
- Representan tensión, intensidad de corriente o carga eléctrica
- Varían en forma continua entre un límite inferior y un límite superior
- Son comunes de encontrar en la naturaleza
- Pueden adquirir valores infinitos

2.1.2. Señal digital.

Es aquella señal que dispone de dos niveles únicos diferenciados que se alternan en el tiempo para transmitir información. Estas señales no se producen en la naturaleza, sino que son emuladas por el ser humano para enviar y recibir información. De acuerdo con su comportamiento pueden ser cuadradas, diente de sierra, triangular, etc (Texa Ibérica Diagnosis, 2010).

Las características que reconocer de las señales digitales son:

- Tiene dos niveles diferenciados
- Inmunidad al ruido
- Puede variar su duración, frecuencia de repetición y amplitud
- Transmiten información a través de lenguaje binario

2.1.3. Señal digital PWM (Pulse Width Modulation).

Este tipo de señal permite controlar la modulación de ancho de pulso, es decir dominar el ciclo de trabajo (Duty Cycle) de una señal periódica de tipo cuadrada, por lo que el tiempo que permanezca activa dependerá de su relación con el periodo de la onda, este tiempo de encendido se expresa en porcentaje, por lo que entre más se acerque al 100% mayor tiempo permanecerá activa la señal (Ramirez, Jiménez, & Carreño, 2016). Este tipo de señales son aplicadas para controlar fuentes conmutadas, velocidad de motores, control de elementos termoeléctricos, etc.

Las características de las señales digitales PWM

- Controla el tiempo de alimentación que se proporciona a un elemento
- Inmunidad al ruido
- Transmite información a alta velocidad

2.2.Sistema de inyección electrónica

A raíz del apogeo que tenían los vehículos de combustión interna en los años 80 se vio la necesidad de reducir el consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes, debido a esto se empezó a dar gran importancia al desarrollo de sistemas de entrega de combustible. La solución que se encontró fue el uso de la inyección de combustible mediante el control electrónico, gracias al uso de una unidad de control electrónico que gobernaba la dosificación de combustible se redujo el consumo de combustible además de una reducción en la emisión de gases contaminantes, otros aspectos que mejoraron fue el aumento del rendimiento del motor y mejor respuesta a la aceleración debido a la precisión que brindaba el control electrónico (Henriquez, 2007). Durante las décadas venideras aparecieron diferentes sistemas de inyección en función de la tecnología aplicada, entre los más importantes destacan:

2.2.1. Mono Motronic.

Este sistema se caracteriza por tener un único inyector central que forma parte de un cuerpo denominado TBI (Throttle Body Injection) el cual se ubica en la parte superior del múltiple de admisión, en el cuerpo TBI se encuentra acoplado el inyector, la válvula IAC, el sensor TPS y la aleta de aceleración. El sistema Mono Motronic controla la cantidad de combustible inyectado y el tiempo de encendido, posee una serie de sensores ubicados en diferentes partes del motor para obtener información del funcionamiento del motor, los datos

obtenidos son procesados por una unidad de control que se encarga de determinar la cantidad de combustible inyectado y el tiempo de encendido en cada cilindro.

2.2.2. Motronic.

Sistema electrónico que controla la inyección y el encendido para tener un mayor control del motor, la dosificación del combustible y el tiempo de encendido se optimizan gracias al procesamiento digital de los datos y a la implementación de cartografías de funcionamiento del motor, posee inyectores de accionamiento eléctrico en cada una de las entradas de admisión de los cilindros, además de tener bobina controlada por transistores que permiten optimizar el trabajo de este elemento, el sistema incorpora una serie de sensores en todos los sistemas del motor los cuales envían información a una unidad de control la cual se encarga de procesar esta información y accionar los diferentes actuadores eléctricos.

2.2.3. Motronic ME.

A diferencia de su antecesor Motronic este sistema incorpora una serie de mejoras que permite ser más fiable y obtener un mejor desempeño del motor. El acelerador mecánico por cable y su mariposa de resorte son remplazados por un acelerador electrónico y un cuerpo de aceleración electrónico. El acelerador dispone de dos potenciómetros que envían la información de la posición del pedal a la unidad de control la cual procesa los datos y envía una señal PWM al cuerpo de aceleración para dar apertura de la cantidad exacta, este nuevo sistema elimina el riesgo del desgaste y rotura del cable del acelerador, además de reemplazar el uso de la válvula IAC ya que el control del paso del aire lo hace la misma unidad de control con la posición de la aleta de aceleración. Otra mejora incorporada es el sistema de encendido que pasa a ser independiente y semindependiente, asimismo se incorpora el trabajo conjunto de otros módulos para optimizar el confort de marcha y la seguridad de los usuarios.

2.2.4. Motronic MED.

Este sistema se caracteriza por ubicar el inyector directamente en la cámara de combustión y la posibilidad de generar diferentes dosados en función de la carga y el modo de conducción. Las ventajas que ofrece este sistema es la reducción del consumo de combustible, mayor potencia, mejor respuesta de aceleración, menor emisión de gases contaminantes. Todo esto gracias a que el inyector dosifica y pulveriza a alta presión el combustible dentro de la cámara de combustión y obtener una mejor distribución de las partículas de combustible y el aire. Asimismo, se ha implementado una bomba de alta

presión en la línea de alimentación del combustible, una bomba de alimentación de velocidad variable que ayudan a que la presión y el caudal de inyección sea el necesario.

Sin importar el sistema de inyección electrónica todos incorporan en esencial el mismo principio, los datos del entorno son recolectados por los sensores que transforman las magnitudes físicas en señales eléctricas que son procesadas por una unidad de control la cual activa o desactiva los diferentes actuadores del motor (Bosch, 2010).

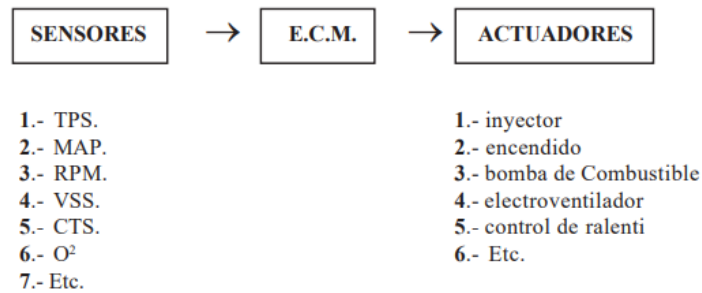


Figura 2.1. Esquema general de funcionamiento del sistema de inyección electrónica
Santiana, 2019.

2.3. Sensores

Son elementos capaces de percibir y medir cambios de magnitudes físicas-químicas para ser transformados en variables eléctricas que portan información a la unidad de control (Guarella, Heredia, Rodríguez, & Bagatto, 2011). Las señales eléctricas de salida del sensor manejan variables como: tensión, intensidad de corriente, amplitud, frecuencia, fase y duración.

Los sensores en el vehículo se ubican en diferentes sectores, sin embargo, su función principal es proporcionar información en tiempo real sobre el funcionamiento del vehículo y del entorno en el que se desplaza.

Los sensores utilizan el principio de transducción para suministrar la información a la ECU, de acuerdo con la manera de operar los sensores pueden encontrarse de dos tipos:

- Sensores activos: Son aquellos que al detectar la magnitud física producen una señal eléctrica, tal es el caso de los sensores KS, Lambda y CKP inductivos.
- Sensores pasivos: La señal eléctrica es producto de la variación de la resistencia interna o reluctancia magnética por causa de una magnitud física, como es el caso de los sensores TPS, MAP, ECT, etc.

Los sensores manejan dos tipos de voltajes dependiendo del principio de funcionamiento:

- Voltaje de referencia o de alimentación

Es la tensión que entrega la unidad de control al sensor para su funcionamiento, en el vehículo la mayoría de los sensores requieren de 5V para operar adecuadamente, sin embargo, existen algunos sensores capaces de funcionar con 3,3V debido a los materiales semiconductores con los que está construido.

- Voltaje de señal

Se define como el potencial eléctrico que envía el sensor como respuesta a los cambios de las magnitudes físicas que está midiendo, esta señal es recibida por la unidad de control y puede ser una señal analógica comprendida entre (0,2-4,7) V o a su vez puede tratarse de una señal digital que está comprendida entre (0-5) V.

2.3.1. Tipos de sensores.

Una clasificación muy acertada consiste en describir el principio físico de transformación de la magnitud física en señal eléctrica, por lo que los sensores del vehículo utilizan los siguientes principios de transducción:

2.3.1.1. Sensor piezoeléctrico.

Son aquellos que están conformados por materiales cerámicos o cristales que al sufrir una deformación en su superficie se produce energía eléctrica (Guarella, Heredia, Rodríguez, & Bagatto, 2011). Los materiales del sensor son capaces de reordenar sus cargas cuando estas son sometidas a una presión o deformación. Las aplicaciones que se les otorga a este tipo de sensores en el vehículo son para medir presión, fuerza y movimiento.

2.3.1.2. Sensor magnético inductivo.

Emplea el principio de transducción de Faraday el cual explica que cuando una corriente fluye por un conductor se genera un campo magnético, a esta propiedad se la denomina inductancia y se comprende como la capacidad que tiene el conductor de almacenar energía electromagnética, por lo que el principio de Faraday se basa en la interacción que se genera cuando un campo magnético y un material ferroso se acercan, en una bobina que se ubica intermedia entre el imán permanente que genera el campo magnético y el elemento ferroso se induce corrientes de Foucault en función de la proximidad del material ferroso lo que hace que varíe la amplitud de la tensión generada en la bobina. De esta manera se determina proximidad y presencia del material ferroso.

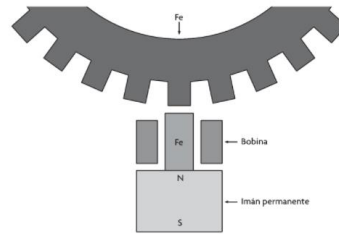


Figura 2.2. Principio de funcionamiento del sensor magnético inductivo
Ramírez, 2016.

Los sensores inductivos se han remplazado por los sensores de tipo Hall debido a que estos no presentan perturbación con ruidos electromagnéticos y vibraciones. En el vehículo se encuentran esta clase de sensores en piezas móviles como los ejes de las ruedas, cigüeñal y árboles de levas.

2.3.1.3. Sensor magnético de tipo Hall.

Estos sensores utilizan el efecto Hall que explica que cuando una corriente eléctrica fluye a través de un conductor y existe presencia de un campo magnético se genera una fuerza transversal “Fuerza de Lorentz” que busca equilibrar el efecto del campo, lo que produce un voltaje medible en los extremos del conductor.

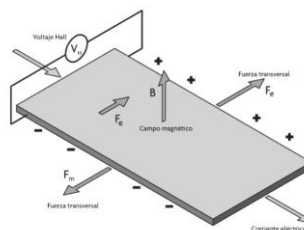


Figura 2.3. Principio de funcionamiento del sensor de tipo Hall
Ramírez, 2016.

Es común encontrar que estos sensores utilizan semiconductores de tipo P y N para generar el voltaje, la ventaja que presenta este tipo de sensores es que son versátiles debido a que la suciedad, el agua y agentes contaminantes no perturban la tensión generada, sin embargo, pueden ser sensibles al ruido magnético. En el vehículo son ampliamente usados para determinar la posición y la frecuencia de rotación de las piezas móviles.

2.3.1.4. Sensor térmico.

Esta clase de sensores miden la temperatura mediante la variación de voltaje existente en una señal eléctrica de salida (Guarella, Heredia, Rodríguez, & Bagatto, 2011), el calor contenido en un sistema influye sobre un semiconductor eléctrico, el cual por efecto de la variación de la resistividad cambia el valor de la tensión de alimentación, los sensores más

comunes de encontrar en el vehículo son los termistores NTC, que al aumentar la temperatura su resistencia disminuye.

2.3.1.5. Sensor fotoeléctrico u óptico.

Los sensores ópticos utilizan los fotones partículas elementales de la luz para incidir en un material, el cual al recibir el fotón emite un electrón, por lo que a presencia de la luz una señal eléctrica será emitida (Guarella, Heredia, Rodríguez, & Bagatto, 2011). La cantidad de energía eléctrica depende de la incidencia del fotón y de la longitud de onda de luz. La ventaja que presentan estos sensores es su alta sensibilidad y la gran capacidad de trabajar en diferentes condiciones. Son empleados para calcular desplazamientos, deformaciones y fenómenos dinámicos. En el vehículo se encuentran en los sensores de rotación como en las ruedas, cigüeñal y árbol de levas.

2.3.1.6. Sensor químico-eléctrico.

Estos sensores contemplan la generación de una señal eléctrica de tensión variable que es producto de una actividad química, los elementos de estos sensores dependen en gran medida del tipo de fenómeno químico que se desee cuantificar. Para que la señal generada sea adecuada se debe tener un medio controlado y el buen estado de los elementos receptivos. En el vehículo son empleados en la evaluación de la mezcla estequiométrica a través de la medición de residuos de oxígeno en los gases de escape.

2.3.1.7. Sensor resistivo.

Emplea el principio de transducción resistiva que señala la posibilidad de variar la resistencia eléctrica por cambios físicos como longitud y área del material. Cuando la corriente pasa por un conductor esta lo hace a una determinada longitud y área por lo que si se logra modificar estos parámetros la corriente cambiara y por tanto el voltaje debido a su relación con la ley de Ohm. Otro factor que afecta a este tipo de sensores es la resistividad del material y esto depende de los diferentes elementos usados como conductores. En el vehículo estos sensores suelen ser empleados para indicar posiciones como es el caso del TPS y el APP.

2.3.2. Sensores del vehículo y su funcionamiento.

2.3.2.1. Sensor de posición angular y velocidad de giro del cigüeñal (CKP).

El sensor CKP determina la posición del cigüeñal y su velocidad de rotación durante los 720° de giro que se deben cumplir durante los 4 tiempos del ciclo Otto. Para conocer la posición del cigüeñal se dispone de una rueda fónica con una muesca que indica la posición

exacta de un pistón de referencia que se encuentra en el PMS al terminar la carrera de compresión (Texa Ibérica Diagnosis, 2010), en función de la cantidad de cilindros y la configuración del encendido se toma como referencia el primer pistón para calcular la inyección de combustible cuando el cigüeñal ha rotado una cantidad de grados, asimismo, este sensor puede medir la frecuencia de rotación que tiene el cigüeñal al utilizar la misma muesca de la rueda fónica para calcular las revoluciones por minuto que gira el cigüeñal.

Actualmente el sensor CKP cumple estas dos funciones, sin embargo, existen modelos anteriores que disponen de dos sensores para realizar dichas funciones, uno en el cigüeñal que permite determinar su posición y otro en el distribuidor para determinar la cantidad de RPM del motor. Además, destaca por ser de los sensores más importantes en los sistemas de inyección electrónicos.

Los sensores CKP pueden encontrarse de tres tipos:

- Sensor CKP magnético inductivo

Este sensor genera una señal eléctrica cuando se induce una corriente en una bobina que está ubicada entre un imán permanente y la rueda fónica de hierro dulce, la señal generada tiene un valor máximo de voltaje cuando el imán está frente al diente y un valor mínimo cuando está en el espacio vacío. Estos sensores son susceptibles a interferencias electromagnéticas que inducen cargas parasitarias dando lecturas erróneas. Por lo que actualmente están en desuso.

Este sensor puede presentar 2 o 3 cables, por lo general suelen ser, un cable para señal, otro para masa y el último para eliminar las interferencias electromagnéticas. La señal emitida por este sensor es de carácter sinusoidal a excepción del espacio de la muesca, en donde tiene una forma característica.

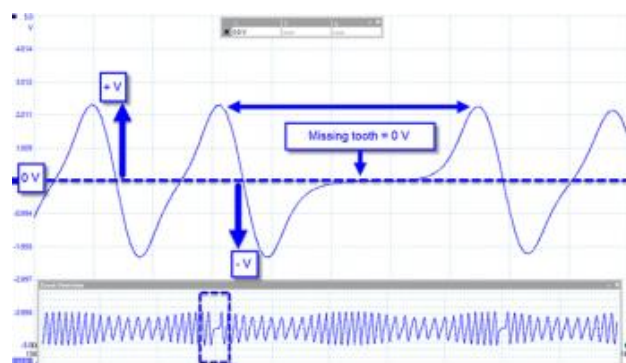


Figura 2.4. Señal característica de un sensor CKP inductivo
Pico auto technology, s.f.

- Sensor CKP magnético de tipo Hall

Dispone de un semiconductor o pastilla Hall, un imán y la rueda fónica. Por la pastilla Hall circula una corriente eléctrica que esta perpendicular al campo magnético del imán, cuando el campo magnético es perturbado por el hierro de la rueda fónica, se genera una variación de la tensión en los extremos de la pastilla Hall, generando pulsos cuadrados dando la señal característica de este tipo de sensor, cuando existe la muesca de la rueda fónica el pulso generado es más ancho debido a que ocupa el espacio de 2 dientes. De igual forma para calcular la frecuencia de giro del cigüeñal, se considera el pulso más ancho como referencia para calcular las RPM del motor.

Estos sensores se ubican en la rueda fónica del cigüeñal que suele ubicarse en la corona del volante de inercia, o en la polea de la distribución perteneciente al cigüeñal. Constan de 3 cables, alimentación 5V, señal y tierra.

- Sensor CKP óptico

Esta clase de sensor se ubica en el interior del cuerpo del distribuidor de encendido y emplea un sistema de luz infrarroja para transmitir la información de la posición del cigüeñal y las revoluciones del motor, este sistema está conformado por una serie de diodos emisores que emiten luz infrarroja, la cual es recibida por unos fotodiodos, cuando esta señal es recibida se produce una tensión positiva, sin embargo el sistema cuenta con un disco ranurado que al girar permite el paso o el bloqueo de la recepción de la luz emitida por los LEDs, al momento que el disco interrumpe la recepción de la luz infrarroja el voltaje es 0V, de esta forma se genera una señal digital cuadrada. De igual manera tiene 3 cables, una alimentación de 5V, tierra y señal.

2.3.2.2.Sensor de posición del árbol de levas CMP.

El sensor CMP determina la posición de los árboles de levas de admisión y escape para definir los tiempos de encendido e inyección de cada cilindro, la posición del eje de levas se compara con la posición del cigüeñal para determinar su correcta sincronización que garantiza el correcto funcionamiento del motor, este tipo de sensor es de efecto Hall y al igual que el sensor CKP emplea una pastilla Hall para generar la señal cuadrada que tiene un distintivo que precisa la referencia del fabricante para iniciar la inyección y encendido de la mezcla (Sanchez, 2009). El sensor se encuentra ubicado en la tapa de válvulas cerca del

engranaje o polea del árbol de levas, consta de 3 cables que corresponden a: alimentación 5V, tierra y señal.

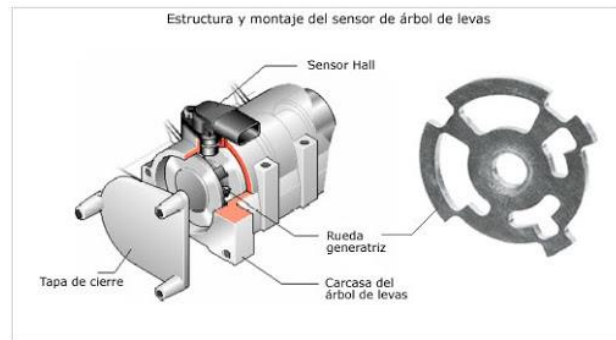


Figura 2.5. Esquema de funcionamiento del sensor CMP
Sánchez, 2009.

2.3.2.3. Sensor de presión absoluta del múltiple (MAP).

Este sensor capta la presión existente en el múltiple de admisión la cual es proporcional al aire admitido, es decir a mayor presión mayor aire ingresa al cilindro. Esto lo logra gracias a que posee un chip de silicio instalado en una pequeña cámara con un fino diafragma que separa la cámara en dos espacios, uno que tiene un valor de presión predeterminado a compararse con la presión del múltiple (Texa Ibérica Diagnosis, 2010). La presión que se ejerce sobre la superficie deforma mecánicamente el chip de silicio el cual varía su capacidad de resistencia eléctrica lo que genera una señal diferente a la de alimentación la cual es amplificada en el circuito electrónico para ser enviada a la unidad de control. La presión en el múltiple varía según la carga de motor y cambios en la velocidad. La señal generada es lineal y es proporcional al incremento de presión en el múltiple debido a que el incremento de presión indica que se ha abierto la aleta de aceleración e ingresa mayor cantidad de aire. El sensor se encuentra ubicado en el múltiple de admisión y consta de 3 cables que corresponden a alimentación 5V, tierra y señal.

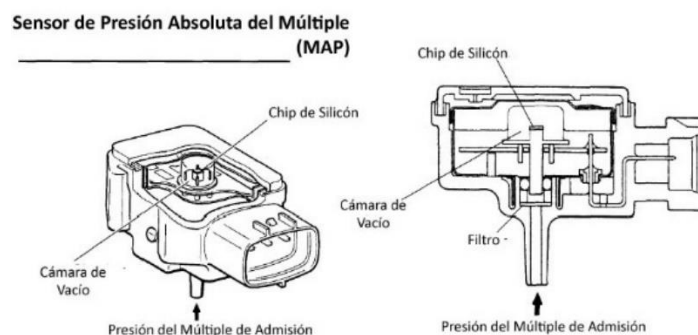


Figura 2.6. Partes del sensor MAP
Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de la Plata, 2011.

2.3.2.4. Sensor de flujo de aire de entrada MAF.

Este tipo de sensor mide la cantidad de aire admitido al motor y la convierte en una señal de tensión proporcional a la cantidad de aire que ingresa por unidad de tiempo (Dragos & al., 2020), este sensor ayuda a calcular la correcta relación de aire/combustible y el adelanto al encendido, se encuentra ubicado en la entrada de admisión, después del filtro de aire y antes del cuerpo de aceleración, de acuerdo con la configuración se encuentran:

- MAF de aleta-sonda: Empleado en sistemas de inyección KE-Jetronic se compone de un plato flotante de medición de aire unido potenciómetro que varía la resistencia interna del elemento en función de la posición del plato, este sensor rustico tiene un plato de compensación regulable para mantener la entrada de aire mínima necesaria, un resorte que devuelve a su posición de flotación cuando se deja de acelerar y un tope que indica que el motor se encuentra a plena carga.
- MAF de hilo caliente: Este sensor este compuesto por un cuerpo en el que está fijada una rejilla que disminuye las turbulencias del flujo de entrada del aire y un anillo fijador en el que se coloca un hilo delgado de platino o níquel por el cual circula una corriente, el circuito eléctrico está compuesto por resistencias de compensación térmica y una placa de control que mide la corriente eléctrica necesaria para mantener constante la temperatura en el hilo caliente debido a que el aire tiende a reducir la temperatura del hilo caliente, por lo que es necesario aumentar la corriente de alimentación. La placa de control además de mantener constante la temperatura del hilo caliente debe amplificar la señal generada.
- MAF lámina caliente: De similar funcionamiento que el sistema de hilo caliente emplea una lámina serigrafiada sobre vidrio o cerámica que se calienta por un hilo que la rodea, a diferencia del anterior sistema el circuito de control genera una señal de voltaje pulsatorio y de frecuencia variable.
- MAF Karman Vórtex: Para lograr determinar el caudal de aire que ingresa utiliza el principio físico de torbellinos de Von Kármán, por lo que es necesario que en la garganta de admisión se instale una columna en la que choque el flujo y se generen torbellinos, los cuales al chocarse generan pulsos. Estos torbellinos oscilantes empujan y jalan un pequeño espejo metálico que genera un movimiento de vaivén, en el cuerpo existe un LED que emite una luz hacia el espejo el cual refleja a un fototransistor la luz, debido al movimiento constante del espejo existirá una señal

cuadrada que varía en proporcional a la cantidad de veces que el espejo sea empujado y jalado por el aire que está ingresando.

El sensor MAF está diseñado para funcionar a temperaturas de (-40-125) °C, es inmune a ruidos electromagnéticos y tiene resistencia química a los hidrocarburos, además resiste vibraciones y choques térmicos. Consta de 3 cables, alimentación 5V, tierra y señal.

2.3.2.5. Sensor de temperatura de refrigerante del motor (ECT).

Es el sensor dedicado a medir los cambios de temperatura en el circuito de refrigeración del motor, está en contacto directo con el refrigerante y es un termistor tipo NTC que varía su resistencia interna en función de la temperatura del refrigerante, el valor resistivo disminuye cuando la temperatura incrementa (Texa Ibérica Diagnosis, 2010). El sensor está ubicado en la entrada del refrigerante al motor en conjunto con el cuerpo del termostato, está construido por una estructura metálica que se enrosca en las cañerías. La señal generada permite activar el electroventilador y el tiempo de inyección que se incrementa hasta alcanzar la temperatura ideal de funcionamiento. Este sensor cuenta con 2 cables, Un cable de señal y otro de tierra.

2.3.2.6. Sensor de temperatura de aire de admisión (IAT).

El sensor IAT se encarga de detectar los cambios en la temperatura del aire que ingresa por el conducto de admisión, la variación de la temperatura repercute en la densidad del aire por unidad de volumen debido a que el particulado del aire por unidad de volumen es mayor cuando la temperatura es más baja, por lo que conocer la temperatura permite mantener la relación de aire/combustible optima. El funcionamiento de este sensor radica en que emplea un termistor de tipo NTC cuya resistencia disminuye a medida que la temperatura aumenta, generando una señal de tipo exponencial que depende en gran medida del tipo de material de construcción, para obtener una señal de voltaje se utiliza un circuito divisor de voltaje. Está ubicado en la entrada del múltiple después del filtro de aire. Por lo general suele ser montado en el cuerpo de sensores como MAP o MAF, y consta de 3 cables, alimentación 5V, tierra y señal.

2.3.2.7. Sensor de posición de la aleta de aceleración (TPS).

Este sensor se encarga de indicar la posición angular de la aleta de aceleración localizada en el cuerpo de aceleración, la mariposa se abre o cierra en función del pedal del acelerador y regula la cantidad de aire aspirado por el motor (Guillen, 2012). El sensor es un potenciómetro que está conectado al eje de la mariposa, al desplazarse la aleta de aceleración

el cursor del potenciómetro cambia su posición variando la resistencia interna del elemento. A la salida del cursor existirá una señal de voltaje proporcional al recorrido de la aleta de aceleración, la cual puede desplazarse hasta los 90° de apertura, por lo que el sensor se capaz de señalar diferentes posiciones de la mariposa de aceleración. La configuración típica de este sensor es que a medida que incrementa la apertura de la mariposa incrementa la señal generada en el cursor del potenciómetro. Por lo que a apertura máxima el voltaje será el máximo y viceversa. Algunos vehículos montan en el sensor TPS potenciómetros dobles para redundancia de información, mientras uno crece el voltaje el otro disminuye. Este sensor está ubicado en el cuerpo de aceleración anclado al eje de la aleta de aceleración, está protegido por una carcasa de plástico y en función de la configuración puede tener 3,4 o 5 cables. Por lo general posee: alimentación de 5V, señales, tierra.

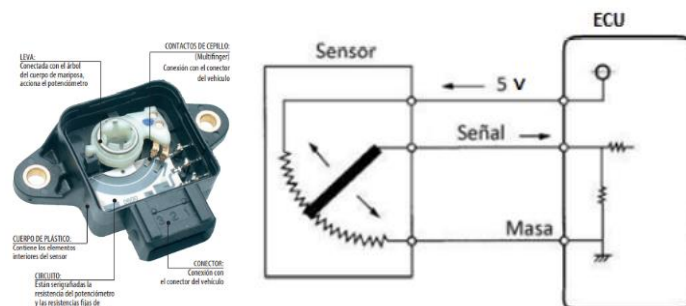


Figura 2.7. Esquema de funcionamiento y partes del sensor TPS
Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de la Plata, 2011.

2.3.2.8. Sensor de detonación (KS).

También conocido como knock sensor, es un sensor que detecta las frecuencias vibratorias de combustión normal y auto detonación que se generan en las paredes del cilindro, debido a que la señal de golpeteo tiene una frecuencia más alta y precisa que la del funcionamiento normal puede ser captadas por el sensor, esta frecuencia de detonación está comprendida entre (5,2-8) kHz, las vibraciones son ondas sonoras mecánicas que se desplazan por el bloque de motor hasta una arandela elástica y una masa sísmica del sensor en la que está dispuesta un anillo de cerámica piezoeléctrico que genera un voltaje en función de la deformación generada por la onda mecánica (Texa Ibérica Diagnosis, 2010). La señal generada es transmitida por un cable que tiene una protección electromagnética para eliminar el ruido producido por interferencias. Una vez que la señal ha llegado a la unidad de control, esta es filtrada para eliminar las frecuencias diferentes a la vibración de detonación para corregir los parámetros de adelanto al encendido. Está anclado al bloque de

motor cercano a un cilindro de referencia, suelen ser de arandela con rosca y consta de 1 o 2 cables correspondientes a señal y protección contra ruido electromagnético.

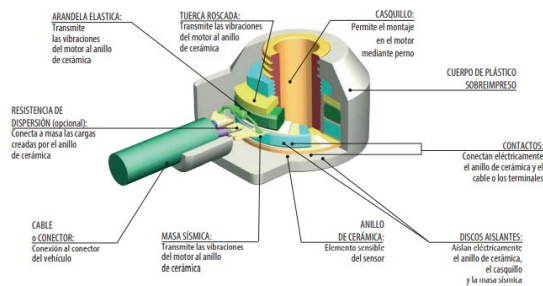


Figura 2.8. Despiece del sensor KS
Ingeniería Mecafenix, 2018.

2.3.2.9. Sensor de oxígeno o lambda (O₂).

Tiene la misión de medir la concentración de oxígeno en los gases de escape, para ser comparados con un valor referencial en la unidad de control y evaluar la calidad de la combustión, esto se hace con el fin de corregir la cantidad de combustible que se está inyectando (Bosch, 2010). El sensor posee una cámara que internamente posee un material cerámico de dióxido de zirconio y dos placas de platino que bajo condiciones de temperatura de 300°C o superior se genera una reacción química en la que los iones de oxígeno disociados en las placas de platino con carga negativa inducen al movimiento de electrones en el dióxido de zirconio que genera una tensión que va desde los 50mV a 900mV dependiendo de la concentración de oxígeno en los gases de escape. Actualmente los sensores de oxígeno montan calefactores que calientan la cerámica para que esta actúe en los arranques en frío o cuando el vehículo se encuentra en fase de calentamiento, asimismo, existen sensores de banda corta y de banda ancha. Los sensores banda corta son convencionales y únicamente pueden determinar cuando la mezcla es rica o pobre, mientras que los de banda ancha utilizan un rango amplio de voltaje para determinar las diferentes relaciones lambda. En los últimos años se ha normalizado que los vehículos posean 2 sensores de oxígeno, uno antes del catalizador y otro después de este elemento, con la finalidad de determinar el estado de funcionamiento del catalizador. La señal de los sensores convencionales de banda corta es oscilante de naturaleza sinusoidal y fluctúa entre rico y pobre en función del tiempo, su frecuencia varía en función de la velocidad de los gases de salida. Está ubicado en el tubo de escape después del múltiple de escape y antes del catalizador, en función de la configuración del fabricante puede tener 1, 2, 4 o 5 cables, los cuales corresponden a: señal, tierra, alimentación calefactor y tierra de calefactor.

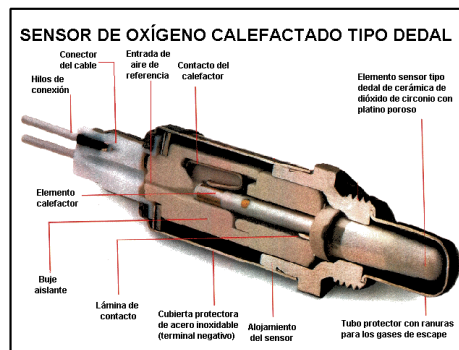


Figura 2.9. Despiece del sensor O₂
 Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de la Plata, 2011.

2.3.2.10. Sensor de posición del pedal del acelerador (APP).

Este sensor ha sido implementado con la finalidad de remplazar el sistema de cable del acelerador para accionar por medio de palancas la aleta de aceleración. La posición del pedal se conoce gracias a que se ha implementado dos potenciómetros en el eje donde hace pivote la palanca del pedal (Ingeniería y Mecánica Automotriz, 2021). Cada potenciómetro posee diferentes rangos de voltaje de operación para determinar la posición, cuando se acciona el pedal los cursores de los potenciómetros cambian su posición y una señal eléctrica sale a la unidad de control, la cual procesa dicha información y acciona la apertura o el cierre del cuerpo de aceleración electrónico. La presencia de dos potenciómetros es con la finalidad de tener redundancia en la información del pedal. Está ubicado en el cuerpo del pedal del acelerador y posee 5 o 6 cables, alimentación 5V, tierra y señales.

2.4. Actuadores

Un actuador es aquel componente capaz de generar una fuerza, movimiento mecánico o cambio de estado de funcionamiento de un sistema a partir de la energía eléctrica o de otro tipo (Guarella, Heredia, Rodríguez, & Bagatto, 2011). Los actuadores son elementos finales de control que únicamente ejecutan una acción tomada por un módulo de control para modificar una variable física. Los actuadores pueden ser clasificados de la siguiente manera:

2.4.1. Tipos de actuadores.

Los actuadores son clasificados en función de la energía que utiliza y el tipo de movimiento que genera, por lo que se encuentran los siguientes actuadores:

2.4.1.1. Actuadores neumáticos.

Son aquellos elementos que utilizan la presión del aire comprimido para ejercer un trabajo mecánico, son elementos sencillos que controlan la dirección y paso del aire

comprimido en circuitos neumáticos. Los actuadores más conocidos son los cilindros de simple efecto y motores neumáticos.

2.4.1.2. Actuadores hidráulicos.

Su funcionamiento es similar a los actuadores neumáticos ya que transforma la presión del fluido en este caso un líquido en trabajo mecánico, a diferencia de los actuadores anteriormente mencionados estos tienen una alta precisión de movimiento, además de manipular presiones mayores y presentan estabilidad frente a cargas estáticas. Los actuadores empleados en circuitos hidráulicos son cilindros de simple y doble efecto, motores hidráulicos y válvulas.

2.4.1.3. Actuadores eléctricos.

Los actuadores eléctricos permiten transformar la energía eléctrica en energía mecánica, son los actuadores de mayor uso y de mayor precisión. El principio de funcionamiento radica en el uso de fuerzas electromagnéticas para generar movimiento debido a que una carga al pasar por un conductor que está ubicado en un campo magnético genera una fuerza que tiende a alinearse de manera perpendicular a las líneas del campo, por lo que se puede utilizar este principio para realizar movimientos lineales o rotativos si se alterna constantemente la dirección de la corriente que pasa por el conductor.

Dentro de los actuadores eléctricos se encuentra otra clasificación que está en función al tipo de corriente con la que son actuados y el tipo de movimiento que realizan:

2.4.1.4. Actuadores de corriente directa (DC).

Son aquellos elementos que utilizan un flujo de corriente directa, en este grupo se encuentran electroválvulas y motores, comúnmente disponen de un rotor y estator. El rotor es la parte móvil y aquella que proporciona la fuerza que actúa sobre el elemento mecánico, mientras que el estator constituye la parte fija y provee el campo magnético para inducir la corriente en el rotor (Álzate, Murillo, & al, 2011). En motores DC para controlar la velocidad únicamente se varía el voltaje de alimentación, además de que el par de giro es proporcional a la corriente que circula por el devanado.

2.4.1.5. Actuadores de corriente alterna (AC).

Emplean el flujo eléctrico que cambia de dirección periódicamente, es decir existe un cambio de polaridad en la tensión de alimentación a los actuadores, por lo general son empleados en motores eléctricos que pueden modificar su velocidad debido a la frecuencia

de operación. Estos motores pueden ser monofásicos, bifásicos y trifásicos y su uso es amplio debido a su versatilidad.

2.4.1.6. Motores paso a paso.

Utiliza impulsos eléctricos modulados de corriente continua para realizar desplazamientos angulares discretos, que le permite avanzar una determinada cantidad de grados, son ampliamente usados en sistemas de precisión y control (Ramirez, Jiménez, & Carreño, 2016).

2.4.2. Actuadores del vehículo

En el vehículo los actuadores realizan las acciones que la unidad de control designa en base a la información recibida por los sensores y la cual ha sido procesada en función de cambiar o mantener las variables físicas ideales de funcionamiento, este proceso se realiza constantemente mientras el motor se encuentra en marcha. Los actuadores que se encuentra en el sistema de inyección electrónica son los siguientes:

2.4.2.1. Inyectores.

Son electroválvulas que permiten dosificar y pulverizar la cantidad exacta de combustible requerido para cada uno de los cilindros de manera secuencial de acuerdo al orden de encendido, están constituidos por un solenoide el cual al ser alimentando por una corriente directa de 12V levanta una aguja con inducido electromagnético que descubre un orificio para permitir el paso de combustible, cuando la corriente de alimentación es cortada la aguja regresa a su asiento gracias a un muelle de retorno. Para que el inyector se active es necesario que la unidad de control de motor controle la puesta a tierra a través de un transistor de potencia que permite cerrar el circuito del inyector (Sanchez, 2009), la señal del colector en el transistor depende del procesamiento de la información proveniente de los sensores CKP y CMP. La cantidad de combustible que ingresa al cilindro está directamente relacionada al tiempo que permanece abierto el inyector, por lo general el rango de operación es de (1,5-10) ms y depende de las condiciones de funcionamiento. Asimismo, los inyectores suelen presentar picos de voltaje cuando el circuito a tierra se abre, los picos suelen ser de 50V a 70V y duran microsegundos. La ubicación de los inyectores depende del sistema y la tecnología que dispone el fabricante, por lo general suelen ser dispuestos en el múltiple de admisión a la entrada de los orificios de la culata, aunque en sistemas modernos se les encuentra directamente dispuestos en la cámara de combustión. De igual manera su

accionamiento puede ser simultaneo, semisecuencial y secuencial, esto depende del sistema de inyección.

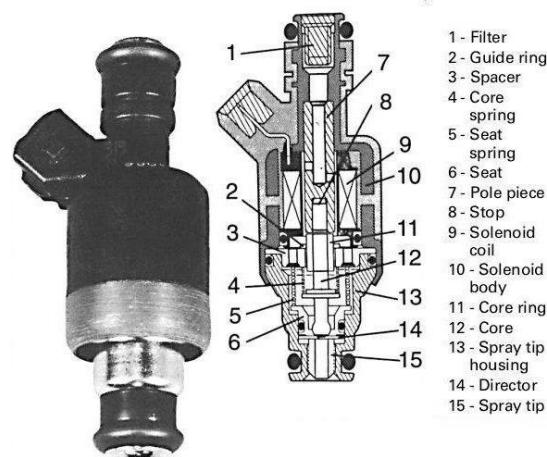


Figura 2.10. Partes y esquema de un inyector de gasolina
Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de la Plata, 2011.

2.4.2.2. Válvula de control de aire en ralentí (IAC).

La válvula IAC tiene la función de regular y mantener el régimen de revoluciones del motor necesarias para evitar que el motor se apague (Sanchez, 2009), esta condición de funcionamiento se conoce como ralentí, la electroválvula se ubica en un conducto en el cuerpo del acelerador paralelo a la aleta de aceleración, el principio de funcionamiento consiste en la apertura o el cierre de un cono metálico que está ubicado en este canal, esta acción la realiza gracias a un motor paso a paso que recibe pulsos de voltaje modulados de duración y frecuencia específica los cuales activan unos bobinados del motor lo que provoca el giro en un sentido u otro de un tornillo sin fin de acuerdo a las necesidades de apertura o cierre del conducto de aire. La unidad de control recibe la información de los sensores de temperatura de aire, temperatura de refrigerante, y flujo o presión de entrada de aire para controlar la posición del cono, la válvula IAC abre el conducto para que ingrese una cantidad de aire adicional para incrementar las revoluciones de motor hasta alcanzar la temperatura de funcionamiento de 82°C. En condiciones normales la válvula mantiene una apertura mínima para mantener un régimen de (800-900) RPM. Las señales PWM que son recibidas por los bobinados de cada sentido tienen una frecuencia y un ancho de pulso específicos que le permiten girar una cantidad de grados del cono exacta.

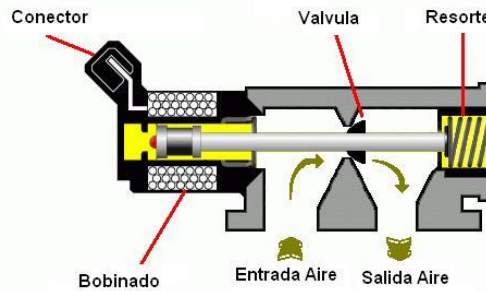


Figura 2.11. Esquema de funcionamiento de la válvula IAC
Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de la Plata, 2011.

2.4.2.3. Cuerpo de aceleración electrónico.

También conocido como TAC por sus siglas en inglés (Throttle Accelerator Control) es un actuador que reemplaza al mecanismo tradicional de accionamiento de la aleta de aceleración que empleaba un cable y palancas para abrir o cerrar el acelerador y a la válvula de control de aire en ralentí. La implementación de la electrónica ha logrado eliminar piezas de accionamiento mecánico propensos a fallar o a romperse por elementos electromecánicos comandados por señales provenientes de la unidad de control. El cuerpo de aceleración electrónico reemplaza el pivote del eje de la mariposa y la válvula IAC por un circuito electrónico, un motor eléctrico y un grupo de engranajes capaz de mantener una apertura mínima de 7° a 8° y una apertura máxima de 90° , los grados de apertura depende del tiempo del ancho de pulso de la señal que se recibe de la ECU (Ingeniería y Mecánica Automotriz , 2021), por lo que (0,3-1,5) ms equivalente de 8° a 90° , el sentido de giro del motor eléctrico se consigue gracias a la inversión de polaridad que se da en el circuito electrónico. Por la factibilidad de variar el grado de apertura mínimo ya no es requerido contar con la válvula IAC ya que la misma unidad de control al recibir la información de los sensores que dictaminan el estado inicial de arranque en frío y hace que la aleta se abra unos cuantos grados más para que ingrese más aire aumentando las revoluciones hasta que alcanza la temperatura de funcionamiento óptima. Se ubica en el conducto de admisión antes del múltiple de admisión y después del filtro de aire. Algunos cuerpos de aceleración cuentan con refrigeración y sistemas de protección como es el caso de la limitación de la aceleración brusca en condiciones de arranque en frío, control de estabilidad, etc.

2.4.2.4. Bomba de combustible.

Su misión es suministrar el combustible al sistema de inyección electrónica, la bomba es un motor eléctrico que se encuentra sumergido dentro del depósito de combustible en un conjunto que permite filtrar, succionar, enviar y en muchos casos regular la presión del combustible de salida (Bosch, 2010), el motor transforma la energía eléctrica en energía

mecánica a través del movimiento del rotor succiona el combustible y lo comprime en una cámara para enviarlo con un caudal y presión determinada, conforme a su configuración se encuentran bombas de paletas, engranajes o rodillos. La activación de la bomba viene dictaminada por un relé el cual es accionado por la unidad de control cuando se encuentra energizada. En caso de solo estar en la posición de contacto la unidad de control activa el relé de la bomba durante unos segundos donde eleva la presión del sistema a un valor inferior al del regulador de presión del sistema para realizar la inyección inicial al arrancar el motor. La señal de control que va de la ECU al relé dura una cantidad de tiempo específica en caso de que no se reciba información de los sensores CKP y CMP, por lo que desconecta el relé y la bomba únicamente ha presurizado el sistema de alimentación con la presión mínima requerida en la inyección. En caso de que se de arranque al motor y este se ponga en marcha la unidad de control recibe la información de los sensores CKP y CMP y mantiene la señal de activación del relé que controla la alimentación de la bomba de combustible. Actualmente existen bombas de combustibles que pueden variar su velocidad de giro a través del control de la activación del motor mediante señales PWM, esto permite modular el caudal y la presión de entrega de las bombas eliminando el regulador de presión.

2.4.2.5. Electroventiladores.

Son actuadores que remplazan a los ventiladores tradicionales que se anclaban a la polea del cigüeñal y que su velocidad dependía de las revoluciones del giro del motor. La tarea de los electroventiladores es permitir el intercambio de calor entre el radiador y el ambiente cuando sea requerido, esto lo hace al forzar la entrada de una corriente de aire que pasa por los serpentines del radiador extrayendo el calor del líquido refrigerante que circula por los conductos. Existen dos tipos de electroventiladores, aquellos que poseen todavía son accionados por el movimiento del motor pero que incorporan un embrague electromagnético que desconecta o conecta el giro del aspa del ventilador dependiendo de las necesidades, y aquellos ventiladores que el movimiento del aspa se debe a motores eléctricos. Actualmente los electroventiladores que mayor uso se les da son aquellos que son accionados por motores eléctricos debido a que pueden ser accionados por la unidad de control durante intervalos exactos y poseen varias velocidades, además de que compensan la temperatura del motor cuando se activa el sistema del aire acondicionado. El principio de funcionamiento consiste en conmutar un relé de alimentación de 12V necesaria para mover el motor eléctrico. La señal de activación del relé es enviada por la ECU en función de la temperatura del refrigerante del motor y de las condiciones de funcionamiento del motor. Se ubica frente al

radiador y puede implementar con más de un motor eléctrico para extraer el calor del sistema de refrigeración.

2.4.2.6. Bobinas de ignición.

Son elevadores de voltaje que entregan la alta tensión a las bujías para que estas produzcan el arco voltaico necesario para encender la mezcla de aire combustible (Beru, 2013). Las bobinas pertenecen al sistema de encendido del vehículo, dependiendo del tipo de sistema se pueden encontrar las siguientes bobinas:

- Bobinas convencionales

Las bobinas están constituidas de bobinado primario, un bobinado secundario y un núcleo de hierro. Los cuales se encuentran dispuestos de la siguiente manera, sobre el núcleo de hierro está enrollado el bobinado secundario que es un hilo fino de cobre de 0,05 a 0,1 mm de diámetro que tiene entre 15000 a 30000 vueltas sobre el núcleo, encima de este arrollamiento se encuentra enrollado el bobinado primario formado por 60 a 50 espiras de hilo grueso de cobre de un calibre de 0,6 a 0,9 mm de grosor. Este conjunto se encuentra sumergido en un aceite dieléctrico que aísla a los componentes, además que están sujetos en el interior de una carcasa metálica. El principio de funcionamiento radica en que se induce una corriente eléctrica en el bobinado secundario producto el corte abrupto del paso de corriente por el bobinado primario a causa de un ruptor de encendido, esta corriente inducida pasa a través del bobinado secundario donde alcanza valores de tensión entre 10000V a 15000V. Esta corriente es entregada a un distribuidor que se encarga de entregar a cada una de las bujías para encender la mezcla en el tiempo adecuado. Estos sistemas son antiguos y actualmente se encuentran en desuso.

- Bobinas convencionales con ayuda electrónica

Su principio de funcionamiento es similar al anteriormente descrito a diferencia de que en ruptor mecánico es remplazado por un transistor que funciona como un switch que permite cortar el paso de corriente por el bobinado primario, además de incorporar un capacitor que permite almacenar una cantidad de energía eléctrica que se libera de manera progresiva cuando el transistor abre el switch.

De igual manera, algunos modelos incorporan un generador de impulsos inductivos o de efecto Hall en los distribuidores que envían una señal a la unidad de control para que esta gestione a través del transistor el corte del paso de corriente en el bobinado primario.

- Bobinas de encendido de ignición directa (DIS)

También conocido como sistemas de encendido sin distribuidor reemplazan los elementos mecánicos propensos a sufrir desgastes y daños por un módulo de control de encendido y bobinas primarias y secundarias que comando 2 cilindros. El principio de funcionamiento radica en la obtención de la información de la posición del cigüeñal a través del sensor CKP el cual envía una señal a la unidad de control la cual procesa la información y emite una señal al módulo de control de encendido del sistema DIS quien activa los transistores para que la corriente fluya por las bobinas respectivas de acuerdo a la señal enviada por la ECU, cuando la corriente fluye por el bobinado primario y es cortada abruptamente por el cierre del transistor se induce una fuerza electromotriz en el bobinado secundario la cual es conducida a través de cables hacia las bujías de los 2 cilindros que están conectados a ese banco de bobina, únicamente el cilindro que se encuentra puesto a iniciar la carrera de expansión aprovecha la alta tensión generada mientras que el otro cilindro no lo hace, debido a este fenómeno a este sistema también se lo conoce como chispa perdida.

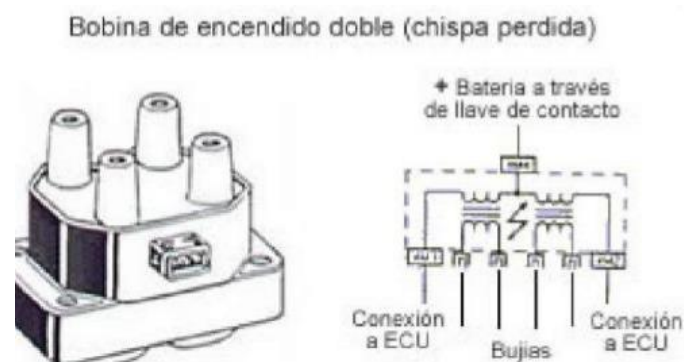


Figura 2.12. Esquema de funcionamiento de bobina DIS
Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de la Plata, 2011.

- Bobinas de encendido de encendido independiente o coil on plug (COP)

Es una evolución del sistema DIS y su diferencia radica en que existe una bobina por cada cilindro, la bobina es acoplada directamente sobre la bujía sin necesidad de cables por lo que es requerido conectores de alta tensión, este diseño de bobina también es conocido como lápiz, y las ventajas que presentan es su ahorro de espacio, optimización de la alta tensión generada, precisión en el encendido, control del encendido de los cilindros individualmente, el principio de funcionamiento es similar al descrito en el sistema DIS pero complementa un diodo de alta tensión para activar la supresión de chispas de activación y una resistencia que elimina interferencias para mantener la entrega de tensión lo más

continua posible. Actualmente son las de mayor uso en los vehículos por su alta fiabilidad y por su tamaño.

Las bobinas de encendido son indispensables en el sistema de encendido ya que sin ellas no existiría la tensión necesaria en la cámara de combustión para provocar la ignición.

2.4.2.7. Válvula de evaporación de gases del canister (EVAP).

Este actuador es una electroválvula perteneciente al sistema de control de emisiones evaporativas (EVAP), esta válvula libera la presión que se genera en el depósito de combustible producto generación de vapores provenientes del combustible (Sanchez, 2009), debido a que el combustible tiene la propiedad de ser altamente volátil, factores como el movimiento del líquido, el aumento de temperatura y el constante retorno del combustible facilita la formación de estos vapores los cuales deben ser liberados puesto que el incremento de la presión puede reventar o explotar el depósito de almacenamiento, hace unas décadas estos vapores eran liberados directamente a la atmosfera, sin embargo, hoy en día bajo las normativas anticontaminación vigentes estos vapores deben pasar por un elemento tratante llamado canister que captura estos vapores y los envía hacia el múltiple de admisión después de la mariposa de aceleración, aquí es donde la válvula EVAP controla el paso de estos vapores tratados provenientes del canister. El accionamiento de este elemento es dictaminado por el vacío del motor y actualmente la unidad de control la cual gestiona en función de la información recibida por un sensor de presión ubicado en el depósito de combustible.

2.4.2.8. Válvula de recirculación de gases de escape (EGR).

El sistema EGR incorporado para controlar la generación de óxidos nitrosos (NO_x) en motores de combustión interna es gobernado por una electroválvula que permite la recirculación de los gases combustionados que ingresan nuevamente a la cámara de combustión llegando a reducir la temperatura en está lo que permite reducir la emisión de NO_x (Sanchez, 2009). La electroválvula se abre o se cierra de acuerdo a la información recibida de la unidad de control la cual procesa la información de los sensores ECT, CKP, MAP y TPS para controlar el tiempo de apertura de esta electroválvula. Está ubicada entre la salida del múltiple de escape y el múltiple de admisión y hace algunos años funcionaba únicamente por el vacío del motor, hoy en día gracias a la aplicación de la electrónica este actuador funciona con una alta presión durante el tiempo necesario.

2.4.2.9. Válvulas de distribución variable VVT-i y i-VTEC.

Los sistemas de distribución variable permiten incrementar el tiempo de apertura y cierre de válvulas de admisión y escape en función del incremento del régimen de revoluciones, carga del motor y cantidad de aire admitido para optimizar el proceso de renovación de gases en el cilindro (Castro, 2015), lo que incrementa el rendimiento volumétrico y obtener valores de potencia progresivos y continuos. Los primeros sistemas de distribución variable funcionaban a partir del incremento de la presión del aceite que activaba unas válvulas que permitan variar la posición de las levas o permitir el accionamiento de una leva de perfil más agresivo. Actualmente las válvulas implementadas para controlar estos fenómenos son eléctricas y su activación está dada por la unidad de control la cual en función de la información proporcionada por los sensores CKP, TPS, MAP o MAF y CMP, permite su activación o desactivación. Están ubicadas en las ruedas dentadas de los árboles de levas y actualmente se encuentran en todos los sistemas de distribución variable.

2.5. Definición y funciones de una unidad de control (ECU)

La unidad de control electrónico (ECU) es el conjunto de componentes electrónicos dispuestos de manera específica en una placa de un circuito eléctrico impreso, la ECU tiene como tarea recibir información de los sensores de los diferentes sistemas del vehículo, procesar la información y enviar una señal de control hacia los actuadores que gestionan las diferentes variables físicas del vehículo (Sudhir & Mane, 2018). Entre las funciones que ejecuta la unidad de control se encuentran calcular y controlar el tiempo y la frecuencia de inyección, asimismo controla el tiempo de encendido, la activación de las electroválvulas y relés de los diferentes actuadores. También se encarga de compensar los cambios generados en el motor para mantener la marcha estable de este, por último, existe la posibilidad de alternar entre los diferentes modos de conducción modificando los ajustes predeterminados de los sistemas del motor para obtener diferente desempeño del vehículo.

2.5.1. Componentes de una ECU.

La unidad de control está compuesta por diferentes componentes electrónicos los cuales interactúan entre sí para obtener un resultado o acción específica. Los elementos comunes que componen a la ECU son (Auto Avance, 2019):

- Componentes pasivos

2.5.1.1. Resistencias.

Es el elemento que opone resistencia al paso de la corriente eléctrica en un circuito, está diseñada para controlar y limitar el paso de corriente en función del valor resistivo del elemento. En las unidades de control estos elementos ajustan de manera precisa las tensiones que circulan en el circuito para conseguir los efectos deseados en los diferentes componentes semiconductores. Los tipos de resistencias que se encuentran en las unidades de control son: resistencias aglomeradas, de capa o película y las resistencias bobinadas. Las características más importantes de estos elementos son: su valor óhmico, la tolerancia y la potencia que puede manejar.

2.5.1.2. Capacitores o condensadores.

Un capacitor es un dispositivo capaz de almacenar energía en forma de campo eléctrico, está formado por dos laminas conductoras paralelas separadas por un material dieléctrico que adquieren una diferencia de potencial eléctrico lo que determina que en cada placa se cree una carga positiva y en la otra una negativa. Las características más importantes de estos elementos son: su capacitancia que se mide en faradios, la tensión de trabajo, su tolerancia y la polaridad que tienen estos elementos. En los módulos de control se suelen encontrar los siguientes tipos de capacitores: electrolíticos, cerámicos y de poliéster.

2.5.1.3. Varistores.

Son elementos resistores dependientes de la tensión, que proporcionan una protección fiable contra cambios transitorios de alto voltaje. Pueden eliminar transitorios positivos y negativos y su funcionamiento consiste en el cambio de la resistencia en función del voltaje, a voltajes bajos la resistencia es alta, mientras que al superar el voltaje nominal la resistencia disminuye provocando un cortocircuito o daño del propio varistor evitando que los componentes posteriores sufran daños, por lo general están conectados junto a un fusible para abrir el circuito cuando hubo un exceso de tensión. En los módulos de control se encuentran en la fuente de alimentación y las características más importantes que deben tener estos elementos son: amplia gama de voltajes para proteger al circuito, alta capacidad de absorción de energía, tiempo de respuestas menores a 20 nanosegundos (ns), bajo consumo en reposo (stand by) y un alto grado de aislamiento.

- Componentes activos

2.5.1.4. Diodos.

Son dispositivos fabricados de dos tipos de materiales semiconductores, uno de tipo N (exceso de electrones) y otro de tipo P (presenta déficit de electrones), que permite el paso de corriente eléctrica en un solo sentido es decir bloquea el paso de la corriente si circula en sentido contrario. Esto lo logra gracias a que tiene una polaridad determinada por los materiales con los está constituido, cuando este tiene una polarización directa se comporta como un conductor, mientras que al polarizarlo de manera inversa se comporta como un aislante. El grupo de diodos es variado y los de mayor presencia en las unidades de control son los siguientes:

Diodos rectificadores

La función de estos elementos es mantener una corriente continua en los circuitos, al manejar el paso de la corriente en un solo sentido, por lo que suprime las ondas de corriente negativa. La aplicación de estos diodos se centra en circuitos rectificadores de corriente, limitadores de tensión, protección contra cortocircuitos, demoduladores, osciladores, etc.

Diodos Zener

El funcionamiento del diodo Zener es semejante al anterior descrito, permite el paso de corriente en un solo sentido y bloquea el paso en sentido contrario, salvo que cuando se aplica una tensión de ruptura definida permite el paso de electrones en el sentido inverso. El principal uso de este elemento es para obtener la estabilidad de tensión cuando se trabaja con voltajes variables, es decir se emplea para regular un voltaje determinado.

Diodo Schottky

Es un diodo que emplea un material tipo N en conjunto con un metal, se caracteriza por su alta velocidad de conmutación y una pequeña caída de tensión cuando se encuentra polarizado en sentido directo. Se emplea en circuitos de procesamiento de información de alta velocidad.

Diodo LED

La principal característica de este diodo es la emisión de luz, cuando una cantidad de voltaje circula por este elemento, la luz que se emite dependerá del material y la tecnología de fabricación, debido a que el color de la luz es producto de la longitud de onda que se está generando cuando un electrón salta entre los orbitales del átomo. En las unidades de control de motor no se emplean estos elementos, sin embargo, existen otras unidades de control en el vehículo como es el caso del tablero en el que su uso es de importancia para indicar que información sobre el estado del vehículo. Por lo que el uso más destacado es como piloto de señalización e instrumentación.

2.5.1.5. Transistores.

Los transistores son la unión de 3 materiales semiconductores, los cuales tienen la siguiente configuración: PNP y NPN. El transistor cuenta con tres regiones, la primera perteneciente a la base que es la que se encuentra en medio de las dos regiones del mismo material, la segunda conocida como emisor que recibe la tensión de una fuente de energía y por último el colector quien envía esta corriente a un consumidor eléctrico cuando la base permite el paso de corriente. El funcionamiento del transistor es comparable al de una llave de agua donde la base controla el flujo del agua. Las funciones del transistor se resumen en dos principales, siendo un conmutador y un amplificador. En la unidad de control son empleados en la conmutación de los actuadores, recibiendo la señal de apertura o cierre en su base. Los transistores de mayor presencia en los módulos de control son los siguientes:

Transistores bipolares (BJT)

Son los de mayor presencia en los procesos de acondicionamiento de señales, son de tipo PNP y NPN, cumple dos funciones principales, cuando está en la zona activa directa el transistor amplifica la corriente que circula en la base, mientras que la otra zona de interés es la de saturación y corte donde funciona como un conmutador que controla circuitos de potencia y digitales.

Transistores Darlington

Este transistor tiene la ventaja de amplificar una gran cantidad de corriente, por lo que tiene una gran ganancia cuando actúa como amplificador, internamente este compuesto por dos transistores BJT que se conectan en cascada, por lo que un transistor de menor potencia controla la base del otro transistor y este último se encarga de controlar la etapa de potencia.

Son empleados en circuitos donde es necesario controlar cargas grandes con corrientes muy pequeñas.

Transistores de efecto de campo (FET-MOSFET)

El transistor FET a diferencia de los transistores bipolares los cuales se activan con una corriente en su base requieren de un voltaje para controlar el paso de corriente por el colector y el emisor. Las zonas de estos transistores se conocen como Gate, Drain y Source. La polarización de estos elementos es diferente a las expuestas anteriormente, por lo que el Drain se polariza positivamente y la compuerta Gate se polariza negativamente. Las ventajas que presentan estos transistores es su poder de conmutación donde obtienen mayor ganancia, además de la posibilidad de controlar el paso de corriente a través del Gate usando un voltaje.

Transistores bipolares de puerta aislada (IGBT)

Estos dispositivos son empleados como interruptores en circuitos de alta potencia ya que permite conmutar altas corrientes. La apertura o cierre está controlada por un Gate tipo MOSFET es decir la conmutación se da por voltaje y no corriente, siendo una llave electrónica muy eficiente. Este tipo de transistores están destinados a manejar cargas inductivas propias del sistema de encendido, donde la conducción de corriente se realiza de manera eficiente.

2.5.1.6. Circuitos integrados.

Es un circuito lógico de dimensiones reducidas que procesa operaciones básicas, está conformado por resistencias, condensadores y transistores que se encuentran encapsulados en poliéster. Son empleados como amplificadores, osciladores, temporizadores, memorias y procesadores de información de acuerdo a la estructura y los elementos que lo constituyen. Las ventajas que presentan es su bajo costo y el alto rendimiento debido a que consumen poca potencia. En las unidades de control los circuitos integrados son elementos de gran importancia y desempeñan funciones como: amplificadores, filtros, memorias y microprocesadores de información.

2.5.1.7. Circuito impreso.

Es el conjunto de elementos electrónicos conectados que interactúan entre sí a través de pistas o caminos de cobre para realiza una acción en específico. La función principal es brindar soporte a los componentes eléctricos y conectar eléctricamente, los elementos suelen ser montados sobre placas de resina o baquelita, fibra de vidrio, teflón y polímeros. En las

unidades de control el circuito impreso es la base y posee una gran cantidad de pistas y conexiones en sus dos caras, adicionalmente poseen un recubrimiento que le permite proteger y aislar eléctricamente a los componentes eléctricos. Los circuitos impresos son también conocidos como PCB.

2.5.2. Estructura de una ECU

Una vez que se ha visto los componentes esenciales que componen las unidades de control a continuación se presenta la estructura general y el funcionamiento de los diferentes sectores (Ribbens, 2013):

2.5.2.1. Circuito de la fuente de alimentación.

La tensión que provee la batería a la ECU a pesar de ser corriente directa es fluctuante y varía entre los (12-14,5) V debido a la carga del alternador y a los diferentes consumidores eléctricos incorporados en la red eléctrica, el circuito de la fuente es el encargado de recibir el voltaje de la batería y transformarlo en un voltaje estable, continuo y adecuado para alimentar los circuitos internos y a los elementos externos que están conectados a la unidad de control.

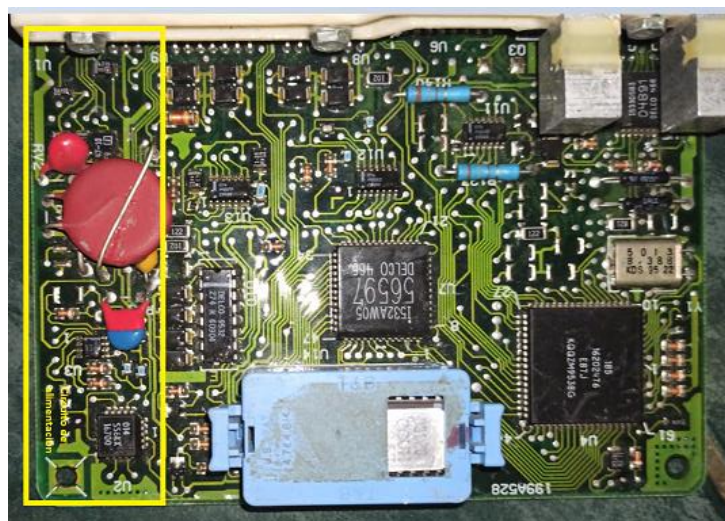


Figura 2.13. Circuito de fuente de alimentación de la unidad de control de motor Morán, 2022.

Los bloques de fuente de alimentación pueden ser fuentes lineales o conmutadas, esto dependen en gran magnitud de la complejidad de la unidad de control y la tecnología empleada en su fabricación.

Las fuentes lineales son aquellos elementos electrónicos que están dispuestos de tal manera que al recibir una tensión DC fluctuante la estabilizan, regulan y de acuerdo a la situación la elevan o reducen. Todo esto sin existir un control sobre el proceso. Las fuentes

lineales están diseñadas para suministrar energía a una cantidad exacta de consumidores eléctricos, en caso de que exista mayor demanda energética estas fuentes suelen fallar debido a que operan fuera del rango ideal de funcionamiento.

En la actualidad el tipo de fuentes de mayor uso en las unidades de control son las de tipo conmutadas gracias a las ventajas que presentan frente a las fuentes lineales (Auto Avance, 2019). El funcionamiento de estos elementos consiste en regular la cantidad de voltaje a través de la conmutación a alta frecuencia de un transistor que opera a manera de switch, la tensión de salida a los diferentes circuitos depende del tiempo de conmutación, la señal de activación del transistor está dada por un circuito integrado oscilador de alta frecuencia el modula la señal pulsatoria que ingresa a la base del transistor, a mayor demanda de voltaje la frecuencia de activación disminuirá para permitir un mayor tiempo de conmutación y viceversa a menor voltaje requerido la frecuencia de activación aumentara, gracias al control que se tiene sobre la regulación de voltaje este circuito es flexible y puede adaptarse a las demandas energéticas que se presenten.

En general la constitución del circuito está distribuida de la siguiente manera:

Posee dos entradas de tensión de la batería una que esta energizada constantemente pero no está activa y otra que se energiza cuando el contactor de la llave es activado, la línea que se activa cuando se pone en contacto el vehículo es de control y permite que se ponga en marcha el oscilador de la fuente para conmutar la línea que esta energizada pero no activa. En las entradas de cada línea existen diodos rectificadores que evitan que las corrientes parasitas de sentido inverso regresen hacia la batería, además se incorporan diodos Zener que regulan en cierta manera la tensión que ingresa, poseen condensadores para eliminar los picos que se pueden generar y en la línea principal que va a energizar a toda la PCB se incorpora un transformador que eleva el voltaje, a esta configuración se la denomina como “flyback” que permite elevar el voltaje cuando la demanda energética supera la tensión de la batería. Además, el transformador sirve como un aislante que permite separar el circuito fuente y los demás circuitos que están después del transformador. Al final de transformador existen reguladores de voltaje que se encargan de reducir el voltaje que se entrega a cada sector de la tarjeta en función de los elementos que dispone, por lo que habrá voltajes de 12V,9V,5V y 3,3V.

2.5.2.2. Circuito de entrada y acondicionamiento de señales.

Las señales enviadas por los sensores a la ECU comprenden un amplio espectro de diferentes tipos de señales, pueden ser de tipo analógicas, digitales, de alta frecuencia, de bajo voltaje, etc. Debido a esto es necesario que estas señales entrantes sean procesadas de diferente manera, por lo que cada pin de entrada tendrá una configuración diferente, sin embargo, cada circuito debe contar con filtros, convertidores y amplificadores para enviar la información de los sensores al sector donde el microprocesador se encarga de calcular, decidir y enviar las señales a los actuadores (Electronik Car, 2012). El bloque de entrada está compuesto por los siguientes circuitos:

Filtro de señales

Las señales que ingresan por los pines de entrada a la unidad de control se encuentran en primera instancia con un circuito que filtra el ruido existente, el cual provoca una distorsión en la información que está ingresando a la ECU, el ruido es provocado por factores físicos como vibraciones, ondas electromagnéticas, malos contactos, etc. Por lo que es necesario realizar un proceso donde se elimine todas estas interferencias de la señal efectiva. La configuración general consiste en la conexión de una bobina y un capacitor en paralelo, debido a que la señal con interferencias tiene picos de voltaje es necesario suprimirlos mediante un capacitor, mientras que los valores de tensión alternos son eliminados por la bobina debido a que en corriente alterna una bobina se comporta como una resistencia de alta impedancia, lo que evita que las señales alternantes puedan pasar hacia la etapa de procesamiento de información. El filtrado de señales es necesario y está en todos los pines de entrada de la unidad de control.

Amplificador de señales

Algunos sensores emiten una señal tenue en el orden de los milivoltios perceptibles a ser confundidas con ruido, debido a esto se requiere que sean amplificadas para luego ser transformadas en señales digitales que puedan ser entendidas por los microprocesadores, por lo que en algunos casos como en los sensores de oxígeno de banda corta y en el sensor de Knock es necesario amplificar la señal entrante, el circuito amplificador posee una serie de transistores y capacitores, o en algunos casos un amplificador operacional que se encargan de amplificar la señal recibida obteniendo una señal aumentada a la salida de estos elementos.

Convertidores análogos/digitales

Las señales emitidas por algunos sensores son de naturaleza análoga y deben ser transformadas en señales digitales para que puedan ser procesadas por los microcontroladores. Los convertidores análogos digitales (ADC) acondicionan y digitalizan una señal analógica considerando la frecuencia, el tiempo de muestreo, la resolución y el ancho de banda para el correcto tratamiento de la señal (Miyara, 2004), en función de estos factores existen diferentes arquitecturas de ADC, como los ADC de aproximaciones sucesivas, ADC flash, ADC integrador o de rampa, etc. Sin importar que tipo de ADC sea el principio de funcionamiento radica en dos pasos fundamentales: el muestreo y la cuantificación.

El muestreo se define como la cantidad de veces que se toma una muestra de la señal análoga por unidad de tiempo durante un ciclo de la onda. La frecuencia de muestreo mínima que se debe realizar es 2 veces la frecuencia máxima de la señal original, ya que de acuerdo al teorema de Nyquist-Shannon es la cantidad mínima para que se pueda reconstruir la información de la onda sin perder o distorsionar los valores generados de la onda, caso contrario ocurre un fenómeno conocido como “aliasing” o solapamiento que impide recuperar correctamente la señal original debido a que existen intervalos de tiempo demasiados largos que presentan pendientes muy abruptas. Por lo que en este paso se toma una cantidad de muestras de la señal necesarias que muestran el estado de la onda análoga original.

El otro paso por realizar es la cuantificación que consiste en asignar un valor discreto a cada muestra tomada en el proceso de muestreo, esto se realiza en función del número de bits empleados para guardar los diferentes posibles estados que puede alcanzar la señal, por lo que a mayor cantidad de bits mayor será la resolución y menor el margen de error originado. Cabe recalcar que existe un paso adicional que consiste en codificar los valores discretos mediante una secuencia binaria que se ha generado por cada muestra. Este paso permite la obtención una señal digital binaria que esta lista para que un microprocesador de lectura a esta señal y trabaje en función de la información ingresada.



Figura 2.14. Circuito de entrada de señales de la unidad de control de motor Morán, 2022.

2.5.2.3. Circuito de procesamiento de información.

Este bloque es el encargado de recibir las señales filtradas y digitalizadas procedentes del bloque de entrada para ser procesadas por una unidad central de procesamiento (CPU) la cual realiza un proceso de comparación de la información recibida con una base de datos cargada en una memoria, tras la comparación el procesador calcula, decide y envía una señal a los actuadores para que las condiciones de funcionamiento del motor sean las apropiadas (Auto Avance, 2019). El bloque se compone por el microprocesador, memorias y un oscilador.

Memorias

Una memoria es un dispositivo capaz de almacenar, retener y grabar información binaria que es manejada por un microprocesador para realizar las diferentes tareas para las que fue diseñado. Las memorias de la ECU se clasifican en dos grandes bloques: aquellas que almacenan las instrucciones a través de un programa que debe ejecutarse continuamente para el óptimo funcionamiento del motor y otras destinadas para almacenar datos que se generan durante la actividad. A continuación, se detalla las memorias existentes en la unidad de control:

Bloque de memorias para almacenar el programa:

ROM (Read Only Memory)

Memoria de lectura de datos que no tiene la facultad de realizar escritura sobre la información contenida, esta memoria posee una base de datos definida con diferentes valores de asignación dados en la programación de las instrucciones de funcionamiento emitidas por

el fabricante. Es de tipo no volátil, lo que significa que la información contenida no se pierde cuando se retira la alimentación energética.

EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)

Esta memoria al igual que las memorias ROM convencionales son únicamente de lectura, sin embargo, tienen la ventaja de ser reprogramables, este proceso comienza al borrar la información inicial a través de la exposición de luz ultravioleta en la ventana existente en la parte superior de la memoria, tras la eliminación de la información se puede ingresar un nuevo programa mediante el uso de un dispositivo electrónico que al enviar la nueva información es capaz de asignar nuevos valores de trabajo en las diferentes compuertas lógicas de la memoria.

OTP (One Time Programmable)

Son memorias de soporte de lectura, las cuales pueden ser programadas eléctricamente una única vez, este tipo de memorias suelen ser incluidas en módulos de una sola vida, como es el caso de los módulos del airbag.

FLASH

Memoria programable y borrrable eléctricamente que está constituida por bloques de información, son de alta velocidad al transferir datos por lo que son empleadas en aplicaciones de almacenamiento masivo, en este tipo de memorias se almacena las instrucciones y los datos básicos permanentes del procesador, debe ser capaz de mantener la información incluso si no existe alimentación eléctrica.

Bloque de memorias para almacenar datos:

RAM (Random Access Memory)

Son memorias de lectura y escritura de naturaleza volátil, es decir que el almacenamiento de datos es temporal, debido a que es susceptible a perder la información una vez que se ha retirado la alimentación de corriente. Las respuestas y procesos realizados por la CPU son almacenados en esta memoria mientras se ejecuta las tareas, está abierta a intervención y recuperación de datos en cualquier momento.

KAM (Keep Alive Memory)

La memoria KAM es un tipo de memoria RAM en donde se almacenan todos los códigos de falla (DTC) del vehículo, es una memoria de tipo volátil que requiere de una alimentación continua por parte de la batería, ya que los datos almacenados pueden perderse cuando se corta la energía.

EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)

Posee la capacidad de borrar cada bit de información de manera individual de manera eléctrica y escribir nueva información de la misma manera, sin necesidad de realizar un proceso físico para eliminar datos. Por lo general son propias de los datos de configuración de funcionamiento un sistema, y pueden almacenar hasta una cantidad de 128kbits de información. Este tipo de memorias son propias de las configuraciones de los radios de los vehículos y de los módulos que permiten ser personalizados por el usuario.

Oscilador o reloj

Un oscilador es un dispositivo que produce una señal digital oscilante y periódica, los osciladores empleados en las unidades de control suelen ser un cristal de cuarzo que destacan por generar pulsos a alta frecuencia. Estos elementos son empleados para activar la CPU, realizar secuencias de un programa y establecer la base del tiempo de ejecución de un procesador, es decir los ciclos o la velocidad del CPU. Son indispensables en la etapa de procesamiento ya que tienen un impacto en la velocidad de procesamiento y ejecución de decisiones.

Microprocesador (CPU)

El microprocesador o también conocido como CPU, es el elemento central que procesa datos y ejecuta las instrucciones de un programa que le fue proporcionado por la memoria ROM, este realiza los cálculos matemáticos a través de una unidad lógica de cálculo (ALU) y escribe en la memoria RAM las decisiones tomadas para continuar la ejecución de los diferentes procesos solicitados. Actualmente un microprocesador es el conjunto del CPU, las memorias, el oscilador y los puertos de entrada y salida que están ensamblados en un mismo cuerpo, la ECU automotriz posee un procesador general que controla los sistemas de inyección y encendido.

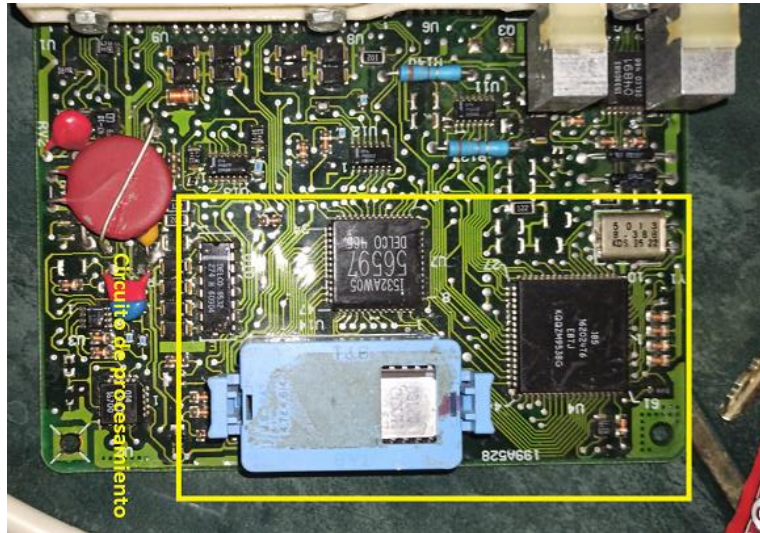


Figura 2.15. Circuito de procesamiento de información de la ECU
Morán, 2022.

La comunicación entre los diferentes elementos en el bloque de procesamiento de información se lleva a cabo a través de una red BUS (Mecánica Automotriz Fácil, 2010), que se caracteriza por tener un único canal que es compartido por todos los elementos y posee en sus extremos una resistencia de 220 ohms para indicar el cierre de la red. En el microprocesador se manejan 2 redes principales, el Bus de datos y el Bus de direcciones.

Bus de direcciones

Es un canal unidireccional entre la CPU y las diferentes memorias del sistema y elementos de salida, de forma que la CPU es la que envía las instrucciones y cálculos a los diferentes elementos colocados en la línea.

Bus de datos

Es el canal bidireccional en el que los datos son emitidos y recibidos por la CPU y las memorias que componen el microprocesador, por lo que puede existir dos estados escritura o lectura en la CPU y en algunas memorias que lo permitan.

Bus de comunicación CAN

Otro Bus importante que destacar es aquel que se crea entre unidades de control del vehículo, debido a que en la actualidad la información recibida y algunas decisiones deben ser comunicadas a los diferentes módulos del vehículo para gestionar la acción tomada.

2.5.2.4. Etapa de potencia y salida de señales a los actuadores.

Este sector se encarga de efectuar la activación o apagado de los transistores y drivers que controlan las señales de salida a los actuadores. Está compuesto por todos los circuitos que manejan altas corrientes y potencias. El funcionamiento empieza cuando las señales procesadas y calculadas provenientes del microprocesador son recibidas para activar a los diferentes elementos que manejan las corrientes, en función de los diferentes drivers la forma de activarlos será distinta, debido a que pueden ser activados por voltajes, corrientes o conmutación. Indistintamente la forma de operar es la misma, los elementos controlan la conmutación a tierra de los actuadores, es decir no alimentan a los actuadores, pero si permiten cerrar los circuitos para su activación (Electronik Car, 2012). En este bloque se encontrarán diferentes configuraciones de los elementos para obtener diferentes resultados, pero siempre se coloca un sistema de protección que evita la sobrecarga de los drivers y también aísla a los elementos de procesamiento de información ante posibles daños. Por lo general los elementos que se encontrarán en este bloque son: transistores, resistencias, diodos rectificadores y diodos Zener. Del mismo modo se considera que al manejar corrientes elevadas la generación de calor es inevitable y se dispone de disipadores de calor para retirar el exceso de temperatura en los circuitos de potencia para evitar posibles daños en las pistas y componentes.

Las salidas de esta etapa son de tipo GND (control de tierra) para actuadores como bobinas de encendido, inyectores y relés. Señales positivas de tipo PWM para el control de actuadores como modulo TAC, bombas de combustible y electroválvulas. Y algunas señales que pueden ser positivas o de tierra para algunos testigos que se pueden reflejar en el tablero de control. Las señales son comunicadas fuera de la unidad de control a través de conectores denominados “pines” que se encargan de tener el contacto físico fuera de la tarjeta con los diferentes conectores de los actuadores.



Figura 2.16. Circuito de salida de señales de la ECU
Morán, 2022.

2.6. Diagrama del funcionamiento general de una ECU

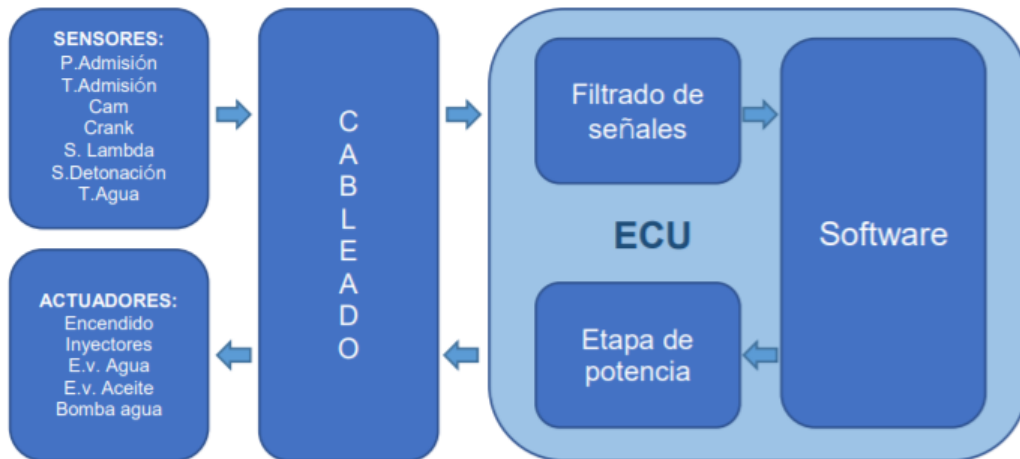


Figura 2.17. Diagrama general de funcionamiento de una ECU
Jayshri & Yashwant, 2018.

La información del entorno y las condiciones de funcionamiento del vehículo es recogida a través de varios sensores que se ubican en los diferentes sistemas del motor, esta información física es transformada en voltaje gracias a los diferentes mecanismos de transducción de los sensores. Las señales generadas viajan a través de un conductor hacia las entradas de la unidad de control, en este punto es requerido que las señales que ingresan sean acondicionadas por lo que se realizan procesos de amplificación y filtrado de ruido con la finalidad de obtener una señal libre de interferencias que transporte la información real del entorno hacia la zona de procesamiento la cual se encarga de realizar los cálculos y decisiones de acuerdo a la programación y las instrucciones que fueron diseñadas por el fabricante del módulo. A la salida de este sector se encuentra la etapa de potencia que se encarga de manejar la activación de los actuadores a través de señales de tipo tierra para

cerrar los circuitos de alta corriente, estas señales salen de la unidad de control a través de cables que se encuentran acoplados directamente en los actuadores. Este sistema incorpora una etapa adicional que consiste en retroalimentar el proceso realizado, esto lo hace gracias al sensor lambda que se encuentra en la salida del múltiple de escape. La retroalimentación permite corregir los procesos realizados que se encuentran fuera de los parámetros de diseño y actualmente es un mecanismo de ajuste automático del dotado para cumplir los límites de emisiones permitidos de acuerdo con las diferentes tecnologías anticontaminación.

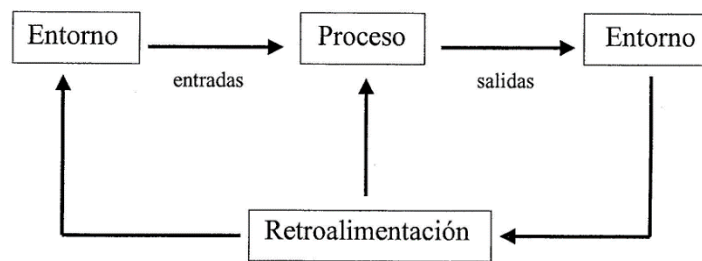


Figura 2.18. Esquema del proceso de retroalimentación de información en la ECU
Ribbens, 2013.

2.6.1. Interfaz de comunicación de la unidad de control.

Las unidades de control modernas requieren mantener comunicación entre varios módulos de los diferentes sistemas del vehículo, debido a esto se ha visto la necesidad de usar redes multiplexadas que agrupan y conectan entre sí las centrales electrónicas del vehículo para compartir información de los sensores de los diferentes sistemas de control y gestión, como el sistema de inyección del motor, la climatización, frenos ABS, etc. (BMW Service, 2004).

La red usada en la industria automotriz se denomina Control Area Network (CAN) gracias a la aplicación de la norma OBD-II que usa un protocolo de comunicación inter-computadoras desarrollado por Bosch. La línea CAN tiene bases en la estructura de red BUS, la cual es una interfaz alámbrica bidireccional que permite la comunicación entre un emisor y receptor para enviar información a través de bits, a una red común, la línea CAN posee un protocolo de señales el cual identifica la prioridad de la señal para ser adoptada por los interlocutores de la red, la priorización permite el rápido acceso al BUS garantizando el funcionamiento cuando existe limitación en el transporte de información. Además, se puede identificar las fallas a través de: supervisión de bits, formato, codificación, supervisión del emisor.

2.6.2. Elementos de la red CAN.

2.6.2.1. Microprocesador de la unidad de control.

Administra varios aspectos de la operación de los diferentes sistemas del vehículo, y es el elemento encargado de procesar y decidir las acciones a tomar de acuerdo con la información recogida del entorno.

2.6.2.2. Controlador.

Es el elemento encargado de la comunicación entre el microprocesador de la unidad de control y el transceptor. Trabaja acondicionando la información que entra y sale entre ambos componentes. En el fondo, es quien, de una manera u otra, gestiona el protocolo CAN. El controlador está situado en la unidad de control, por lo que existen tantos como unidades estén conectadas al sistema.

2.6.2.3. Transceptor.

El transceptor, más conocido popularmente como transceiver, es el elemento que une el controlador (por los terminales Rx y Tx) con el BUS (por medio de sus terminales CAN High y CAN Low). Tiene la misión de recibir y de transmitir los datos, además de acondicionar y preparar la información para que pueda ser utilizada por los controladores.

2.6.2.4. Cableado.

Los cables lo constituyen dos hilos paralelos, trenzados y/o blindados, según los requerimientos electromagnéticos. Los cables se suelen llamar CAN High y CAN Low, de acuerdo con la polaridad de la diferencia del voltaje entre ellos.

2.6.3. Proceso de transferencia de datos en la red CAN.

Cada vez que se quieren comunicar los diferentes módulos es necesario que cada una de las unidades realice un proceso estandarizado para generar la emisión y recepción de mensajes que consiste en las siguientes etapas:

Suministro del dato

Cada unidad de control a través de su procesador emite el mensaje de transferencia de datos CAN a su respectivo transmisor al interior del modulo

Envió del dato

El transmisor CAN se encarga de transmitir mediante los pulsos eléctricos los datos que el microprocesador al interior del PCM envía al exterior, es así como este transmisor colocara en la red la respectiva información

Recepción del dato

La información colgada en la red entra a los módulos de control correspondientes que deciden si los datos recibidos son de interés o no, además es necesario que los bits de reconocimiento del mensaje sean acordes a las intenciones que se requieren en el vehículo.

Comprobación del Dato

Una vez recibido el dato por parte del módulo, este analiza si le es útil o si no le es útil, es decir hay mensajes que pueden ser recibidos, pero si no los requiere no los procesa, como por ejemplo un PCM puede recibir el mensaje o dato de la temperatura de la cabina, pero si no requiere para sus funciones esta información simplemente no la procesa.

Aceptación de dato

Si el mensaje que fue recibido es de interés la unidad de control simplemente lo toma y lo procesa como información, en algunos casos el módulo que toma el dato como útil coloca en la red el mensaje de recibido como una manera de diagnosticar la misma.

2.6.4. On Board Diagnostic (OBD I, II y III).

Es un sistema de diagnóstico a bordo que monitorea y controla el desempeño del motor con la finalidad de reducir la contaminación del aire producida por un mal funcionamiento del vehículo (Electronik Car, 2012). Este sistema impulso el uso de la electrónica en los vehículos y de los sistemas anticontaminación vigentes en la actualidad, además de implementar el indicador de mal funcionamiento (MIL) o Check Engine y los Diagnostic Trouble Code (DTC). El OBD se encarga de monitorear periódicamente los sistemas y componentes del motor y vigila que se ejecuten dentro de los límites permisibles, esto lo hace mediante monitoreos continuos y no continuos de los sistemas y sensores que están envueltos en el proceso de combustión, cuando se realiza una prueba de los sistemas en un ciclo de conducción y existe un fallo se generará un código de avería el cual se almacena en la memoria KAM de la unidad de control, por lo que se requiere de un dispositivo que

permita dar lectura a los errores y permita borrar esta información almacenada una vez que se haya realizado la reparación.

Los datos capturados de cada avería se pueden dar lectura a través de la red CAN y el OBD posee 3 protocolos de comunicación para acceder a esta información, los cuales dependen de la región y de la marca, sin embargo, se ha logrado instaurar los siguientes protocolos: ISO 9141-2/14230, SAE J1850 y KWP 1281/2000.

El OBD ha pasado por generaciones, sin embargo, se ha logrado estandarizar el conector de diagnóstico, los códigos DTC y los protocolos de comunicación empleados.

2.7. Lenguaje y programa de la unidad de control

La unidad de control emplea el lenguaje de máquina como la base para realizar las acciones físicas dentro del módulo, este lenguaje consiste en instrucciones en dígitos binarios que representan estados o valores de tensión, debido a que un procesador ejecuta varias acciones requiere que exista un programa que le exprese las operaciones a realizar. El programa es una secuencia de bits tan larga como sea la orden por realizar y posee una base en el sistema hexadecimal basado en 16 símbolos conformados por números comprendidos entre (0-9) y las 6 primeras letras del abecedario (A-F), este sistema permite una fácil conversión al sistema binario y tiene la ventaja de ser más compacta que la notación binaria. Los microprocesadores entienden el lenguaje binario que le permite trabajar con dos únicos niveles de tensión, sin embargo, para que el diseñador o modificador de la unidad de control programe las acciones que ejecutará el microprocesador requiere de un lenguaje alto nivel de programación que facilite la conexión entre lo que entiende la máquina y lo que quiere expresar el desarrollador. Por lo que para realizar la programación de una ECU es necesario emplear el lenguaje de programación C++ que facilita la escritura y ejecución de programas.

El programa que ejecuta el módulo de control es almacenado en una memoria ROM y está en el orden de los Kbyte y son la base de las compuertas lógicas y de los sistemas lógicos complejos que se manejan internamente en el microprocesador de la unidad de control.

2.8. Partes y funcionamiento del Arduino

Arduino es una compañía dedicada al desarrollo de software y hardware de acceso libre para la comunidad, por lo que es una plataforma de código abierto, flexible, fácil de usar y que tiene soporte por miles de desarrollares (Arduino, 2020).

El hardware de Arduino es un circuito impreso en donde se acoplan los siguientes elementos:

- Puertos de alimentación eléctrica

La placa convencional de Arduino posee varias entradas de alimentación, entre las que se encuentran: un pin Vin que permite conectar a una fuente de voltaje, posee un conector redondo e incluso se puede alimentar corriente a través del puerto USB. Dependiendo del tipo de aplicación que se requiera se utilizarán estas entradas de alimentación. De igual manera hay que considerar que para cerrar el circuito también se requiere la referencia o GND, la placa tiene distribuida varias tierras donde se puede conectar a los diferentes elementos para cerrar el circuito.

- Pines de entrada

Son los pines que permiten el ingreso de señales eléctricas a la placa, pueden ser de naturaleza digital o análoga, dentro de la arquitectura del circuito se distingue que existe una sección destinada a los pines de ingreso de señales análogas, mientras que los pines de entrada para señales digitales deben ser configurados a través de la programación puesto que el bloque de señales digitales no distingue salidas y entradas, únicamente señales digitales convencionales y de tipo PWM. Así mismo posee pines de alimentación para elementos externos en caso de ser necesario.

- Elementos internos

Al igual que cualquier otro dispositivo electrónico en su estructura se encontrarán elementos como: un regulador de voltaje que permite establecer la tensión de trabajo a 5V o 3,3V, en caso de que el voltaje de alimentación sea de 12V. asimismo, cuenta con un microcontrolador para la comunicación serial USB que se da al enviar la información desde un computador hacia la placa, posee un oscilador o cristal de 16Mhz que le permite tener una velocidad de procesamiento alta, de igual manera cuenta con un microprocesador de la familia Atmel AVR que le permite procesar la información de acuerdo a la programación ingresada, posee memorias Flash, RAM, EEPROM que le permite almacenar los datos programados y procesados. Por último, posee un botón de reinicio en caso de que se requiera volver a iniciar el programa que se ha cargado en la tarjeta.

- Pines de salida

Los pines de salida se encuentran ubicados en la zona de pines digitales, son todas las señales ya procesadas por el microprocesador que se dirigen a actuadores o periféricos, son

de carácter digital en su mayoría, salvo el caso de algunos modelos que permite tener salidas análogas. Los pines de salida son asignados en el programa y pueden adquirir cualquier número de pin digital, las salidas pueden ser de tipo convencional o PWM.

- Pines de comunicación

Son los pines destinados a enviar y recibir datos, emplea la comunicación ISP y pueden ser utilizados para comunicarse con una computadora o con módulos que realizan tareas específicas como son: LCDs, Teclados, entre otros. Los pines de comunicación son Tx y Rx o cualquiera de los pines digitales que puedan configurarse para recibir o enviar pulsos digitales. Otra forma de comunicarse es a través del puerto USB, en donde se puede enviar o recibir a través de un cable el programa proveniente del software de programación.

- Elementos adicionales

A la placa de Arduino se le puede añadir nuevos circuitos o también denominados “Shields” para ampliar las posibilidades de uso, por lo que se encontrarán diferentes accesorios como: placas de Ethernet, Wi-Fi, ultrasonido, LCD, GPS, etc.

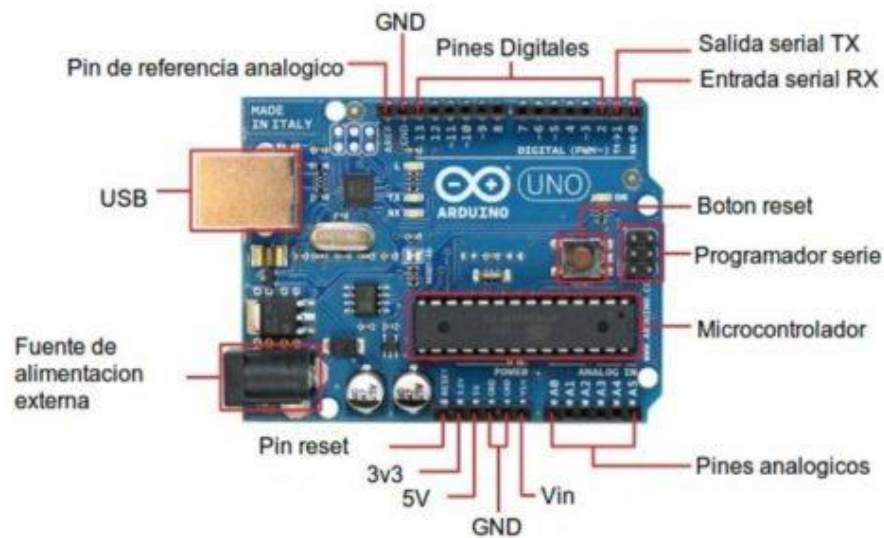


Figura 2.19. Partes y distribución de pines en placas Arduino
Arduino, s.f.

2.9. Arduino IDE

También conocido como Entorno de Desarrollo Integrado, es una aplicación informática específica para los dispositivos de Arduino que permite crear, editar y leer un programa que va a ser ejecutado por el hardware (Arduino, 2020). Utiliza lenguaje de programación C y C++ por lo que los comandos e instrucciones deberán respetar la estructura de estos

lenguajes, sin embargo, la mayoría de las funciones se encuentran simplificadas y agrupadas en bibliotecas por lo que la programación se vuelve amigable con el usuario.

Al ejecutar la aplicación de Arduino IDE en un computador se abrirá una ventana en la que se encontrarán las siguientes partes:

- Menú principal

Permite acceder a todas las herramientas que posee la aplicación, está compuesto por 5 bloques: Archivo, editar, programa, herramientas y ayuda. Entre las funciones más relevantes se encuentran deshacer las acciones, copiar, pegar, verificación y compilación de códigos, librerías, puertos de salida, selección de placa de Arduino, etc.

- Barra de acceso rápido

Indica las funciones de mayor uso por los usuarios, como es el caso de las siguientes opciones:

Verificar: permite comprobar si el código programado está bien escrito, es decir si los símbolos y comandos ingresados se encuentran escritos en los lenguajes del programa.

Subir: una vez que se haya verificado el código esta función permite enviar el programa hacia la placa de Arduino para que este sea quemado en su memoria EEPROM.

Salvar: permite guardar el programa creado en la computadora en un archivo de extensión (.ino) que únicamente podrá ser leído por el IDE o por algún block de notas.

Monitor serie: es una herramienta que permite ver los mensajes y procesos que se están ejecutando en la placa Arduino.

- Barra de mensajes

Es una interfaz gráfica, en la que se escriben diferentes mensajes cuando existen errores en los códigos de programación, o cuando se ha realizado exitosamente un proceso. Permite tener una idea de la naturaleza de los errores generados al copilar el código.

- Pantalla principal

Es la parte más importante del programa puesto que es el entorno donde el usuario puede escribir los diferentes códigos, variables, procesos, etc. que van a ser ejecutados por la

tarjeta, en este espacio el usuario podrá ingresar tanta información y funciones sean requeridas, posee tres sectores indispensables de cualquier programa.

Inicial: este sector declara todas las variables y tipos de variables que se van a utilizar en el programa, en este espacio se puede incluir librerías, entradas, y cualquier tipo de variable que sea requerida al programar.

Void setup: es la configuración que se le da a las variables, en donde se declara las entradas y salidas que se va a tener, además de especificar algunas funciones específicas que se van a realizar con el microprocesador de la tarjeta Arduino.

Void loop: en este bloque se introduce el código principal que se va a correr repetidamente el microprocesador, por lo general se incluyen funciones como lecturas, escrituras y cálculos, en este sector se recomienda ingresar únicamente las funciones y variables creadas, ya que puede existir procesos indeseados, o lentitud al correr el programa.

Funciones e interrupciones: se recomienda que todas las funciones e interrupciones se declaren fuera del loop, después del cierre del paréntesis, con la finalidad de mantener un orden y que la lectura y llamado de las funciones ocurra de mejor manera, este sector se encuentra abajo del loop y puede ser tan extenso como sea necesario.

2.10. Nomenclatura y distribución de las entradas y salidas de la tarjeta Arduino

Mega 2560

El Arduino Mega 2560 es una placa que basa su funcionamiento en el microcontrolador Atmel ATmega2560 de 8 bits, posee 54 pines digitales que pueden ser configurados para entradas o salidas, cuenta con 15 salidas PWM y 16 entradas analógicas, posee un oscilador de 16 MHz, un puerto USB que permite comunicación ICSP, además de poseer diferentes pines de alimentación de voltaje, referencias y tierras (Atmel, 2010).

La distribución de los pines dentro de la placa se muestra a continuación:

El último bloque dispuesto en la parte inferior central de la placa son 32 pines digitales que pueden ser configurados como entradas o salidas de señales digitales convencionales.

La nomenclatura que maneja la placa consiste en diferentes acrónimos que describen diferentes funciones específicas que se pueden encontrar en el manual del microprocesador ATmega2560, a continuación, se identifica los de mayor uso:

5V/3,3V: alimentación de 5 o 3,3 voltios para elementos externos.

GND: tierra del circuito, está distribuida por diferentes sectores de la placa.

Vin: voltaje de entrada de alimentación para la placa.

Analog in: pines de entradas análogas.

PWM: pines digitales específicos de salidas PWM.

Digital: pines digitales convencionales capaces de ser configurados como entradas o salidas.

INT: pines de entrada para interrupciones físicas, específicamente los pines asignados por el fabricante únicamente pueden hacer esta función, tal es el caso de los pines digitales: 21,20,19,18,2,3.

(OC1A/OC2A) y similares: son pines de configuración para el uso de timer o contadores del microprocesador, al igual que los pines INT exclusivamente los pines designados por el fabricante pueden ser empleados para dicha función.

SDA/SCL: son pines de la red Bus I2C que emplean algunos dispositivos como pantallas LCD, a través de esta red se envía información a un módulo periférico.

Tx y Rx: son los pines que manejan un protocolo de comunicación entre la tarjeta y un dispositivo como la computadora o laptop.

2.11. Descripción de LabVIEW

LabVIEW es un software perteneciente a National Instruments (NI) especializado en el desarrollo de programas a través del uso de un entorno de desarrollo gráfico que permite simplificar el diseño de sistemas complejos, eliminando la necesidad de programar líneas de código para crear el programa (National Instruments, 2022). Posee un lenguaje de programación gráfico que es intuitivo y fácil de usar, es flexible permitiendo cambios en las entradas y salidas del software, permite integrar funciones de adquisición, análisis y

presentación de datos en tiempo real, además de tener un compilador gráfico de gran velocidad.

Este programa se apoya en el uso de iconos, términos e ideas familiarizadas en el medio de ciencias aplicadas e ingenieras para crear las aplicaciones que se requieran, LabVIEW tiene una extensa lista de librerías y funciones que le permiten realizar varias funciones como la adquisición de datos, control de instrumentación visual, comunicación serial, análisis y presentación de datos guardados.

Los programas desarrollados en esta aplicación se denominan “instrumentos virtuales” o VI, debido a que imitan un instrumento real de medición donde el usuario tiene la posibilidad de manipular las funciones creadas. Todos los VI tienen dos ventanas: un panel frontal y un diagrama de bloques que serán descritos a continuación:

- Panel frontal

Es la interfaz gráfica del VI con el usuario, en este sector el usuario puede representar las entradas y salida de datos requeridas por el programa que se está diseñando, en el panel se pueden ingresar botones, potenciómetros, graficados, etc. los cuales son definidos como controles o indicadores.

- Diagrama de bloque

En este sector se construye el código fuente del VI, donde se realiza la programación de las funciones para controlar o realizar un proceso. En este bloque se encuentran las herramientas y estructuras integradas en las librerías que dispone LabVIEW para que el usuario haga uso de estas. Esta directamente conectado con el panel frontal, ya que los controles e indicadores seleccionados aparecen en el diagrama de bloque para ser conectados a las funciones que se están programando a través de terminales o conexiones.

El diagrama de bloque se construye conectado distintos objetos entre sí, como si fuera un circuito eléctrico convencional, entre las funciones de mayor relevancia que se encuentran en este sector se destacan las siguientes:

Aritméticas: son todas las operaciones matemáticas aritméticas como la suma, resta, multiplicación y división, además de incorporar otras funciones capaces de hacer procesos algebraicos.

Comparaciones: se encuentran las funciones lógicas como and, or, nor, etc. permite relacionar variables entre sí con la finalidad de obtener un resultado específico.

Conversiones: las funciones que permite cambiar la naturaleza de los datos, como algebraicos, booleanos, texto, etc.

Entradas y salidas: son las funciones que gestionan las entradas y salidas que se tienen en el programa, entre las más importantes se encuentra la lectura y escritura de datos.

Análisis: es el grupo de funciones que permite realizar procesos complejos con los datos ingresados, este bloque permite incorporar librerías desarrolladas por programadores.

Estructuras: emulan a los “loops” en los lenguajes de programación, son todas las funciones que permiten ejecutar las funciones de forma condicional o repetitiva.

Una vez que se ha creado el panel frontal y el diagrama de bloque el siguiente paso es la ejecución del VI. Para realizar esta operación es necesario correr el programa a través de la función “Run” que se ubica en la barra de herramientas del software. Cuando se requiera parar el programa será necesario activar las funciones de pausa o de detención, que se encuentran en la misma barra.

CÁPITULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

El presente capítulo se enfoca en presentar y describir los diferentes bloques que componen el proyecto de titulación. Se explicará y detallará el proceso de desarrollo, diseño de los diferentes sectores y materiales empleados en la construcción del banco de pruebas, asimismo se hablará de la interfaz de comunicación desarrollada a través del programa LabVIEW que permite al usuario tener control sobre las tareas que se ejecutan en el banco de pruebas.

En primera instancia se indica los materiales, equipos y programas empleados, para que posteriormente se explique las actividades y el procedimiento realizado que ha permitido alcanzar los objetivos propuestos.

3.1. Materiales

Para el diseño y la construcción del banco de pruebas de unidades de control se empleó los siguientes elementos:

- Unidad de control de motor (ECU)

El módulo de control seleccionado para interactuar con el banco de pruebas es una ECU desarrollada por la empresa DELCO Electronics para los vehículos General Motors que disponen de los motores GM Family 1 de cuatro cilindros en línea. Este módulo específicamente pertenece al vehículo Chevrolet Corsa Wind y presenta las siguientes características: inyección semisecuencia multipunto, encendido DIS de chispa perdida.

Esta unidad de control será el objeto de pruebas el cual recibirá las señales emuladas y generará señales de respuesta que serán analizadas y estudiadas.

- Arduino Mega2560

La tarjeta Arduino seleccionada es la Mega2560 debido a sus características y a la compatibilidad con el programa LabVIEW, este Arduino dispone de 54 puertos digitales de entrada o salida, 15 puertos son salidas PWM, asimismo dispone de 16 entradas análogas. Incorpora el microcontrolador ATmega2560 que trabaja en conjunto con un cristal oscilador de 16 MHz además de las memorias Flash de 256 KB, RAM de 8 KB y EEPROM de 4 KB. Sin embargo, la característica más importante por la que se ha optado trabajar con este

modelo es la incorporación de 5 timers o contadores y 5 puertos de interrupciones que permite ejecutar procesos secundarios.

Otras características por resaltar son: el voltaje constante de trabajo de 5V, sin embargo, puede ser alimentado por un voltaje DC de 7V a 12V, en la mayoría de los pines digitales de salida circula una corriente de 20mA. Soporta temperaturas comprendidas en el rango de -40°C a 85°C, un consumo de 0,1uAh en modo stand-by, las dimensiones físicas de este elemento son: 101,52 mm de alto y 53,3mm de ancho, con un peso total de 37g.

- Fuente de alimentación

El elemento encargado de suministrar la corriente eléctrica al banco de pruebas es un transformador 110VAC-12VDC que entrega un voltaje regulable comprendido entre 11,5V a 13,5V y una intensidad de corriente máxima de 15A. La selección de este elemento considero los siguientes aspectos: consumo eléctrico de la tarjeta Arduino y periféricos, alimentación de voltaje de la unidad de control, alimentación del sector de prueba de actuadores. Por lo que la fuente seleccionada está en capacidad de entregar la cantidad requerida de energía sin ningún problema.

- PCB

El circuito impreso permite optimizar el espacio y el uso de materiales conductores, además de brindar un orden y seguridad al realizar las conexiones entre los elementos del banco de pruebas, la PCB empleada está construida sobre una base de baquelita y una lámina de cobre que posteriormente se realizará el modelado de las pistas conductoras.

- Potenciómetros

Resistencias configurables que permite manipular físicamente el voltaje de entrada de las señales análogas generadas por algunos sensores, en el banco de pruebas se dispondrá de varios potenciómetros de 10k Ω para los controles de los sensores: MAP, MAF, TPS, APP, etc.

- Encoder

Un codificador rotatorio es un dispositivo electromecánico que permite convertir la posición angular en una señal digital, este elemento genera un pulso cada vez que se desplaza angularmente, lo que indica con exactitud la cantidad de grados que se ha rotado, en el banco de pruebas se incorporó un encoder para manipular el control de la señal del sensor CKP.

- LEDs

Estos diodos son utilizados como indicadores físicos luminosos que permiten identificar señales eléctricas y pulsos digitales pertenecientes a las respuestas de la unidad de control y a las señales digitales generadas en la tarjeta Arduino.

- Cables

Para la conexión entre la tarjeta y la unidad de control se empleó un cable multifilar de 18 hilos pertenecientes a un cable DB25, la ventaja que se obtiene con este tipo de cable es el orden y ahorro de espacio físico.

- Puerto DB25

El cable DB25 se conecta al banco de pruebas a través de un puerto de 25 pines que se acoplan al cable de manera perfecta.

- Puerto OBD2

El puerto OBD2 incorporado permite conectar el escáner automatizado al banco de pruebas para que se pueda leer los DTC y la información en tiempo real.

- Puerto VGA

El cable VGA se conecta al banco de pruebas a través de un puerto de 15 pines que se acoplan al cable de manera perfecta para recibir señales de salida de la ECU hacia los actuadores.

3.2. Equipos

Los equipos empleados en la elaboración del banco de pruebas son los siguientes:

- Multímetro

Este instrumento mide magnitudes eléctricas activas y pasivas, durante el desarrollo del banco de pruebas se empleó varias funciones del equipo para comprobar que las conexiones y los valores de voltaje, intensidad de corriente y resistencias se encuentren comprendidos en rangos óptimos de funcionamiento.

- Osciloscopio

El osciloscopio es un instrumento de visualización de señales eléctricas que varían en el tiempo, en el desarrollo del banco de pruebas se empleó esta herramienta para comprobar y

corroborar los cambios de las señales en función del tiempo, además de verificar que las señales generadas tengan el comportamiento y características deseadas.

- Escáner automotriz

Esta herramienta de diagnóstico tuvo el propósito de estudiar el comportamiento de las señales eléctricas de los diferentes sensores del vehículo y relacionar los valores de voltaje con la equivalencia de las magnitudes físicas que están midiendo.

3.3. Programas

El software empleado para el desarrollo del banco de pruebas se apoyó en los siguientes programas:

- Excel

Excel es una hoja de cálculo enfocada en desarrollo de operaciones matemáticas, gráficos y tablas, gestiona datos numéricos para realizar tareas específicas. Durante el desarrollo del banco de pruebas en este programa se realizó diferentes cálculos matemáticos que modelaron las ecuaciones matemáticas que describían el cambio de voltaje y su relación con el cambio de la magnitud física medida por los sensores. Las ecuaciones obtenidas en este programa describen el modelo matemático de las señales análogas de los sensores del vehículo.

- IDE Arduino

El entorno de desarrollo permite crear el código de programación que ejecutará la tarjeta Arduino, este programa brindó las herramientas necesarias para implementar un código capaz de realizar varias tareas, entre las más importante se encuentra la generación de la señal digital del sensor CKP, lectura de señales análogas y lectura de señales digitales de la unidad de control, la comunicación entre la tarjeta Arduino y el programa LabVIEW, entre otras.

- LabVIEW

LabVIEW es un software que permite desarrollar un programa que imita a un instrumento de medición, en donde se muestra la información que se está leyendo en tiempo real y la posibilidad de manipular las magnitudes eléctricas que se están generando. El programa creado como interfaz con el usuario considera las magnitudes más importantes y muestra al

usuario toda la información sobre los procesos que se están ejecutando en la unidad de control y la emulación de las señales que están ingresando a la ECU.

3.4. Metodología de investigación y desarrollo

El desarrollo del proyecto abarcó varias áreas, una de ellas se basa en cuantificar y reunir una serie de datos y valores correspondientes a las magnitudes físicas y eléctricas que maneja una unidad de control, por lo que la metodología cuantitativa ha permitido obtener modelos matemáticos que describen el comportamiento de las señales de los sensores en el vehículo, a continuación se explica a detalle el procedimiento para obtener ecuaciones que generalizan la conducta de las señales eléctricas que ingresan a la ECU.

3.4.1. Obtención y modelamiento matemático de señales de los sensores del vehículo.

El primer paso fundamental para diseñar el banco de pruebas es identificar y emular el comportamiento de las señales generadas por los sensores de los diferentes sistemas del motor. Por lo que identificar las características de las señales emitidas y realizar un modelamiento matemático son indispensables para crear las señales usando dispositivos similares.

Para realizar la obtención de las señales de cada sensor se ha empleado el osciloscopio integrado del escáner automotriz G-Scan 2, que ha permitido verificar características como amplitud, frecuencia y valores de voltaje comunes. Asimismo, usando los datasheets de cada uno de los sensores del vehículo de pruebas se ha logrado relacionar los valores de voltaje con las magnitudes físicas de cada sensor.

A continuación, se presentan los modelos matemáticos de cada señal perteneciente a los diferentes sensores del vehículo que siguen un patrón común, indistintamente del modelo de unidad de control de motor que se esté estudiando.

3.4.1.1. Sensor CKP.

La señal del sensor de posición del cigüeñal no se encuentra estandarizada para todos los vehículos, por lo que de acuerdo de los diferentes modelos de vehículos existirán varias configuraciones de la señal. La señal que se puede ser de tipo inductivo o Hall, sin embargo, actualmente es común encontrar que la mayoría de los fabricantes han optado por generar una señal cuadrada propia de sensores de efecto Hall, asimismo en la mayoría de los casos se dispone de una rueda dentada de 60 dientes menos 2 para marcar una diferencia entre todos los dientes con la finalidad de indicar una referencia que la ECU considera para iniciar

los procesos de inyección y encendido. Por lo que la señal generada es periódica y muestra 58 pulsos cuadrados y un “gap” de 2 pulsos.

Al realizar la recolección de la señal se evidencio la relación existente entre la frecuencia de la señal y el indicador de revoluciones de motor, por lo que se deduce que existe una relación directa proporcional 1:1, es decir que la cantidad de revoluciones del motor es equivalente a la frecuencia de la señal cuadrada. Esto se resume en la siguiente tabla, ecuación y gráfico.

Tabla.3.1. Datos tabulados de los valores del sensor CKP

Condición de funcionamiento	Revoluciones del motor (RPM)	Frecuencia señal (Hz)
Ralentí	650	650
Aceleración estable	1000	1000
Aceleración estable	2000	2000
Aceleración estable	3000	3000
Aceleración estable	4000	4000
Aceleración estable	5000	5000
Aceleración y corte de inyección	6400	6400

(Morán, 2022.)

Por la relación directa existente entre las revoluciones del motor y los valores de frecuencia de la señal se deduce que la siguiente ecuación describe el comportamiento de la tendencia de la señal

$$y = x$$

Ec. [3.1]

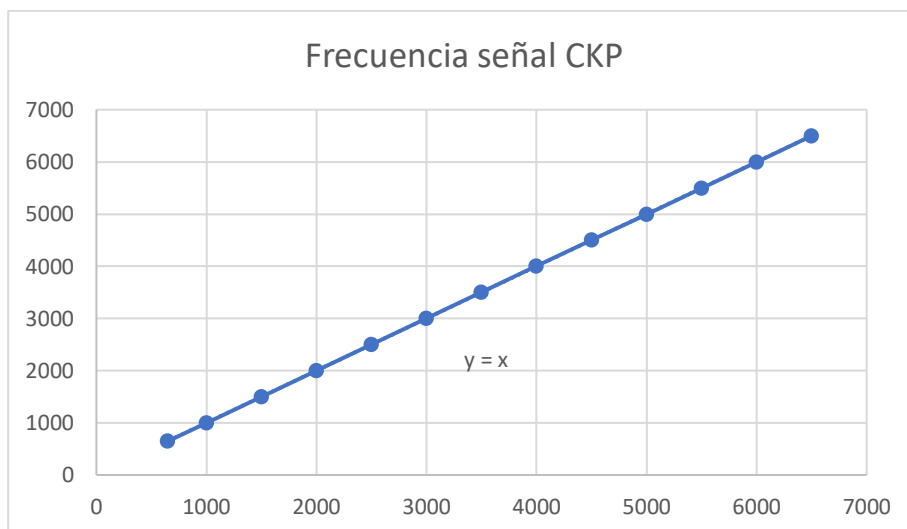


Figura 3.1. Comportamiento señal CKP
Morán, 2022.

3.4.1.2. Sensor CMP.

El caso particular del sensor CMP habré la posibilidad a un sinnúmero de configuraciones de la señal, debido a que cada fabricante optará por diferentes parámetros en su rueda generatriz, lo que hace que se dependa de la cantidad de ventanas de la rueda, grados de desplazamiento entre ranuras, etc. Sin embargo, se puede rescatar ciertas generalidades como que la ventana más grande determina la posición del cilindro 1 en carrera de compresión, la mayoría de sensor CMP son de efecto Hall, tiene una sincronización con la señal CKP para efectuar ciertas tareas como: arranque del motor, activación de actuadores de admisión variable, etc.

Para cada vehículo se recomienda observar la señal del sensor CMP para emular su funcionamiento, también se recomienda identificar el patrón de sincronización con la señal CKP en caso de que sea necesario mantener sincronía entre las señales, otro aspecto importante por señalar es que la frecuencia de la señal es la mitad de la del CKP debido a la relación física entre el giro del cigüeñal y de los árboles de levas 2:1. Para el caso de la unidad de control de pruebas, no dispone de señal CMP, por lo que se omitirá la elaboración de dicha señal, sin embargo para otras ECUs si se recomienda elaborar la señal.

3.4.1.3. Sensor MAP.

La señal analógica que genera este sensor tiene una amplitud comprendida entre 0,79V y 4V, sin embargo, para generalizar el uso de la señal que se generará se ampliará el rango a los siguientes valores: 0,5V – 4,5V. Para encontrar la tendencia de la curva se seleccionaron valores comunes de presión y voltaje de motores atmosféricos, por lo que la relación entre presión y voltaje se muestra a continuación:

Tabla.3.2. Datos tabulados de los valores del sensor MAP

Presión en colector de admisión (KPa)	Voltaje (V)
20	0,79
46,6	1,84
101,3	4

(Morán, 2022.)

La ecuación que describe la tendencia de incremento de presión y voltaje se presenta a continuación:

$$y = 25,327x - 0,0052$$

Ec. [3.2]

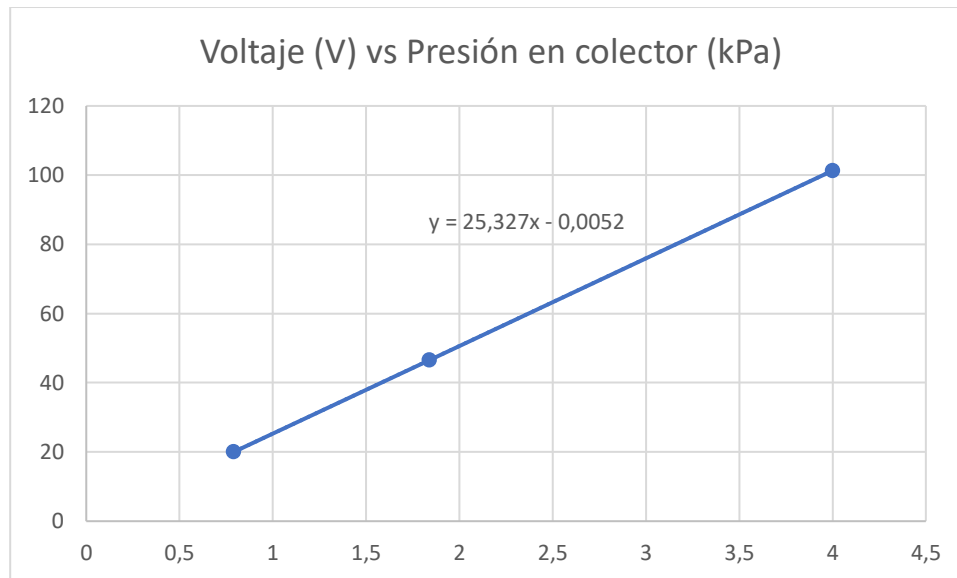


Figura 3.2. Comportamiento señal MAP
Morán, 2022.

La recta obtenida de la tendencia del comportamiento del sensor MAP es ideal, sin embargo, en caso de existir una aceleración brusca y no constante el comportamiento de la señal será arbitrario y oscilante, por lo que para simular esta condición de funcionamiento se hará uso de un potenciómetro que podrá realizar cambios bruscos entre los rangos de voltaje.

3.4.1.4. Sensor MAF.

Para el caso de la señal generada por el sensor MAF posee un comportamiento exponencial, en donde la cantidad de aire admitido por el motor incrementa en función del voltaje necesario para mantener la temperatura del hilo caliente. Por lo que a mayor cantidad de aire ingresado mayor será el voltaje requerido para mantener la temperatura. No obstante, se ha optado linealizar la tendencia de la curva, con la finalidad de evitar modelos matemáticos complejos debido a que tiene una tendencia logarítmica, este fenómeno se describe a continuación con los siguientes datos.

Tabla.3.3. Datos tabulados de los valores del sensor MAF

Masa de aire admitida (kg/h)	Voltaje sensor MAF (V)
0	0,20
7,2	0,70
14,4	1,00
28,8	1,50
54	2,00
108	2,50
180	3,00
288	3,50
396	4,00
540	4,50
630	4,80

(Morán, 2022.)

La siguiente ecuación describe la tendencia del incremento de voltaje en función de la cantidad de aire admitido:

$$y = 39,201x^2 - 62,927x + 25,659$$

Ec. [3.3]

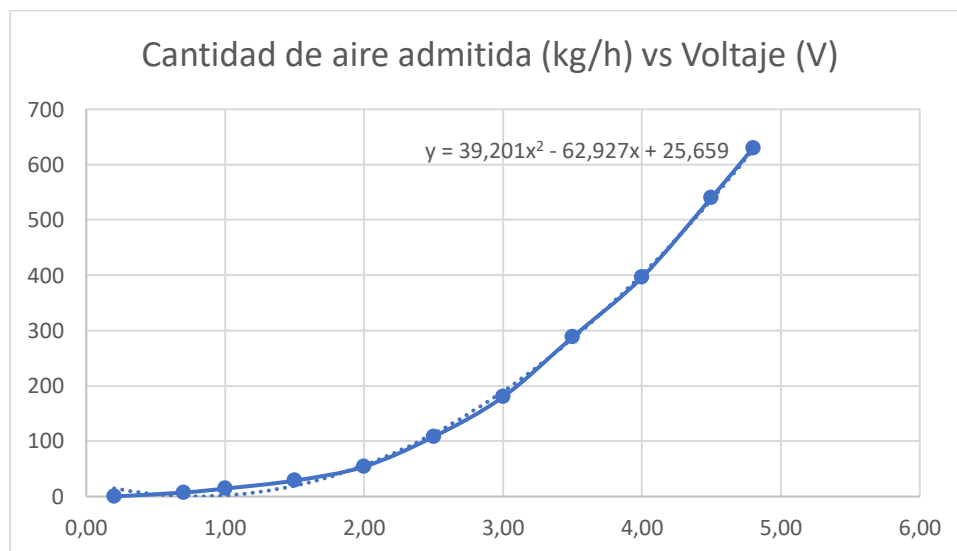


Figura 3.3. Comportamiento señal MAF
Morán, 2022.

Cabe recalcar que es una estimación de la cantidad de aire admitido en relación con el voltaje de salida del sensor MAF, existen factores como la cilindrada unitaria, cantidad de cilindros y sistemas de sobrealimentación que van a afectar a los valores de voltaje del sensor MAF, por lo que para este caso se ha optado por seleccionar un motor 2000 cm³ y un

rendimiento volumétrico del 80%. Los valores de aire admitido varían en función de estos parámetros y de geométrica y construcción del motor, por lo que cada fabricante emitirá una lista de valores de aire admitido en función de las revoluciones del motor.

3.4.1.5. Sensor ECT.

El comportamiento de la señal del sensor ECT esta dictaminado por el principio de funcionamiento de un termistor NTC, por lo que la señal tendrá una curva exponencial en donde los valores resistivos tendrán un cambio abrupto en los primeros grados de temperatura que posteriormente variarán de manera progresiva con el aumento de la temperatura. No obstante, la unidad de control no da lectura a los valores resistivos sino a los valores de voltaje que ingresan, por lo que la configuración típica de este sensor considera el elemento resistivo variable a la temperatura y un circuito divisor de voltaje, considerando lo anteriormente mencionado el comportamiento de esta señal tendrá un rango operativo de voltaje comprendido entre los 0,5V-4,5V y la tendencia de la curva de voltaje será exponencial como se muestra a continuación:

A partir de la ecuación para un divisor de voltaje se ha calculado cada uno de los valores de voltaje de salida del divisor de voltaje

$$V_s = V_0 * \left(\frac{R}{R_i + R} \right)$$

Ec. [3.4]

Donde:

Vs = voltaje de salida del divisor de voltaje

V0 = Voltaje de referencia (5V)

R = Resistencia del termistor

Ri = Resistencia interna de la unidad de control (1kΩ)

Tabla.3.4. Datos tabulados de los valores del sensor ECT

Voltaje de salida (V)	Resistencia termistor (Ω)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
4,53	9516	0
4,26	5728	10
3,90	3555	20
3,47	2268	30
2,98	1483	40
2,49	992	50
2,02	679	60
1,61	475	70
1,26	338	80
0,98	244	90
0,76	180	100

(Morán, 2022.)

La ecuación que describe el comportamiento del sensor ECT y su gráfica se presenta de la siguiente manera:

$$y = -53,02 \ln(x) + 91,905$$

Ec. [3.5]

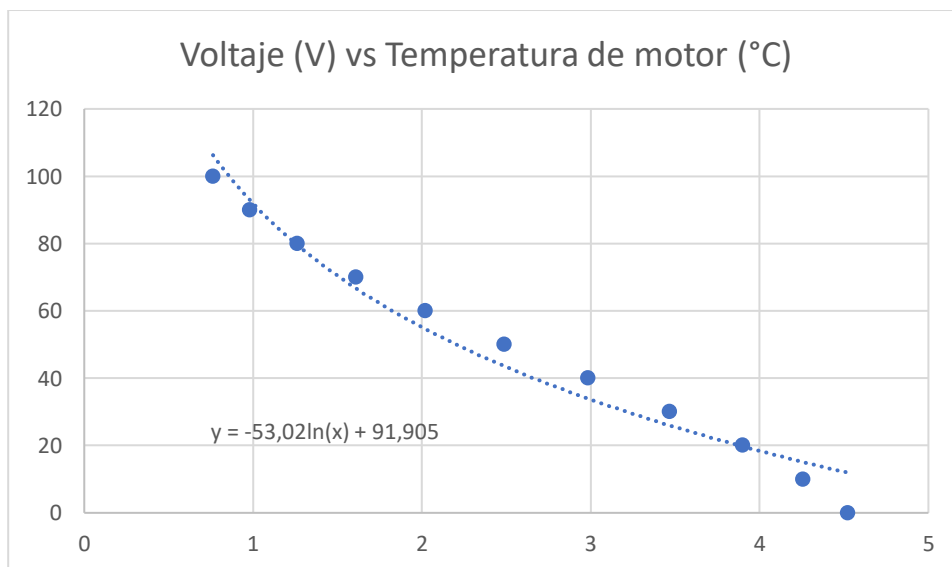


Figura 3.4. Comportamiento señal CKP
Morán, 2022.

La tendencia de la curva describe el comportamiento exponencial del termistor NTC, por lo que los valores de voltaje tendrán un cambio diferenciado en los primeros grados de temperatura, para que en los grados de temperatura mayores el cambio sea mínimo.

3.4.1.6. Sensor IAT.

El sensor IAT sigue la misma tendencia de funcionamiento del sensor ECT aplicando el principio de funcionamiento de un termistor NTC, salvo algunos pequeños cambios en los valores de resistencia que maneja el sensor posee la misma configuración de resistencia variable al cambio de temperatura y un divisor de voltaje interno en la unidad de control. La curva exponencial se mantiene con cambios abruptos en los primeros grados de temperatura que posteriormente serán menos cuando la temperatura haya incrementado. Asimismo, se hizo uso de la ecuación del divisor de voltaje para obtener los valores de voltaje en función de la temperatura de aire de entrada.

Tabla.3.5. Datos tabulados de los valores del sensor IAT

Voltaje de salida (V)	Resistencia del termistor (Ω)	Temperatura de aire de admisión ($^{\circ}\text{C}$)
4,22	5380	0
3,88	3480	10
3,49	2310	20
2,59	1080	40
2,16	760	50
1,75	540	60
1,12	290	80

(Morán, 2022.)

La ecuación y la gráfica que describen el comportamiento de la onda se presenta a continuación

$$y = -24,826x + 105,31$$

Ec. [3.6]

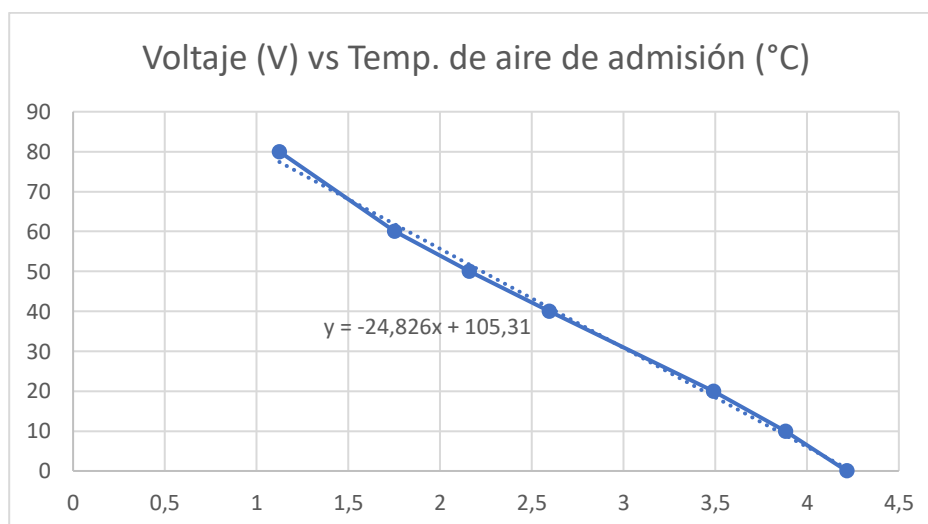


Figura 3.5. Comportamiento señal IAT
Morán, 2022.

La tendencia de la curva exponencial ha sido limitada hasta un valor de 80°C de temperatura de admisión, adquiriendo un comportamiento lineal, el motivo de limitar la curva se debe a que después de 80°C no es físicamente posible que ingrese una masa de aire con mayor temperatura.

3.4.1.7. Sensor TPS.

El sensor TPS es un potenciómetro que varía su resistencia interna en función del recorrido y posición de la pista resistiva, con un voltaje de salida comprendido entre 0V-5V. La señal generada por el sensor TPS no es periódica y depende netamente de la posición de la aleta de aceleración, la cual se expresa en porcentaje de apertura. El sensor generalmente dispone de un único potenciómetro o por varios potenciómetros para obtener redundancia de la señal que se está generado. No obstante, sin importar la cantidad de potenciómetros el principio de funcionamiento es el mismo. A continuación, se presenta los valores de típicos de voltaje correspondientes a los porcentajes de apertura de la aleta de aceleración

Tabla.3.6. Datos tabulados de los valores de los sensores TPS1 y TPS2

Voltaje TPS 1 (V)	Voltaje TPS 2 (redundante) (V)	Porcentaje de apertura de aleta de aceleración (%)
0	5	0
0,48	4,52	10
0,95	4,05	20
1,43	3,57	30
1,9	3,1	40
2,38	2,62	50
2,86	2,14	60
3,33	1,67	70
3,81	1,19	80
4,29	0,71	90
4,76	0,24	100

(Morán, 2022.)

Actualmente los vehículos disponen de 2 TPS que funcionan de manera inversa, mientras uno incrementa su valor resistivo, el otro TPS de redundancia disminuye la resistencia interna, El comportamiento de la señal es lineal y es descrito a través de las siguientes ecuaciones para cada uno de los potenciómetros.

TPS 1

$$y = 21x - 0,0002$$

Ec. [3.7]

TPS 2

$$y = -21x + 105$$

Ec. [3.8]

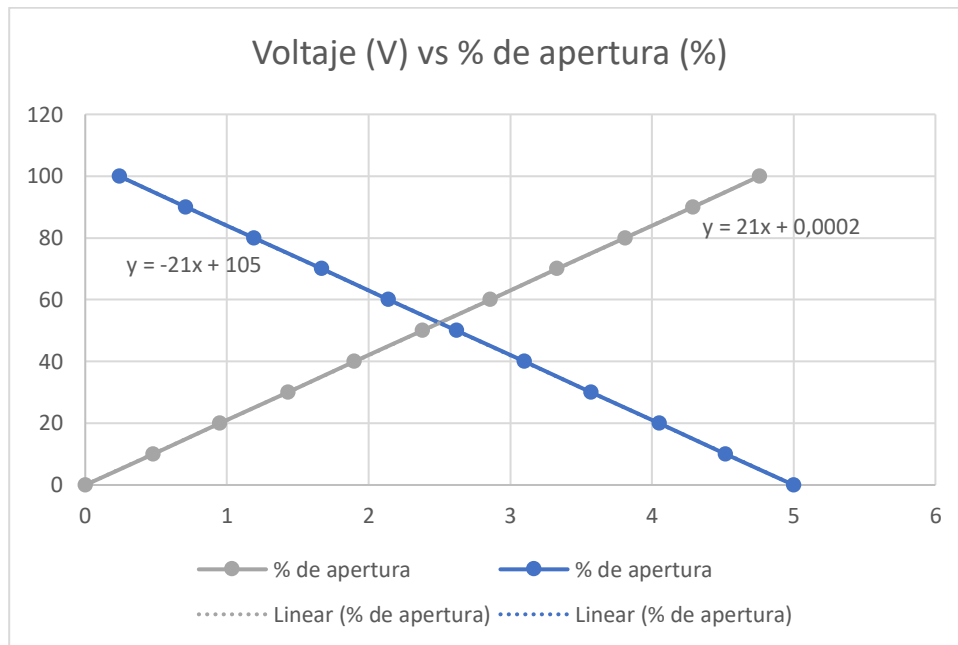


Figura 3.6. Comportamiento señal TPS1 y TPS2
Morán, 2022.

En caso de que la unidad de control que se esté analizando disponga únicamente de una entrada para la señal del sensor TPS se debe seleccionar aquella señal que disminuye su valor resistivo en función del aumento de la apertura de la mariposa de aceleración.

3.4.1.8. Sensor APP.

El funcionamiento del sensor APP es similar al del sensor TPS, es un potenciómetro que es alimentado con un voltaje de referencial de 5V y que a su salida se obtendrá un valor de voltaje variable que dependerá de la posición de la flecha del potenciómetro. En este caso el sensor está acoplado al eje del pedal de aceleración, que desplazará la flecha del potenciómetro cuando el pedal del acelerador sea presionado, el voltaje de salida estará en función del recorrido del pedal. A continuación, se muestra una tabla con los valores convencionales de este sensor.

Tabla.3.7. Datos tabulados de los valores de los sensores APP1 y APP2

Voltaje APP 1 (V)	Voltaje APP 2 (V)	Posición del acelerador (%)
0,7	0,46	Reposo (0%)
4,35	2,18	Totalmente abierto (100%)

(Morán, 2022.)

El sensor APP posee dos potenciómetros APP 1 y APP 2, que permiten tener redundancia de la actividad del movimiento del pedal, tienen diferentes rangos de voltaje por lo que la pendiente de las rectas serán distintas. Sin embargo, para este caso específico se ha optado por seleccionar estos valores pertenecientes a un vehículo Hyundai Tucson IX, no obstante, para cada vehículo se recomienda revisar los rangos de voltaje de funcionamiento.

Las ecuaciones y gráficos que describen el comportamiento de los potenciómetros APP1 y APP2 se muestra a continuación.

APP1

$$y = 27,397x - 19,178$$

Ec. [3.9]

APP2

$$y = 58,14x - 26,744$$

Ec. [3.10]

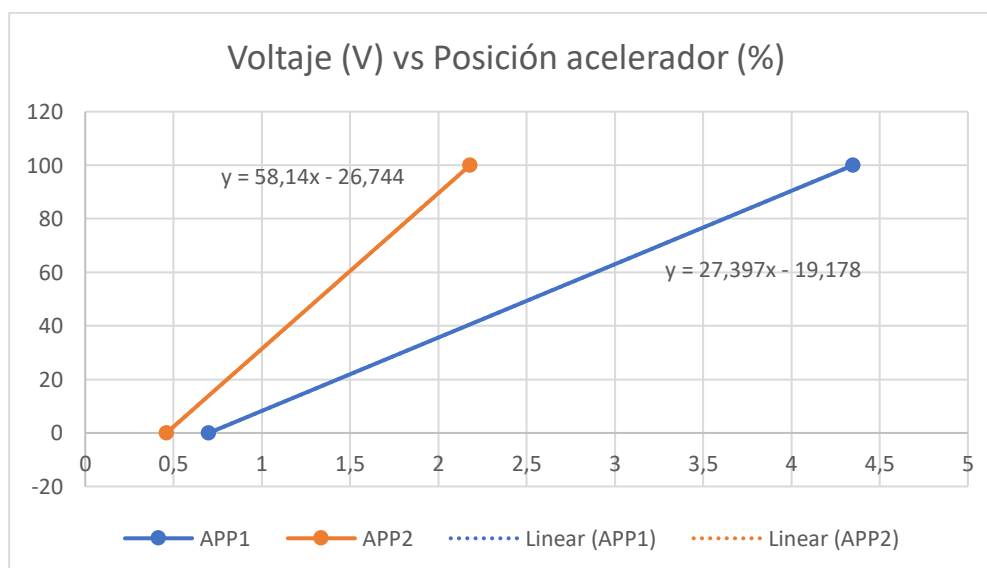


Figura 3.7. Comportamiento señal APP1 y APP2
Morán, 2022.

3.4.1.9. Sensor KS.

Para el caso particular del sensor de detonación se ha optado por no realizar un modelo matemático debido a que la señal que se genera es producto de un fenómeno físico no previsto que puede suscitarse de manera aleatoria y con diferente intensidad, sin embargo, la importancia del sensor en la corrección del avance al encendido hace que se considere en el diseño implementar un sensor KS físico que permita emular la señal que genera al detectar una onda mecánica de presión (detonación).

Cabe recalcar que este sensor es un elemento de retroalimentación que no define el proceso de inyección y ni de encendido, sin embargo, permite corregir anomalías que no se han previsto dentro del proceso de combustión, por lo que se debe entender que el sensor KS no es un sensor primordial y que su intervención es correctiva.

3.4.1.10. Sensor O₂.

La señal generada por el sensor de oxígeno de banda corta es mixta, debido a que durante el ciclo de conducción se experimenta tres condiciones:

- Ralentí y aceleración constante

La onda es cuasi senoidal, como se explicó en el capítulo anterior el sensor continuamente detecta los cambios existentes entre mezcla rica y mezcla pobre, generando así una onda senoidal alternante que varía en un rango de (0,2-0,9) V en condiciones de ralentí y aceleración constante. La onda tratará de ser lo más periódica posible durante el funcionamiento del motor, sin embargo, dependiendo de la velocidad de giro del motor la frecuencia de la señal cambiará, a partir de mediciones se genera la siguiente relación.

Tabla.3.8. Datos tabulados de los valores del sensor O₂

Condición	Velocidad de giro de motor (RPM)	Frecuencia señal (Hz)
Ralentí	700	0,88
Aceleración constante ciudad	2500	1,86
Aceleración constante carretera	4500	2,90

(Morán, 2022.)

Se considera un rango típico de cambio de frecuencia comprendido entre 0,5Hz a 4Hz, para este caso específico se obtuvo la siguiente ecuación y gráfico que describen el cambio de frecuencia con el aumento de revoluciones de giro del motor.

$$y = 0,0005x + 0,5162$$

Ec. [3.11]

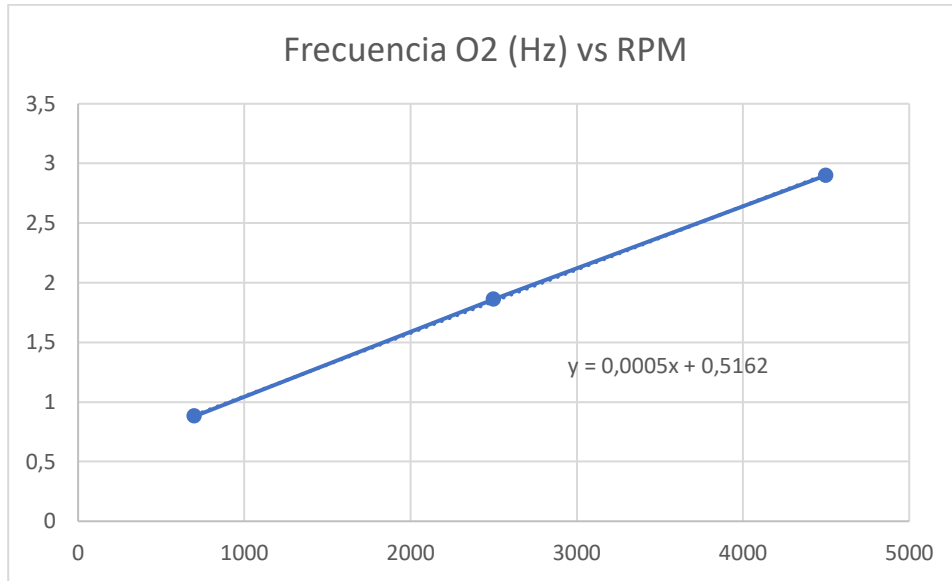


Figura 3.8. Comportamiento señal O₂
Morán, 2022.

- Aceleración súbita

Cuando existe un cambio de condición estable por motivos de incremento de velocidad de giro del motor, el sensor mantiene durante un tiempo determinado una condición de mezcla pobre que se mantiene constante hasta que la misma unidad de control encuentre la nueva condición de funcionamiento y empiece nuevamente la fase de estabilización de la onda.

- Desaceleración

De igual manera al cambiar de la condición estable cuando se desacelera la señal que se genera es inversa a la de aceleración súbita por lo que se mantendrá constante en la condición de mezcla rica durante un tiempo determinado hasta que se establezca nuevamente la condición de funcionamiento.

Al igual que el sensor KS el sensor O₂ es un sensor de retroalimentación que busca mantener la relación estequiométrica de aire combustible en todo régimen de funcionamiento del motor, pero no interviene directamente en la generación de los pulsos de salida para inyectores y bobinas, únicamente es un corrector que permite modificar el pulso de inyección cuando las condiciones del entorno requieran.

Una vez obtenido los modelos matemáticos, tendencias y parámetros de funcionamiento de cada una de las señales de los sensores del motor, se procede a realizar la emulación de cada señal usando la plataforma IDE Arduino. A continuación, se detalla la estructura del programa creado y se explicará su elaboración.

3.5. Programación de la tarjeta Arduino Mega2560 empleando IDE Arduino

El programa se encuentra organizado por bloques, los cuales tienen como misión crear el entorno para que se ejecute todas las tareas que realizará la tarjeta Arduino Mega2560. Por consiguiente, se explicará la elaboración de cada segmento del programa.

3.5.1. Emulación de las señales análogas.

El conjunto de señales obtenidas recrean el comportamiento de los diferentes sensores del vehículo, al ser transductores de los cambios físicos que ocurren durante el funcionamiento del motor está claro que no son señales periódicas, sino que pueden modificar sus valores de voltaje en función de los cambios en el entorno, por lo que se decidió hacer uso de potenciómetros para emular los cambios de voltaje que se suscitan en cada sensor, por lo que los sensores: MAP, MAF, ECT, IAT, TPS y APP tendrán en esencia el mismo principio de funcionamiento que radica en variar la resistencia interna de sus componentes al cambio de las magnitudes físicas que están censando, por consiguiente se empleará la siguiente configuración física:

- Alimentación de voltaje referencial

Los potenciómetros al igual que los sensores requieren de un voltaje de referencia, en este caso la tensión empleada es de 5V y es proveniente de la salida de 5V de la tarjeta de Arduino. Por lo que los potenciómetros estarán conectados en paralelo a este pin de alimentación. Por otro lado, cada potenciómetro deberá estar puesto a tierra a través de la patilla opuesta a la patilla de alimentación debido a que si no se cierra el circuito no existirá la referencia para medir el cambio suscitado en la salida del potenciómetro.

- Salida de señal a la unidad de control

La patilla central del potenciómetro conduce la variación de voltaje producto del cambio de posición de la flecha del elemento a través de la pista resistiva interna. La tensión obtenida es enviada directamente a los pines de entrada de cada sensor de la unidad de control, esta se encargará de realizar el filtrado de la señal para que posterior a esto sea digitalizada, por

lo que se requiere que exista una conexión física entre el potenciómetro y el pin de entrada de cada sensor.

- Lectura de la señal e interpretación de la magnitud física

La señal de salida de cada potenciómetro también es enviada a la tarjeta Arduino a través de los diferentes pines de entrada analógica que posee dicho elemento, la finalidad de este paso es dar lectura a los valores de voltaje para que sean enviados a través de comunicación serial a una laptop o computadora que posea LabVIEW la cual dará interpretación a cada valor de voltaje como magnitudes físicas.

Luego de haber explicado cómo se emularán las señales análogas el código del programa deberá definir el tipo de dato que se va a leer, los pines que se utilizarán de la tarjeta, integrar funciones de lectura de voltajes análogos y de envío de información. Por lo que el código que se muestra a continuación cumple con estos parámetros definidos.

Tipo de dato que se va a leer

```
//Constantes de los potenciómetros//
int ECT;
int IAT;
int MAP;
int MAF;
int TPS1;
int TPS2;
int APP1;
int APP2;
```

Figura 3.9. Definición del tipo de dato en el código de programación
Morán, 2022.

Asignación de pines de lectura de voltajes

```
//Función lectura de potenciómetros//

void leer_potenciómetro () {

ECT = analogRead(A0);
IAT = analogRead(A1);
MAP = analogRead(A2);
MAF = analogRead(A3);
TPS1 = analogRead(A4);
TPS2 = analogRead(A5);
APP1 = analogRead(A6);
APP2 = analogRead(A7);
}
```

Figura 3.10. Asignación de pines utilizables en la tarjeta Arduino
Morán, 2022.

Es necesario recalcar que las señales no son producidas en la tarjeta Arduino, únicamente se da lectura de los valores de voltaje para que sean enviados al programa LabVIEW que se encargará de realizar la conversión de tensión a magnitud física medible.

3.5.2. Emulación señal inductiva CKP.

Algunos vehículos incorporan sensores inductivos como generadores de pulsos en el cigüeñal y árbol de levas, la señal generada es una semi sinusoidal alterna, es decir posee valores de voltaje positivos y negativos y la amplitud (voltaje) varía en función de la velocidad de giro, por lo que el rango operativo estará comprendido entre (0,4-2,5) VAC.

Generar una onda alterna es un proceso complejo que implica el uso transistores y circuitos integrados específicos, sin embargo, la onda obtenida no logra mimetizar el “gap” de los dientes faltantes de la rueda fónica, por lo que no es factible usar este proceso de creación de ondas sinusoidales alternas, las únicas opciones viables son la obtención de un módulo generador de señales inductivas con varios mapas guardados o generar las señales de acuerdo a las necesidades requeridas a través de un programa de audio. Por lo que se ha optado por realizar un circuito eléctrico auxiliar que permita generar la señal inductiva.

El circuito está conformado de la siguiente manera:

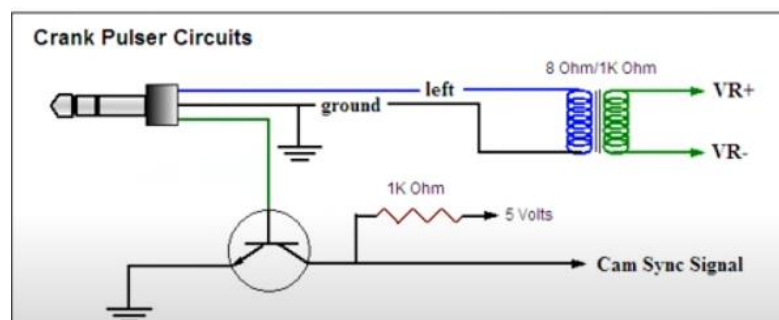


Figura 3.11. Circuito reproductor de señal CKP inductiva
Gutiérrez, 2021.

Dispone de un conector macho para audio, un transformador AC/AC 110V a 12V, una tarjeta de audio para evitar quemar la tarjeta integrada de una computadora y en caso de que se quiera realizar una señal inductiva de CMP también se debe hacer uso de un transistor NPN para generar la señal, para este caso únicamente se debe prestar atención al diagrama expuesto para la señal CKP.

Este circuito no es un generador de señales inductivas ya que no cuenta con un microprocesador o circuito integrado, únicamente es un reproductor de señales CKP pregrabadas que se ejecutan desde una laptop o computadora de escritorio. La señal

inductiva de los sensores CKP de los diferentes modelos son diferentes y pueden ser obtenidas al conectar esta dispositivo a la salida de los terminales de los sensores CKP inductivos de cada vehículo, otra opción es utilizar un software llamada “DAQARTA” que es un editor de señales de audio, la ventaja de este programa es que existe una sección dedicada a la generación de señales periódicas de frecuencia regulable se puede utilizar este apartado para generar las señales de CKP inductivo. Hay que recalcar que las señales de audio son señales análogas alternas por lo que su parecido a las señales emitidas por los sensores inductivos es bastante similar. A continuación, se muestra la interfaz del programa y la onda generada como prueba en caso de que se requiera probar ECU de vehículos que usen señales CKP inductivas.

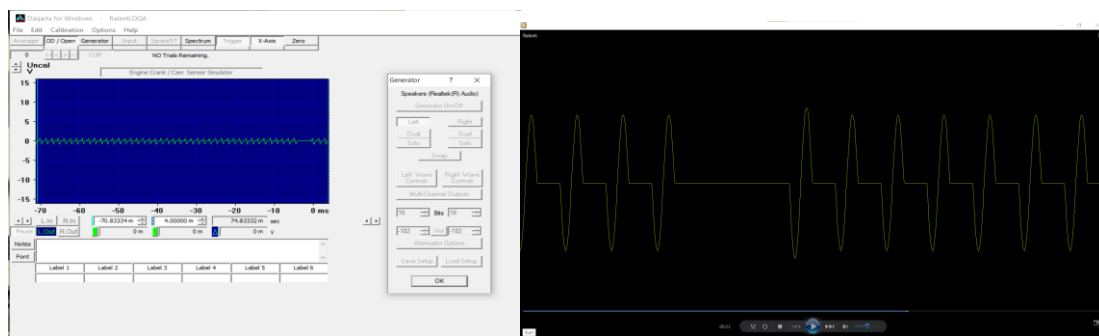


Figura 3.12. Señal CKP inductiva generada en el programa DAQARTA
Morán, 2022.

El programa puede variar en tiempo real la frecuencia de la señal que se genera, aunque también cuenta con la posibilidad de guardar archivos pregrabados que pueden reproducirse con el reproductor de Windows en caso de no disponer del programa, por lo que se amplía en gran magnitud la aplicación y la generación de señales inductivas.

3.5.3. Emulación señal digital CKP tipo Hall.

Para lograr mimetizar la señal del sensor CKP se realizó un proceso distinto que engloba las funciones del microprocesador seleccionado de la tarjeta Arduino. La señal del sensor es periódica, luego de pasar 58 pulsos cuadrados existe un espacio de 2 dientes faltantes que generan un “gap” de la señal que indica el fin de un ciclo, tras analizar que la señal mantiene esta estructura y que únicamente varía su frecuencia en función del incremento de la velocidad de giro del motor se estableció que para generar esta señal digital se requiere usar un timer que posee el microprocesador Atmega2560.

El Arduino Mega 2560 cuenta con una serie de timers de 8 bits y 16 bits, para emular la señal se optó por hacer uso del timer 3 de 16 bits debido a la disponibilidad de pines digitales que se usarán para modificar la frecuencia de la señal.

El proceso de síntesis de la señal comienza con la identificación del registro de control del timer que se va a usar, para este caso en específico se empleara el timer 3 de 16 bits. El registro es una serie de bits (0-1) que de acuerdo a la posición y estado (0-1) declaran una acción o configuración específica que realizará el timer o contador, la información sobre el registro se encuentra en el manual de configuración y presenta todas las configuraciones posibles de los registros con sus respectivas funciones.

17.11.2 TCCR3A – Timer/Counter 3 Control Register A

Bit (0x90)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM3A1	COM3A0	COM3B1	COM3B0	COM3C1	COM3C0	WGM31	WGM30	TCCR3A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 3.13. Registro TCCR3A del timer 3
Atmel, 2019.

Como se aprecia el registro de control posee 8 posiciones que se numeran de izquierda a derecha de manera descendente desde el número 7 hasta el 0, cada posición configura un modo de operación del contador, los valores de cada posición se encuentran en tablas que describen la operación que desempeñaran si adquieren un valor específico. A continuación, se explica y muestra las tablas que indican la configuración seleccionada en el modo de operación, el preescalador del contador y las interrupciones.

Modo de operación del timer (TCCR3A)

El modo de operación describe el comportamiento que tendrá la señal a la salida del timer, por lo que la diferente combinación de bits determinará si la señal adquiere un comportamiento normal como generador de señal cuadrada, un generador de PWM o un PWM de frecuencia y fase correcta.

Para este caso se ha optado por utilizar el modo fase correcta PWM que brinda la posibilidad de que el timer cuente repetidamente desde la referencia o “bottom” hasta el número determinado por un indicador o “flag” que determina el “top” para que después el conteo se lo haga de manera inversa es decir desde el top hasta el bottom, esto forma una señal triangular.

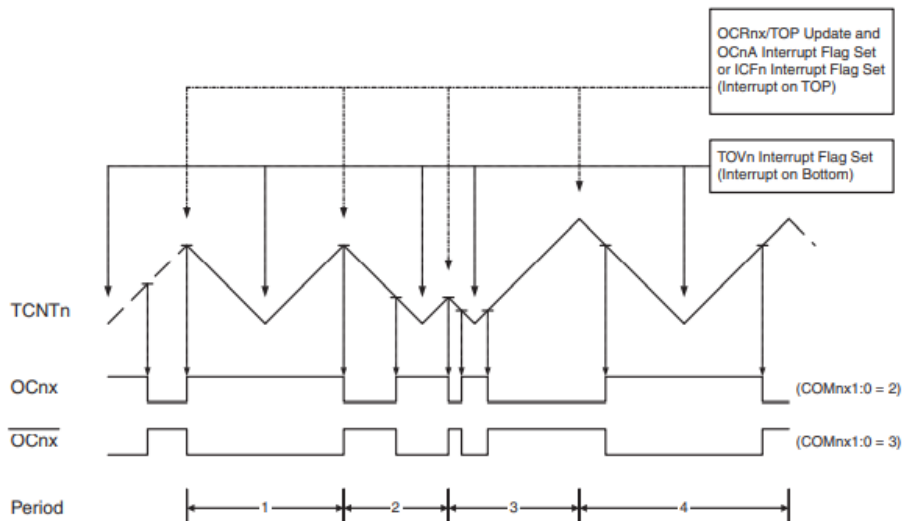


Figura 3.14. Modo de operación PWM fase y frecuencia correcta del timer 3
Atmel, 2019.

La frecuencia de la señal puede modificarse gracias al indicador de desbordamiento del timer, que se configura a través de OCRnA que define el valor de “top”, cuando se cambia el valor de “top” se realiza una comparación entre el nuevo valor y el anterior para que se modifique el periodo de la señal triangular generada, lo que hará que se modifique el ancho de pulso de la señal cuadrada debido al cambio de la pendiente de la señal triangular.

El tipo de generador de señal se lo selecciona a través del registro WGMn3 que indica el modo de operación de la señal, a continuación, se muestra los diferentes modos de operación existentes y se señala el seleccionado para crear la señal CKP.

Table 17-2. Waveform Generation Mode Bit Description⁽¹⁾

Mode	WGMn3	WGMn2 (CTCn)	WGMn1 (PWMn1)	WGMn0 (PWMn0)	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCRnx at	TOVn Flag Set on
0	0	0	0	0	Normal	0xFFFF	Immediate	MAX
1	0	0	0	1	PWM, Phase Correct, 8-bit	0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PWM, Phase Correct, 9-bit	0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PWM, Phase Correct, 10-bit	0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC	OCRnA	Immediate	MAX
5	0	1	0	1	Fast PWM, 8-bit	0x00FF	BOTTOM	TOP
6	0	1	1	0	Fast PWM, 9-bit	0x01FF	BOTTOM	TOP
7	0	1	1	1	Fast PWM, 10-bit	0x03FF	BOTTOM	TOP
8	1	0	0	0	PWM, Phase and Frequency Correct	ICRn	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PWM, Phase and Frequency Correct	OCRnA	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PWM, Phase Correct	ICRn	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PWM, Phase Correct	OCRnA	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC	ICRn	Immediate	MAX
13	1	1	0	1	(Reserved)	--	--	--
14	1	1	1	0	Fast PWM	ICRn1	BOTTOM	TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM	OCRnA	BOTTOM	TOP

Note: 1. The CTCn and PWMn1:0 bit definition names are obsolete. Use the WGMn2:0 definitions. However, the functionality and location of these bits are compatible with previous versions of the timer.
For detailed timing information refer to “Timer/Counter Timing Diagrams” on page 152.

Figura 3.15. Configuración del Bit del registro para el timer 3
Atmel, 2019.

Para determinar la frecuencia de la señal PWM que se va a generar se emplea la siguiente ecuación:

$$f_{OCnxPCPWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \cdot N \cdot TOP}$$

Ec. [3.12]

Donde:

F clk: frecuencia del timer (16 MHz)

N: Número del preescalador (1,8,64,256,1024)

TOP: Número del “top” (0-65535)

Posterior a la selección del modo de operación, es necesario definir el modo de comparación de la señal PWM y el tipo de interrupción para variar la frecuencia cuando exista el cambio del valor “top” por lo que los siguientes valores del registro de control corresponden a estas dos variables.

El tipo de interrupción se da gracias al canal OCR1A correspondiente a modo 11 del modo de operación del timer, El OCR1A permite cambiar el límite del contador superior limitando la duración de cada ciclo, mientras que el tipo de interrupción seleccionada es de tipo “Toggle” que permite alternar puntos de interrupción, es decir que la señal generada pase de estado pasivo a activo y viceversa lo que crea la señal cuadrada característica. A continuación, se muestra las tablas con los diferentes bits para configurar cada modo en función de la elección del modo de operación.

Table 17-3. Compare Output Mode, non-PWM

COMnA1 COMnB1 COMnC1	COMnA0 COMnB0 COMnC0	Description
0	0	Normal port operation, OCnA/OCnB/OCnC disconnected
0	1	Toggle OCnA/OCnB/OCnC on compare match
1	0	Clear OCnA/OCnB/OCnC on compare match (set output to low level)
1	1	Set OCnA/OCnB/OCnC on compare match (set output to high level)

Table 17-4. Compare Output Mode, Fast PWM

COMnA1 COMnB1 COMnC1	COMnA0 COMnB0 COMnC0	Description
0	0	Normal port operation, OCnA/OCnB/OCnC disconnected
0	1	WGM13:0 = 14 or 15: Toggle OC1A on Compare Match, OC1B and OC1C disconnected (normal port operation). For all other WGM1 settings, normal port operation, OC1A/OC1B/OC1C disconnected
1	0	Clear OCnA/OCnB/OCnC on compare match, set OCnA/OCnB/OCnC at BOTTOM (non-inverting mode)
1	1	Set OCnA/OCnB/OCnC on compare match, clear OCnA/OCnB/OCnC at BOTTOM (inverting mode)

Table 17-5. Compare Output Mode, Phase Correct and Phase and Frequency Correct PWM

COMnA1 COMnB1 COMnC1	COMnA0 COMnB0 COMnC0	Description
0	0	Normal port operation, OCnA/OCnB/OCnC disconnected
0	1	WGM13:0 = 9 or 11: Toggle OC1A on Compare Match, OC1B and OC1C disconnected (normal port operation). For all other WGM1 settings, normal port operation, OC1A/OC1B/OC1C disconnected
1	0	Clear OCnA/OCnB/OCnC on compare match when up-counting Set OCnA/OCnB/OCnC on compare match when downcounting
1	1	Set OCnA/OCnB/OCnC on compare match when up-counting Clear OCnA/OCnB/OCnC on compare match when downcounting

Figura 3.16. Configuración del modo de operación y sus canales en el timer 3
Atmel, 2019.

Preescalador de la señal generada (TCCR3B)

Un preescalador es la velocidad del microprocesador dividida para un número que sea producto de una potencia de 2 (1,8,64,256 y 1024). El motivo de usar preescaladores es limitar la frecuencia de trabajo del microprocesador. Por ejemplo, si la frecuencia del timer es de 16 MHz y se usa un preescalador de 8 la velocidad del timer será ahora de 2 MHz. Para el caso de la señal CKP donde la frecuencia es equivalente al número de revoluciones del motor, no se requiere del uso de un preescalador, por lo que la configuración se realiza de la siguiente manera:

17.11.6 TCCR3B – Timer/Counter 3 Control Register B

Bit (0x91)	7	6	5	4	3	2	1	0	TCCR3B
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Table 17-6. Clock Select Bit Description

CSn2	CSn1	CSn0	Description
0	0	0	No clock source. (Timer/Counter stopped)
0	0	1	clk _{IO} /1 (No prescaling)
0	1	0	clk _{IO} /8 (From prescaler)
0	1	1	clk _{IO} /64 (From prescaler)
1	0	0	clk _{IO} /256 (From prescaler)
1	0	1	clk _{IO} /1024 (From prescaler)
1	1	0	External clock source on Tn pin. Clock on falling edge
1	1	1	External clock source on Tn pin. Clock on rising edge

If external pin modes are used for the Timer/Counter, transitions on the Tn pin will clock the counter even if the pin is configured as an output. This feature allows software control of the counting.

Figura 3.17. Configuración del registro TCCR3B y preescalador del timer 3 Atmel, 2019.

Activación del canal OC3A para comparación (TCCR3C)

Para variar la frecuencia de la señal se requiere usar un elemento externo que envíe una señal de interrupción que detenga la ejecución del “loop” o lazo del programa para efectuar una nueva acción. Por lo que se optó emplear un encoder que puede disminuir o aumentar la frecuencia y seleccionar la cantidad de múltiplos que se van a manejar al variar la frecuencia.

La tarjeta Arduino posee puertos de entrada específicos que recibe señales que producirán una interrupción en el proceso de conteo en el timer, cuando se recepa una señal de interrupción se produce una comparación entre el valor anterior y el valor nuevo, por lo que el canal OC3A correspondiente al pin digital 5 será empleado como disparador para la interrupción del programa. Para configurar el registro es necesario mantener las sugerencias del fabricante y únicamente activar el canal OC3A.

17.11.10 TCCR3C – Timer/Counter 3 Control Register C

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x92)	FOC3A	FOC3B	FOC3C	–	–	–	–	–	TCCR3C
Read/Write	W	W	W	R	R	R	R	R	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	



Figura 3.18. Configuración del registro TCCR3C y asignación de pin de escritura del timer 3 Atmel, 2019.

Activación de la interrupción de comparación (TIMSK3)

Este registro de ocho bits define la cantidad de interrupciones que se desean mantener activas en el contador, en este caso la interrupción que se requiere mantener es OCR1A que define la activación o no del cambio de frecuencia de la señal. Cada bit representa el tipo de interrupción existente que puede mantenerse activa, el bit 1 correspondiente a OCIE3A debe ser activado en el registro.

17.11.34 TIMSK3 – Timer/Counter 3 Interrupt Mask Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x71)	–	–	ICIE3	–	OCIE3C	OCIE3B	OCIE3A	TOIE3	TIMSK3
Read/Write	R	R	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- **Bit 1 – OCIE3A: Timer/Counter, Output Compare A Match Interrupt Enable**

When this bit is written to one, and the I-flag in the Status Register is set (interrupts globally enabled), the Timer/Counter Output Compare A Match interrupt is enabled. The corresponding Interrupt Vector (see “Interrupts” on page 101) is executed when the OCFnA Flag, located in TIFRn, is set.

Figura 3.19. Configuración del registro TIMSK3 para generar interrupción en timer 3
Atmel, 2019.

A continuación, se muestra la configuración de los registros asignados al timer 3 del microprocesador atmega2560 en el código del IDE de Arduino.

```
//CONFIGURACION DEL TIMER 3 16BITS
TCCR3A=0B01000001;//Modo PWM CORRECT,Modo Toggle OCR1A
TCCR3B=0B00010001;//Preescalador de 1
TCCR3C=0B10000000;// Activo el canal OC3A Comparación
TIMSK3=0B00000010; //Activo la interrupcion de comp A
```

Figura 3.20. Programación del timer 3 en IDE Arduino
Morán, 2022.

3.5.4. Configuración de interrupción para lectura del tiempo de inyección.

Para dar lectura del tiempo de inyección es necesario emplear otro timer de la placa Arduino, la señal producida por la activación del inyector es una señal que tiene una duración en la magnitud de milisegundos, en la que se conmuta a tierra y la señal cae de 12V a 0V durante un periodo, posterior a esto vuelve a su estado normal, por lo que contabilizar el tiempo que permaneció la señal conmutada es de interés para analizar el comportamiento de la inyección.

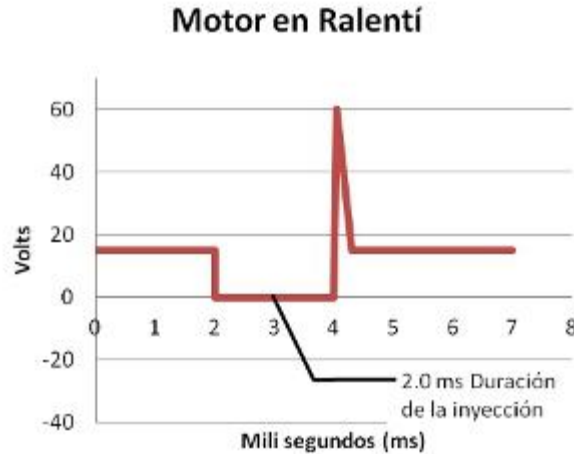


Figura 3.21. Pulso de inyección característico en motor a gasolina E-auto, s.f.

El principio electrónico para dar lectura de la señal se basa en observar el cambio de estado de la señal, es decir el fenómeno que ocurre cuando pase del estado de reposo al estado de activación y vuelve al estado de reposo, mientras ocurre el cambio de estado el cristal oscilador del Arduino empieza a contar hasta que la señal vuelve a su estado de reposo. El Arduino permite que se cuente el tiempo que permanece la señal activada a través de interrupciones programadas en el programa IDE Arduino, en donde se utiliza los niveles lógicos para determinar si se trata de un 0 o 1 lógico a través del voltaje, cuando se detecta un nivel lógico la interrupción da paso para que inicie y termine de contar el cristal oscilador del Mega2560, posterior a esto se obtendrá un valor contado por el oscilador, este valor se lo emplea para conocer el periodo de la señal y también de acuerdo al modo que usa el Arduino se procede a obtener una ecuación matemática que permite calcular la frecuencia de la señal.

Una vez explicado el principio de cómo trabaja el oscilador del Arduino se procede a indicar la configuración elegida que realizará dicha acción, para eso es necesario establecer el modo de operación, el prescalador, y asignar el pin de salida de la señal, por lo que de acuerdo con lo establecido en los registros se procede a generar el código de bits para cada registro.

17.11.4 TCCR5A – Timer/Counter 5 Control Register A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x120)	TCCR5A								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- Bit 7:6 – COMnA1:0: Compare Output Mode for Channel A
- Bit 5:4 – COMnB1:0: Compare Output Mode for Channel B
- Bit 3:2 – COMnC1:0: Compare Output Mode for Channel C

Figura 3.22. Configuración del registro TCCR5A del timer 5
Atmel, 2019.

El modo de operación seleccionado es normal, que consiste en realizar un conteo de acuerdo al valor máximo del timer de 16 bits, en el que el conteo comienza desde 0 hasta su valor máximo para luego volver a empezar el conteo, sin embargo, este modo es modulado para que el timer cuente hasta un valor establecido por una interrupción, que puede ser por una señal de input que interrumpa el evento y permita que se determine el valor contado para asignarle un tiempo de funcionamiento. Para este caso el registro TCCR5A mantiene todos sus valores en 0, ya que esta configuración permite que el timer inicie el conteo por una señal de activación y termine el proceso por una señal de interrupción determinada por un cambio de estado en la señal que está midiendo.

17.11.8 TCCR5B – Timer/Counter 5 Control Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x121)	TCCR5B								
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 3.23. Configuración del registro TCCR5B del timer 5
Atmel, 2019.

El registro del TCCR5B configura el prescalador del reloj, para esto a la señal se le multiplica por una base binaria (2^n), este proceso se realiza debido a que la velocidad del cristal es de 16 MHz y de acuerdo a la aplicación se requiere disminuir la velocidad de conteo, por lo que el prescalador amortigua el tiempo que demora en realizar un conteo el timer. En este caso no se requiere de un prescalador ya que este influye en la respuesta de la percepción que tiene el timer cuando existe un cambio en la señal de disparo de inyectores lo que daría una lectura distorsionada. De igual manera al no requerir de un escalador se establece el registro con sus valores en 0.

17.11.12 TCCR5C – Timer/Counter 5 Control Register C

Bit (0x122)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	FOCSA	FOCSB	FOC3C	-	-	-	-	-	TCCR5C
Read/Write	W	W	W	R	R	R	R	R	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- Bit 7 – FOCnA: Force Output Compare for Channel A
- Bit 6 – FOCnB: Force Output Compare for Channel B
- Bit 5 – FOCnC: Force Output Compare for Channel C

Figura 3.24. Configuración del registro TCCR5C del timer 5
Atmel, 2019.

Con lo que respecta al último registro, este puede ser configurado para que la señal del timer sea proyectada a través de una salida, es decir asignar un pin del Arduino para obtener la señal del trabajo del reloj, sin embargo, en este caso no se requiere de esta señal ya que el mismo Mega2560 se encarga de proyectar el valor de la señal en la pantalla LCD, por este motivo de igual manera el registro debe ser configurado con sus valores en 0.

```
///CONFIGURACION DEL TIMER  
TCCR5A=0B00000000;///Modo Normal, Modo Normal  
TCCR5B=0B00000000;///Prescalador 0 (No Source)  
TCCR5C=0B00000000;///(Ninguna Señal)
```

Figura 3.25. Programación del timer 5 en IDE Arduino
Morán, 2022.

El resultado de la configuración del timer 5 que está destinado a dar lectura del tiempo de inyección queda de la siguiente manera, donde todos los registros se configuran con valores de 0 para que actúen de tal manera que únicamente cuente el reloj por interrupciones.

3.5.5. Emulación señal O2.

La señal perteneciente al sensor de oxígeno es de carácter periódico en condiciones estables, como ya se explicó en el anterior capítulo la ECU recibe una señal sinusoidal comprendida entre 0,1V-0,9V de amplitud y con una frecuencia de 2Hz a 4 Hz, si el vehículo se encuentra en condiciones de aceleración o desaceleración esta señal deja de ser periódica y se convierte en constante por unos segundos hasta que se vuelva alcanzar una condición de estabilidad en el régimen de funcionamiento del motor, debido al principio de funcionamiento anteriormente descrito se puede hacer uso de un generador de señales sinusoidales disponible en el mercado, debido a su facilidad para ajustar a diferentes condiciones, hay que considerar que su aplicación es limitada ya que únicamente puede emular condiciones de estabilidad, en caso de que se requiera evaluar en situaciones fuera del loop que se genera en la retroalimentación que recibe la ECU de la formación de la mezcla, además para evaluar el pulso de inyección primario no se requiere esencialmente de

este sensor, debido a que es un sensor de retroalimentación y no es un sensor fundamental que interfiera directamente en los parámetros primarios de inyección.

A partir de lo anteriormente explicado se adquirió en el mercado el generador de señales eléctricas XR2206 un circuito integrado capaz de emitir señales de ondas sinusoidales, cuadradas y triangulares, con la ventaja de modular la frecuencia y la amplitud de las ondas, las características más relevantes de funcionamiento de este dispositivo son: Voltaje de salida de la señal (0-5V), frecuencia de operación (1Hz-0,5MHz). Al considerar las condiciones que se requieren para emular el sensor de oxígeno y las prestaciones del XR2206 se determina que este elemento cumple satisfactoriamente lo requerido, por lo que será empleado como módulo auxiliar en el banco de pruebas si se requiere obligatoriamente enviar los datos de la señal del sensor de oxígeno. Este módulo es válido únicamente cuando se requiere emular señales de sensores de banda corta o convencionales, en caso de requerir la señal de un sensor de banda ancha se requiere buscar otra alternativa para obtener la señal deseada.



Figura 3.26. Módulo XR2206 generador de señales sinusoidales
Morán, 2022.

3.5.6. Comunicación Arduino LabVIEW.

Para lograr dar lectura a los datos que se envían a la ECU en tiempo real, es necesario implementar una función de comunicación serial en el Arduino, el IDE de Arduino posee un monitor capaz de mostrar datos de las variables que se declaran en el código de programación, sin embargo, si se desea dar una interpretación a los números que se muestran es necesario utilizar un programa capaz de proyectar esta información en indicadores virtuales que se despliegan como una interfaz con el usuario. Por este motivo se requiere usar el programa LabVIEW, a breves rasgos el proceso de comunicación serial comienza con la lectura de los elementos emuladores de las señales como los potenciómetros, el timer del Arduino y otros elementos externos como señales adicionales (Ks, O2), esta información

leída por el Arduino a través de sus entradas físicas es enviada a través de bytes por un cable USB que ingresa a una laptop, la información enviada en bytes es recibida por el puerto de comunicación (COM) del computador, por el otro lado el programa LabVIEW hace uso de esta información que es recibida por el puerto COM del computador para procesar los datos y mostrar al usuario en una interfaz visual toda la información en tiempo real que se está enviando a la ECU. Por lo que el proceso se resume en el siguiente diagrama:

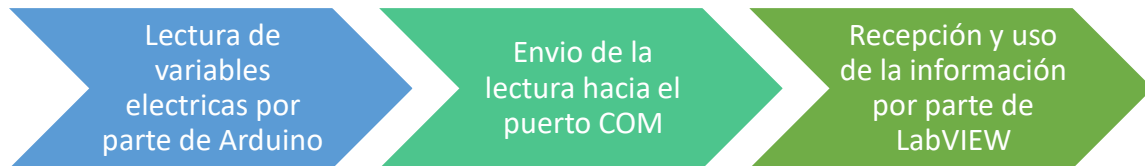


Figura 3.27. Esquema general de comunicación Serial Arduino-LabVIEW
Morán, 2022.

Una vez entendido el proceso de envío y recepción de información se procede a explicar de manera más detallada a través de la construcción del código de programación en los programas Arduino y LabVIEW.

3.6. Comunicación serial para transmitir datos desde Arduino a LabVIEW

El proceso de comunicación comienza con la declaración de las variables que se van a leer, en este caso se dará lectura de los valores de voltaje de los potenciómetros que emularan las señales de los sensores ECT, IAT, TPS, etc. Al declarar las variables que se leerán hay que especificar que se trata de una variable “unsigned integer de 8 bits” es decir que no tiene signo matemático debido a que se entiende que únicamente se trabajara con un voltaje DC que pertenece al del grupo de los números enteros y que variara entre (0-5) V. Debido a que el dato del voltaje está dentro del rango anteriormente descrito la resolución analógica es de 10 bits, pero este tipo de variables únicamente aceptan datos de 8 bits, por lo que se requiere fragmentar a la información que ingresa por la entrada analógica de la tarjeta Arduino, en dos datos: Valor análogo alto y valor análogo bajo, con esto los 10 bits deben necesariamente segmentarse en 8 bits y usar 2 bits únicamente del siguiente dato, para enviar estos datos al puerto de comunicación serial y que el otro programa se encargue de volver a unir estos bits en un solo dato que dará el valor de lectura del potenciómetro. A continuación, se muestra el código que detalla lo anteriormente descrito:

```

27 // Constante de los potenciómetros //
28
29 unsigned int ECT;
30 uint8_t ECT_low;
31 uint8_t ECT_high;
32
33 unsigned int IAT;
34 uint8_t IAT_low;
35 uint8_t IAT_high;
36
37 unsigned int MAP;
38 uint8_t MAP_low;
39 uint8_t MAP_high;
40
41 unsigned int MAF;
42 uint8_t MAF_low;
43 uint8_t MAF_high;
44
45 unsigned int TPS1;
46 uint8_t TPS1_low;
47 uint8_t TPS1_high;
48
49 unsigned int TPS2;
50 uint8_t TPS2_low;
51 uint8_t TPS2_high;
52
53 unsigned int APP1;
54 uint8_t APP1_low;
55 uint8_t APP1_high;
56
57 unsigned int APP2;
58 uint8_t APP2_low;
59 uint8_t APP2_high;
60

```

Figura 3.28. Programación de envío de datos en IDE Arduino Morán, 2022.

Posterior a la declaración de las variables se procede a iniciar la comunicación a través del comando `Serial.begin`, que permite configurar la tasa de velocidad de envío de datos conocida como “Baudío” que es la cantidad de bits por segundo que se transmite, por lo general el valor nominal es de 9600 baudios, y permite que herramientas como el monitor serial integrado del IDE de Arduino pueda proyectar los datos que están transmitiéndose en tiempo real, sin embargo en este caso la información que se envió será utilizada por el programa LabVIEW.

```

94 //CONFIGURACION COM SERIAL
95 Serial.begin(9600);

```

Figura 3.29. Configuración de inicio de comunicación serial en IDE Arduino Morán, 2022.

Después de establecer el inicio de la comunicación serial el siguiente paso es declarar las funciones que se requieren enviar hacia el puerto serial, por lo que en este caso se ha planteado 2 funciones claves, una de lectura de los valores de voltaje de los potenciómetros y otra de escritura de los datos, tal y como se muestra a continuación:

```

void leer_pot(){
    ECT=analogRead(A0);
    ECT_low = ECT & 0xff; //sacamos la parte baja
    ECT_high = (ECT >> 8); // rotamos y sacamos la parte alta
    IAT=analogRead(A1);
    IAT_low = IAT & 0xff; //sacamos la parte baja
    IAT_high = (IAT >> 8); // rotamos y sacamos la parte alta
    MAP=analogRead(A2);
    MAP_low = MAP & 0xff; //sacamos la parte baja
    MAP_high = (MAP >> 8); // rotamos y sacamos la parte alta
    //Funcion de lectura y envio de datos de potenciómetros
    void enviardatos(){
        Serial.write('s');
        Serial.write('p');
        Serial.write(ECT_low);
        Serial.write(ECT_high);
        Serial.write(IAT_low);
        Serial.write(IAT_high);
        Serial.write(MAP_low);
        Serial.write(MAP_high);
    }
}

```

Figura 3.30. Configuración de lectura y envío de bits en IDE Arduino Morán, 2022.

Después de declarar las funciones que se van a ejecutar, es necesario llamar a las funciones creadas en el void loop del programa para que estén en constante ejecución hasta

que se interrumpa o cese la actividad de la tarjeta Arduino como se muestra en la siguiente parte del código:

```
130 //Funcion leer potencimetros
131 leer_pot();
132 enviardatos();
133 //delay(500);
```

Figura 3.31. Configuración de la función de lectura de información en IDE Arduino Morán. 2022.

La estructura anteriormente mostrada permite que el Arduino haga las siguientes funciones: lectura del voltaje en los potenciómetros, fragmentación de la información en bits, escritura de los bits en el canal de comunicación serial, envío de datos por puerto serial.

La información que es enviada al puerto de comunicación serial es recibida y procesada por el programa LabVIEW que se encarga de proyectar los datos en un visualizador que es programado y diseñado por el autor.

3.7. Diseño y programación de interfaz en LabVIEW

Las funciones que ejecuta el programa LabVIEW consisten en recibir información en tiempo real de los datos de lectura de la tarjeta Arduino, interpretar esos datos a través de ecuaciones que relacionen los valores de voltaje y valores de magnitudes físicas de cada sensor y en última instancia proyectar a través de indicadores los valores de las magnitudes físicas para su visualización. El proceso de elaboración de la interfaz comienza con la programación visual de los bloques y elementos que dispone el programa para recibir datos de 8 bits provenientes de la placa Mega2560.

El primer paso para elaborar la interfaz es emplear el bloque dedicado a la comunicación serial VISA que integra el programa, este bloque brinda funciones para recibir, leer, y escribir datos, asimismo es necesario usar un loop para ejecutar la programación constantemente hasta que exista una condición que la pare, en este caso un botón de “stop”, por último, se requiere de un cierre para indicar que la comunicación serial ha terminado. A continuación, se muestra un diagrama básico de la programación en LabVIEW.

información proyectada pueda ser recibida por el usuario satisfactoriamente, a continuación, se muestra la interfaz que maneja el usuario.



Figura 3.34. Interfaz del usuario en LabVIEW
Morán. 2022.

3.8. Diseño de la placa del banco de pruebas

El desarrollo de la placa electrónica del banco de pruebas se lo realizó en dos partes y con ayuda de dos programas: Proteus 8 y Altium Designer softwares enfocados en el diseño de circuitos eléctricos impresos, a continuación, se explica el proceso de diseño de la placa:

3.8.1. Diseño esquemático de las placas del banco de pruebas.

La elaboración del circuito requiere identificar y ubicar todos los componentes electrónicos que participan en la placa, por lo que para este caso específico se hizo uso del programa Proteus 8 que permite colocar en un espacio físico los componentes que interactúan con el Arduino y las salidas a la ECU, cabe recalcar que se realizará 2 placas, una específica para enviar las señales de los sensores y otra para recibir y dar lectura a las señales de los actuadores proveniente de la unidad de control. Debido a que la placa adquiere una complejidad considerable si se desea unir ambas acciones.

El esquema correspondiente a la generación de señales de sensores se presenta a continuación y pretende recopilar la mayoría de los sensores del vehículo:

En la parte inferior derecha se ubica la fuente de alimentación de 12V con su respectivo fusible de 15A, esta línea ingresa al Arduino por el pin Vin y conecta tierra con la placa, la cual contiene una malla para poner a tierra a todos los componentes anclados en la placa.

En la parte inferior del esquema se ubican todos los potenciómetros que mimetizarán las señales de los sensores: ECT, IAT, MAP, MAF, TPS, APP. Hay que considerar que algunos vehículos utilizan valores de tensión menores a 5V por lo que en caso de ser necesario se deberá usar una resistencia fija a la salida del cable del banco de pruebas. También se dispuso de 2 potenciómetros auxiliares para las señales de los sensores APP debido a que las rampas de las señales son distintas entre modelos de vehículos, por lo que para la sincronización de las señales APP1 y APP2 se requiere calibrar de manera manual la relación entre los voltajes de cada sensor.

En la parte superior se encuentra ubicado un LCD que desplegará la información de mayor relevancia como es el número de RPM y la cantidad de pulsos de inyección que se produce. Asimismo, se hace uso de un encoder que permitirá variar la frecuencia de la señal CKP de tipo Hall generada, además se pone a disposición las entradas para módulos externos como es el caso de un generador de señales sinusoidales para emular el sensor de oxígeno, una entrada para el sensor KS físico, y un puerto OBD para conectar un escáner automotriz.

De la izquierda se encuentran todas las salidas de los sensores que irán al conector DB25 hembra a través de borneras que estarán soldadas a la placa. Por lo que la disposición general de la placa se presenta a continuación:

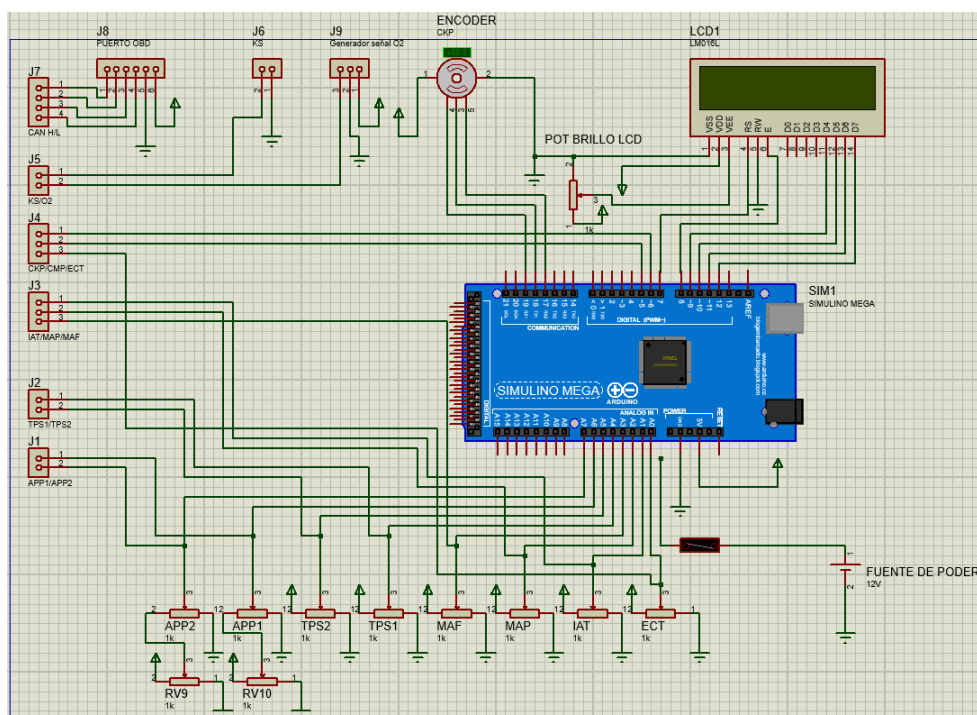


Figura 3.35. Esquema eléctrico de conexiones en placa de sensores Morán. 2022.

En el esquema eléctrico perteneciente a la placa de actuadores se aprecian los siguientes elementos, por la parte inferior izquierda se encuentra un conector de pines que recibirá las señales provenientes de la ECU, alimentación de 12V y 5V para energizar los inyectores (12V) y los componentes electrónicos (5V), a partir de este conector se derivan las pistas que conectarán con los diferentes circuitos, del lado superior izquierdo se encuentran los indicadores de actuadores como la bomba de combustible, el check engine, y los electroventiladores, estos circuitos son sencillos ya que indican un estado binario es decir están prendidos o apagados por lo que únicamente se requiere de una resistencia y un indicador que en este caso será un diodo emisor de luz. Del lado superior derecho se encuentra el circuito indicador del funcionamiento de las bobinas, este recibe una señal de 5V proveniente de la ECU y permitirá conmutar los transistores para que a través de una resistencia pull-up envíen una corriente a un LED que se encenderá y apagará en función de la señal que se reciba en la base del transistor. Por último en el lado inferior derecho se aprecia el uso de optoacopladores, que esencialmente son fototransistores que son accionados por un LED todo este circuito se encuentra en un encapsulado están dedicados a absorber los picos de voltajes generados por el uso de inyectores físicos, debido a la inductancia de la bobina al energizarse y luego cortarse abruptamente la corriente, estos picos son dañinos y quemarían al Arduino por lo que se requiere que el voltaje que se va a leer sea máximo de 5V y que sea estable para que no de estados falsos, debido a esto se hizo uso de estos elementos, la salida del transistor incorporado en el optoacoplador ingresa al Arduino y también es aprovechada por LEDs indicadores que muestran la variación de la frecuencia de inyección. Por último, existen conectores de salida que serán utilizados para conectar LEDs y conectores bananas para el osciloscopio.

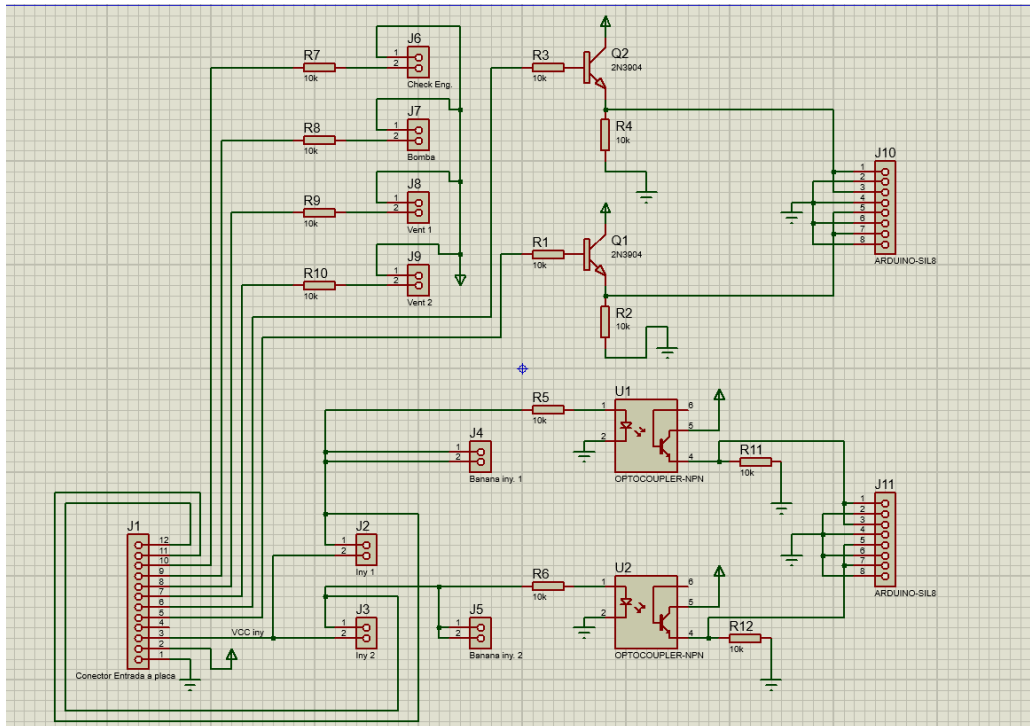


Figura 3.36. Esquema eléctrico de conexiones en placa de actuadores Morán. 2022.

Una vez diseñado el esquema eléctrico de como ira conectada cada elemento en la placa de Arduino se procede a realizar el diseño del circuito impreso a través del trazado de las pistas en el espacio, por lo que se consideró usar una baquelita de tamaño A4 para realizar el circuito eléctrico, debido a la complejidad de fabricar una PCB se ha optado por realizar pistas anchas de 1,5 y 2 mm, además de ocupar todo el espacio físico de la baquelita. Por lo que tras varios modelados se han obtenido el modelado final en Altium Designer, a continuación, se muestra el proceso de elaboración del modelo:

3.8.2. Modelado de la PCB y presentación 3D.

Altium Designer es un software de diseño especializado en la modelación 2D y 3D de placas electrónicas, su mayor fortaleza es la exactitud en el manejo del espacio de diseño y la posibilidad de importar el diseño como archivo PDF y de impresión en máquinas CNC, debido a esta gran ventaja se ha seleccionado este programa con la finalidad de definir con exactitud el espacio físico que se va a emplear en la placa además de que una vez se haya obtenido el prototipo final exista la posibilidad de mandarlo a fabricar a gran escala en maquinaria CNC.

Al igual que Proteus es necesario realizar un diseño esquemático para que el programa cargue todos los elementos que se van a emplear, una vez que se tiene este modelado se procede a definir el espacio físico, con las dimensiones exactas de la placa, en este caso se

Como se explicó anteriormente, debido a la complejidad y a las limitaciones físicas para fabricar una sola placa se optó por dividir al proyecto en dos placas, una dedicada a sensores y la otra a la recepción de las señales para los actuadores, de igual manera se emplearon los programas de diseño anteriormente mencionados y se obtuvieron los siguientes esquemas.

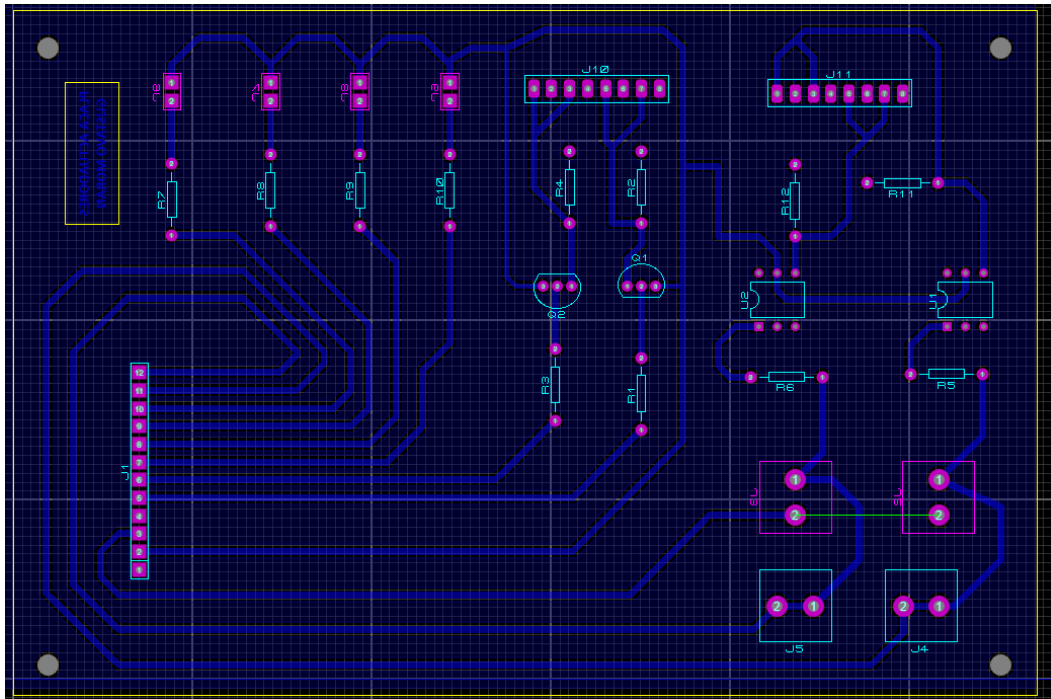


Figura 3.39. Diseño 3D de la placa de actuadores
Morán. 2022.

Por último, se verifica el modelado 3D para comprender la disposición espacial de los elementos, una vez que todo se examina y se concluye que el diseño ha sido exitoso.

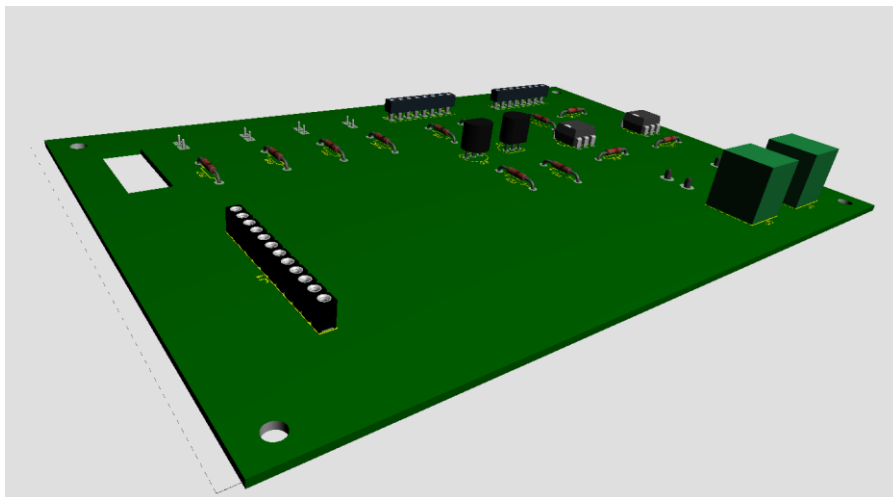


Figura 3.40. Diseño 3D de la placa de actuadores
Morán. 2022.

El modelado de esta placa ha pasado por una serie de pruebas que indicaron posibles mejoras respecto al diseño original, por lo que a continuación se muestra el proceso de fabricación de los prototipos de la placa antes de pasar al modelado final, el cual se optó por enviarlo a realizar en una máquina CNC.

3.9. Fabricación de las placas electrónicas

Para corregir errores de diseño y obtener la PCB final del proyecto se tuvo que realizar prototipos para observar las falencias y los puntos por optimizar es así como brevemente se describe el proceso de fabricación de los prototipos realizados en baquelita.

El primer paso es comprar los materiales necesarios para realizar los prototipos, para este caso y los demás se hizo uso de una baquelita, ácido para quemar baquelita (cloruro férrico), impresión a laser en hoja de papel de revista del modelo del circuito eléctrico, recipiente de plástico, cable eléctrico, una plancha de calor, guantes de nitrilo o de látex.

Una vez que se tiene todos los materiales necesarios el proceso comienza con la impresión del modelo del circuito eléctrico en papel de revista, se ha optado por usar este papel por la calidad de la superficie, debido a que la tinta de la impresión es más propensa a pegarse sobre la superficie de cobre, además el espesor delgado de la hoja permite que el calor emitido de la plancha se transmita de mejor manera sobre la tinta y el cobre.

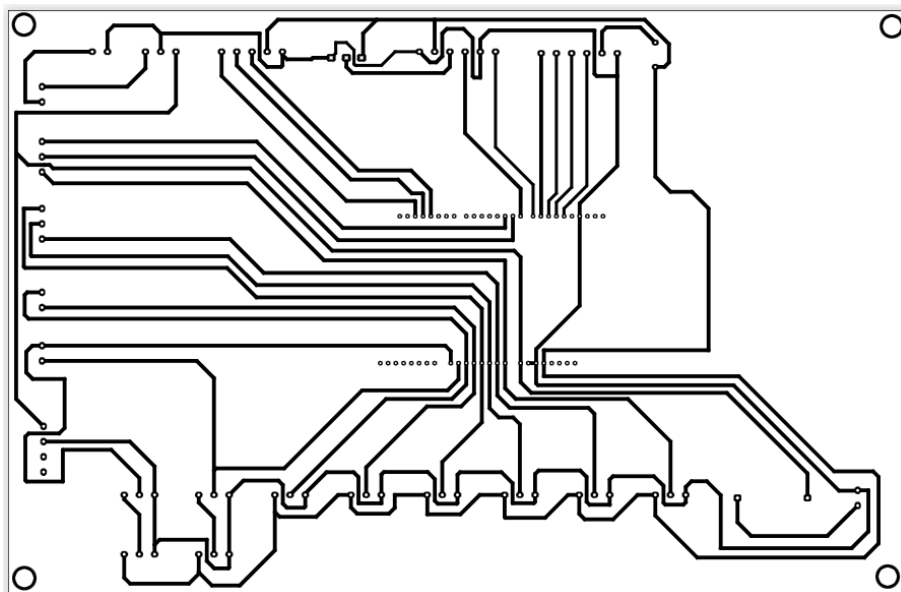


Figura 3.41. Impresión de las pistas de la placa de sensores
Morán. 2022.

El proceso comienza alineando la impresión y la placa de manera que este cara a cara, una vez fijada la impresión en contra de la placa se procede a aplicar calor haciendo uso de

la plancha, el calor debe ser aplicado por periodos cortos, ya que el papel puede quemarse y arruinarse la impresión. Una vez se haya aplicado calor sobre toda la superficie alrededor de 3 veces, se procede a aplicar agua fría sobre el papel para retirar con facilidad los residuos de la celulosa del papel. Una vez realizado esto se procede a evaluar la calidad de la sujeción de la tinta sobre el cobre. En caso de ser requerido se debe repasar las pistas en las que exista fallas o una deficiente sujeción con un marcador indeleble.

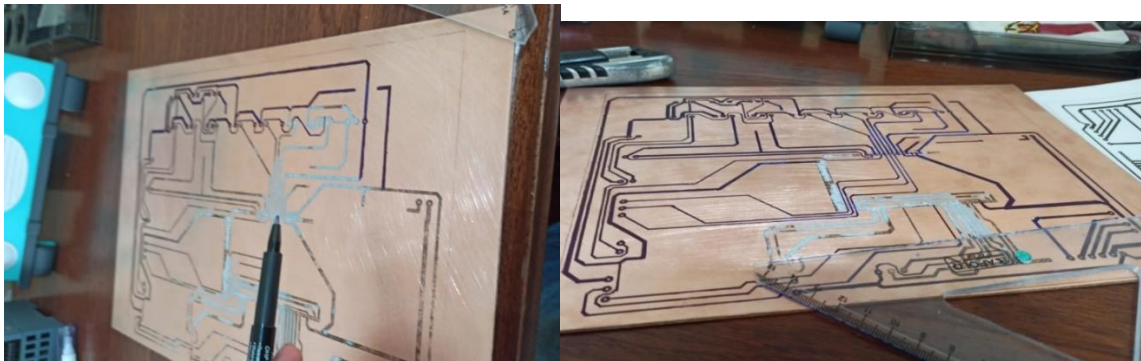


Figura 3.42. Fijación de la impresión de placas de sensores sobre baquelita
Morán. 2022.

Después de corregir todos los posibles errores de fijación del circuito sobre la superficie se procede a preparar la solución de cloruro férrico que irá retirando el cobre de la superficie que no está protegida por la tinta de la impresión o del marcador. Por lo que aquí se hace uso del recipiente plástico el cual no reacciona en el proceso de disolución del cobre.



Figura 3.43. Proceso de quema de la baquelita de placa de sensores
Morán. 2022.

El proceso de quema de la baquelita es un proceso que requiere de electricidad para acelerar la reacción, por lo que se aplicó un voltaje AC de 110V proveniente de la red eléctrica convencional a través de un cable de cobre, que se irá comiendo por acción del cloruro férrico. Se requiere hacer pausas al aplicar corriente eléctrica, debido a que esto

genera calor y la solución empieza un proceso de evaporación que desprende vapores tóxicos que son dañinos para la salud, por lo que una sugerencia es realizar pequeñas pausas para evitar la generación de vapores, además esto permite evaluar el proceso de quema de la baquelita.

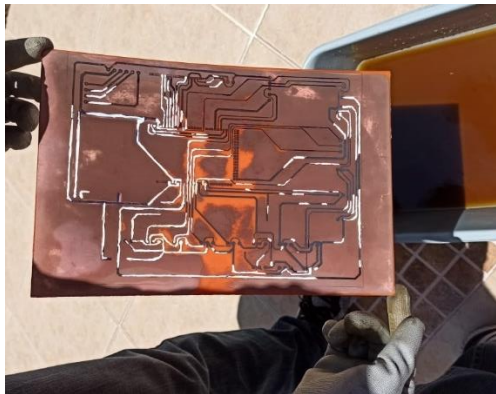


Figura 3.44. Evaluación del proceso de quema de baquelita de placa de sensores
Morán. 2022.

Una vez que la reacción ha retirado todo el cobre de la superficie de la baquelita se debe retirar y limpiar la superficie con un paño y un disolvente que puede ser alcohol isopropílico o tihner para quitar la tinta de los caminos del circuito eléctrico, con esto se verifica que el proceso de fabricación ha sido un éxito o si es necesario realizar correcciones.

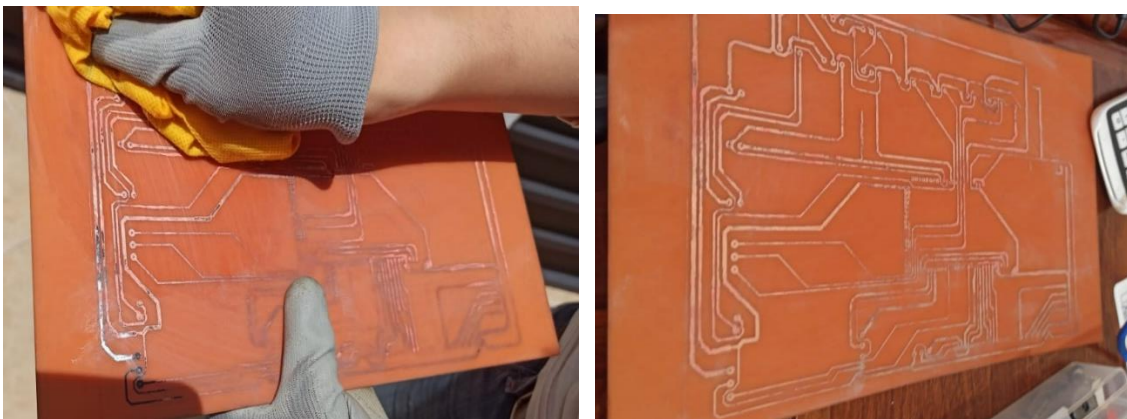


Figura 3.45. Limpieza del ácido en baquelita de placa de sensores
Morán. 2022.

Para evaluar si el circuito elaborado es óptimo para continuar con el proceso es necesario hacer una inspección visual y eléctrica, que consiste en medir en diferentes puntos de la placa continuidad eléctrica usando un multímetro, si es que existe paso de corriente quiere decir que las pistas tienen la capacidad de conducir las señales que se enviaran desde el Arduino. En caso de que no exista continuidad eléctrica se procede a hacer una reparación con estaño y alambre cobre.

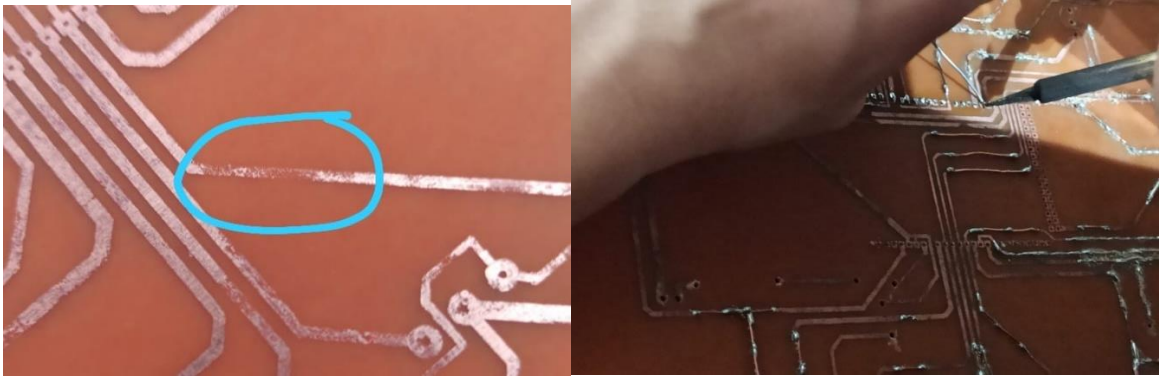


Figura 3.46. Corrección de fallos en pistas de placa de sensores
Morán. 2022.

Posterior a realizar las correcciones se vuelve a medir continuidad de corriente en las pistas intervenidas y verificar que su reparación ha sido un éxito se procede a realizar los huecos en los espacios donde deben ir conectados los conectores o elementos designados en el diseño de la placa, esto se lo realiza con un talado de mano (dremel) y una broca de 1mm de diámetro.



Figura 3.47. Perforación de orificios en la placa de sensores
Morán. 2022.

Posterior a realizar los huecos se procede a soldar los elementos sobre la otra cara de la placa, se sugiere que se suelde con cuidado debido a la posibilidad de arruinar los caminos de cobre por exceso de calor o mala manipulación del caudín.



Figura 3.48. Primer prototipo de placa de sensores para pruebas
Morán. 2022.

Una vez realizado el prototipo se pone a prueba con los elementos que interactuarán con la placa para verificar las zonas donde existe conflictos o pueden mejorarse para su posterior corrección y optimización, con este primer prototipo se identificó objetos a mejorar que permiten optimizar el espacio y el ruteo de las pistas eléctricas. Por tal motivo una vez realizadas las pertinentes correcciones en el diseño se procede a enviar el modelo a una máquina CNC que fabricará la PCB sin ningún error.



Figura 3.49. Fabricación de placa de sensores en máquina CNC
Morán. 2022.

Una vez realizado el modelo de la placa con las correcciones en máquina CNC se procede a soldar los componentes de la placa con un cautín de 30W para evitar daños en las pistas de cobre.

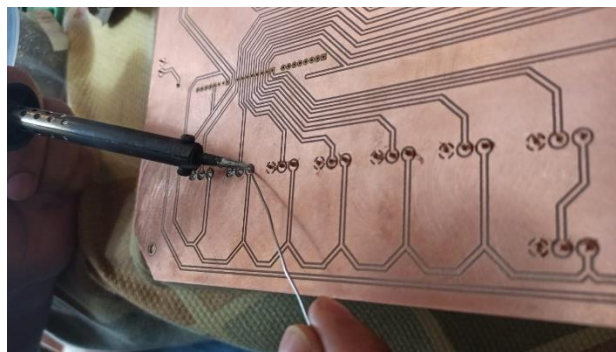


Figura 3.50. Proceso de soldadura en placa de sensores
Morán. 2022.

Con este trabajo se da por terminado la fabricación de la PCB que está especializada en el procesamiento y emisión de las señales fundamentales de los sensores que se dirigen a las entradas de la ECM.

De igual manera el proceso de fabricación de la placa de actuadores consiste en elaborar prototipos y una vez obtenido el modelado final se envía a fabricar la placa en una máquina CNC, a continuación, se muestra evidencias fotográficas del proceso de fabricación de la placa de actuadores.



Figura 3.51. Fijación y quema en ácido de prototipo de placa de actuadores Morán. 2022.

El primer paso es fijar el modelo impreso en la baquelita para que se proceda a realizar el proceso de quema de baquelita, se ha realizado varios modelos hasta concluir en el diseño que mejor aprovecha el espacio y la disposición de los elementos en la placa.



Figura 3.52. Perforación de orificios y acabado de detalles en prototipo de placa de actuadores Morán. 2022.

Después de obtener las baquelitas se procede a revisar que todas se encuentren en orden y se empieza a cortar y taladrar los orificios para la disposición de los elementos en la placa, al verificar que se ha obtenido el mejor modelo, se procede a enviar a la maquina CNC el modelado para que este sea realizado.

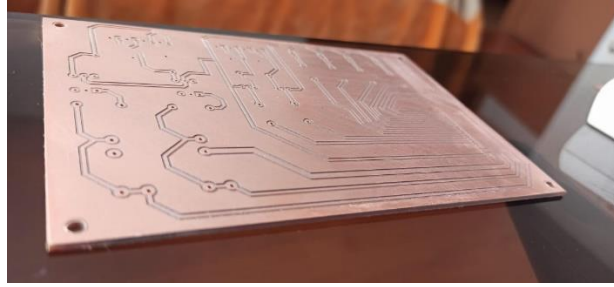


Figura 3.53. Fabricación de placa de actuadores en máquina CNC
Morán. 2022.

Al obtener el modelo final se procede a soldar los elementos en la placa de acuerdo a los diagramas eléctricos respetando el orden y los elementos calculados para que no existan problemas en el funcionamiento de la placa.



Figura 3.54. Soldadura de elementos en placa de actuadores
Morán. 2022.

3.10. Fabricación de los arneses de cables para comunicar la ECU con el banco de pruebas

Los elementos que componen la parte de procesamiento de datos y control de variables eléctricas no pueden ser conectados directamente a los pines de la unidad de control de motor, por lo que es necesario que exista un medio físico capaz de enviar y recibir señales eléctricas, asimismo es necesario que la información sea recopilada de varias partes y enviarla a un solo punto, asimismo recibir de un solo punto y distribuir a los diferentes elementos del banco de pruebas las señales de salida de la ECU, por lo que se ha optado por fabricar 2 mazos de cables que se comuniquen con la ECU con los componentes eléctricos del banco de pruebas, el motivo de que exista 2 arneses de cables es para evitar confusiones al conectar los cables, debido a que existen muchas conexiones se pueden confundir los cables al momento de conectar lo que podría ocasionar daños irreparables en la unidad de control de motor, es por eso que se ha dividido en 2 partes las conexiones, una específica para las señales de sensores y otra para recibir las señales que van a los actuadores, esto

facilita el manejo de las conexiones físicas y además organiza de mejor manera el espacio dentro del cuerpo del banco de pruebas.

Los conectores seleccionados fueron el conector DB25 y VGA, en primera instancia el conector DB25 cuenta con 25 pines que permitirá manejar un amplio rango de conexiones, el DB25 está destinado a enviar las señales eléctricas de los sensores a la ECU, energizar el módulo de control de motor y conectar el sistema OBD, alrededor de 22 pines han sido usados, el resto de conexiones están libres y pueden ser utilizadas a futuro para casos específicos que requieran la adición de nuevas funciones o nuevas señales de sensores.

Para el caso del conector VGA se ha decidido utilizar para recibir las señales de salida de la ECU hacia los actuadores, este conector dispone de 15 pines para su uso, debido a que el vehículo incorpora varios actuadores en todos sus sistemas se ha dispuesto que existan al menos 12 pines usables que comunican las señales de activación de los actuadores, este conector únicamente está enfocado en recibir señales de la unidad de control, de igual manera existen 3 pines libres que pueden ser usados en un futuro para añadir nuevos actuadores de acuerdo al modelo y generación tecnológica del vehículo.

A continuación se muestra el proceso de fabricación del arnés de cables, en primera instancia se debe disponer del conector macho y hembra, debido a que una parte conecta la placa electrónica y el otro lado comunica con la ECU, es necesario proteger los puntos más frágiles del arnés fabricado por lo que obligatoriamente se debe adquirir el case o cuerpo del conector, el cual permite manipular la cabeza del arnés con facilidad, los cables empleados deben ser multifilares para resistir los esfuerzos y dobleces producidos al manipular el equipo, además de que son delgados y son los ideales al momento de usar varias líneas de conexiones, asimismo los conectores del arnés que van a las salidas de la ECU deben ser planos hembra, debido a que pueden ajustarse de acuerdo al diámetro del pin y son perfectos al momento de acoplarse a los pines, cabe recalcar que existen modelos de unidades de control de motor que requieren de otro tipo de conector, por lo que se debe considerar la opción de contar con varios arneses de acuerdo al modelo de vehículo, pero para este caso concreto el conector seleccionado permite evaluar un amplio rango de computadoras.

El proceso comienza con el anclaje a un soporte que fije el conector en el que se va a trabajar, asimismo los conectores tienen un orden y se debe verificar el orden de conexión para crear un código de colores y posiciones de los cables al momento de soldar.

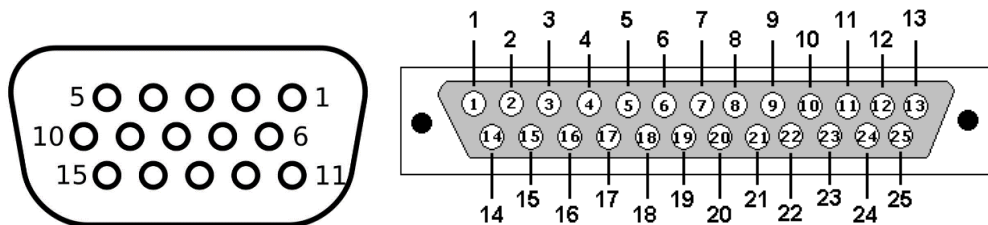


Figura 3.55. Distribución de pines en los conectores VGA y DB25
Alibaba, s.f.

Una vez fijado el conector en el soporte se procede a estañar los cables para evitar que los filamentos que lo componen se abran y hagan contacto con los pines vecinos lo que provocaría un posible corto, asimismo se recomienda estañar los pines del conector con la finalidad de que sea más fácil la soldadura del cable. A continuación, se debe cortar pedazos de cinta termo encogible para aislar cada línea una vez el proceso de soldadura haya terminado, la cinta evitara que existan roces que ocasionen un cortocircuito.

A continuación, se aplica calor con la punta del caudín en la punta de la parte posterior del pin y el cable, debe respetarse el orden asignado de cables, se debe evitar soldar el cable en ángulo ya que esto hará que se desvíen los demás pines o que exista un posible roce entre soldaduras, asimismo no usar mucho estaño ya que esto abulta la conexión y sea más difícil soldar los pines vecinos, este proceso debe hacerse con cada pin del conector hasta terminar de soldar todos.



Figura 3.56. Soldadura de cables en boquillas de cada pin del conector
Morán, 2022.

Para asegurar que cada conexión ha sido realizada satisfactoriamente se hace una inspección visual de las soldaduras y se procede a medir continuidad con un multímetro entre los pines, con la finalidad de comprobar que exista continuidad únicamente en la línea que se analiza, este paso es de suma importancia ya que permite descartar posibles cortos. Sí no existe algún problema de conexión eléctrica se procede a aplicar calor con una pistola

de calor a la cinta termo encogible, para que esta se contraiga y cierre definitivamente los puntos de soldadura fijando así los cables, a continuación, se envuelve el punto más frágil de la soldadura con taípe para fijar los cables para evitar que se desuelden por un movimiento excesivo en el punto de suelda.



Figura 3.57. Fijación de cinta termo ajustable para aislar las soldaduras
Morán. 2022.

El último paso es colocar el case o protector del conector haciendo que sea más fácil manipularlo, a continuación se procede a volver a medir con el multímetro las conexiones, si no existe problema se da por finalizado el proceso de fabricación del arnés de cables, para finalizar se asigna a cada color de cable con su posición una función específica es decir que señal enviará o recibirá.

ENTRADAS	PIN ECU	DB25	CABLES PROTO
Señal CKP Señal CKP	A2 A2	(5) Amarillo	Amarillo
Señal CMP Señal CMP		(6) Verde	Verde
Señal ECT Señal ECT	B12 B12	(7) Azul	Azul
Señal IAT Señal IAT	D3 D3	(8) Blanco	Blanco
Señal MAP Señal MAP	A7 A7	(9) Morado	Morado
Señal MAF Señal MAF		(10) Gris	Gris
Señal KS Señal KS	A1 A1	(11) Piel	Morado/B
Señal O ₂ Señal O ₂	B11 B11	(13) Café/B	Café
Señal TPS1 Señal TPS1	A8 A8	(15) Naranja/B	Naranja
Señal TPS2 Señal TPS2		(12) Negro/B	Azul
Señal APP1 Señal APP1		(4) Naranja	Amarillo
Señal APP2 Señal APP2		(18) Celeste	Blanco
12V 12V	C4 C4	(3) Rojo	Rojo
12V 12V	B1 B1		

Figura 3.58. Asignación de pines y colores para cada señal en las placas de sensores y actuadores
Morán. 2022.

3.11. Fabricación del case o cuerpo del banco de pruebas para ECU

El cuerpo del banco de pruebas debe cumplir ciertas especificaciones, en primer lugar, debe ser eléctricamente neutro, es decir no posea cargas eléctricas y también debe ser un

aislante eléctrico, debe ser resistente y ligero, permitir su manipulación para disponer los elementos en el volumen del cuerpo, además de ser económico y costeable. Dadas estas condiciones se ha optado por usar madera de roble, este material es fuerte, fácil de trabajar y se encuentra en el mercado a un buen precio. Por motivos de costos no se seleccionó plástico, debido a su costo de impresión y a que es susceptible de romperse o deformarse si existe una fuerza externa como un golpe o un peso extraño.

Una vez seleccionado el material con el que se va a trabajar se procede a diseñar las dimensiones del cuerpo de la caja, como debe almacenar en su interior las placas, cables y la fuente de alimentación eléctrica se tomó la decisión de hacer un prisma rectangular con dimensiones de 34 cm de ancho, 24 cm de profundidad y 16 cm de alto, con un piso intermedio a 5 cm de la parte inferior del prisma para separar las 2 placas.

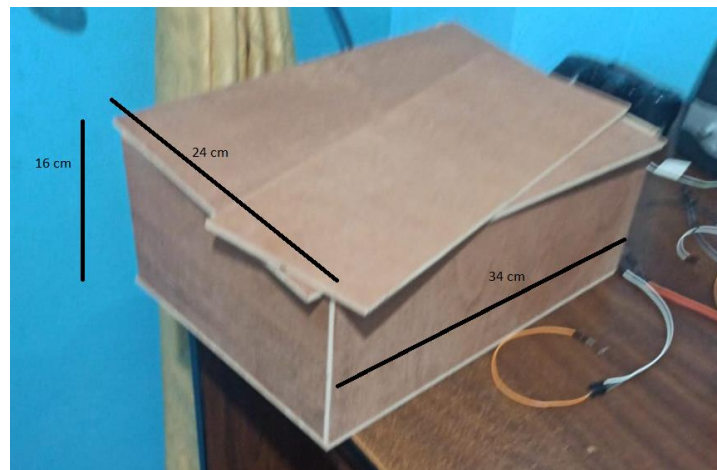


Figura 3.59. Dimensiones de la caja del banco de pruebas Morán. 2022.

El volumen de la caja es de 13056 cm³ suficiente para almacenar los diferentes elementos que componen en conjunto el proyecto de titulación, para la fabricación del cuerpo se acudió a una carpintería en donde se cortó y ensambló la caja, con ayuda de un carpintero se hizo uso de diferentes herramientas que dieron forma y cortes para que los elementos se acoplaran a la superficie de la madera, se hizo un bordillo a 5 cm de altura desde la base para separar en 2 volúmenes a la caja, en la parte superior del volumen se encuentra la placa diseñada para emular señales de sensores y la tarjeta Arduino, mientras que en el volumen inferior se encuentra ubicada la fuente de alimentación y la placa correspondiente a actuadores, como se muestra en la siguiente imagen.

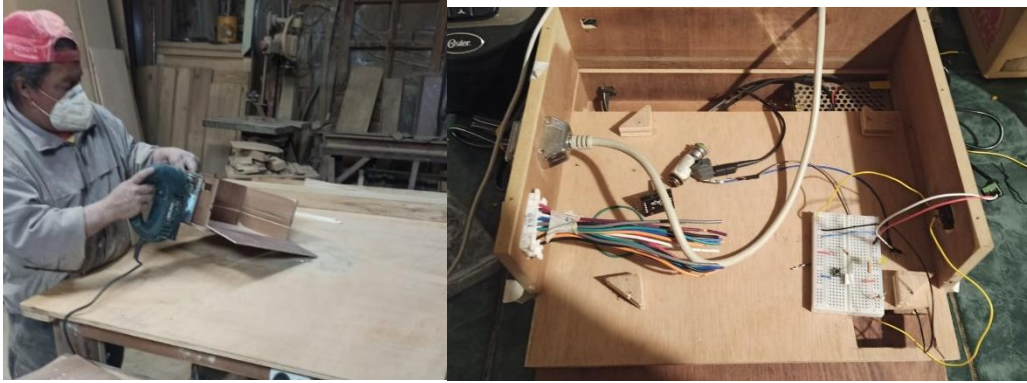


Figura 3.60. Fabricación de la caja del banco de pruebas
Morán. 2022.

Al separar las placas se garantiza que no existirán interferencias eléctricas o posibles cortocircuitos por contacto entre conexiones eléctricas, además permite organizar de mejor manera los conectores de salida y entrada que tienen comunicación con la ECU para evitar cruces o un exceso de cables en una única zona de la caja.

En la parte superior de la caja se encuentran todos los elementos eléctricos de control e indicadores de señales recibidas, estos elementos tienen conexión directa a través de cables con las placas de sensores y actuadores, es por este motivo que su distribución debe ser lo más separada posible y organizada. La zona de la izquierda alberga a los potenciómetros que modulan el voltaje de las señales de los sensores, además del conector que controla el número de revoluciones del motor, el sensor KS y el LCD indicador de las RPM. Mientras que la zona derecha contiene indicadores LED, bananas para conectar un osciloscopio y los inyectores físicos para corroborar la apertura y cierre de las electroválvulas.



Figura 3.61. Disposición espacial de orificios para los elementos del panel de control
Morán. 2022.

El cuerpo del banco de pruebas tiene en sus laterales algunos elementos acoplados, por el lado derecho posee un interruptor para encender o apagar al equipo, en su lateral izquierdo

se encuentran los conectores OBD2, DB25 (salida de señales de sensores), VGA (entrada de señales de actuadores), en el lateral posterior se encuentran los orificios para el cable de alimentación de 110V y la salida del cable USB para conectar el equipo a una laptop.

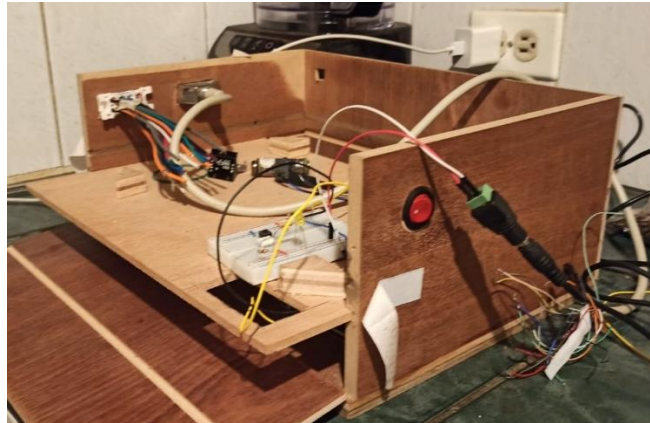


Figura 3.62. Conexiones eléctricas de los conectores en la caja
Morán. 2022.

Esta distribución ha permitido optimizar el espacio destinado para que todas las conexiones y elementos que componen el banco de pruebas se encuentren distribuidos satisfactoriamente evitando posibles confusiones o cortos eléctricos. Asimismo, el anclaje de las placas, fuente de alimentación dentro del cuerpo ha sido asegurado a través de tornillos fijándolos en caso de que exista vibraciones, caídas o movimientos bruscos.

3.12. Ensamble final del banco de pruebas

El montaje de todos los elementos que componen el banco de pruebas se lo realiza por partes, debido a que se encuentra dividido por sectores. En la parte inferior de la caja se encuentra la fuente de alimentación, el conector VGA, y la placa de procesamiento de señales recibidas de los actuadores. Por lo que se comenzará a realizar las conexiones pertinentes de los elementos mencionados.

Por seguridad se procede a realizar las mediciones como: continuidad eléctrica, aislamiento entre líneas, voltaje e inspección visual del buen estado y conexión de los elementos. Se fija la fuente de voltaje con tornillos en la caja, de igual manera la placa se la fija para evitar que esta se mueva y sea susceptible a provocar desconexiones eléctricas. Terminado el anclaje de estos elementos se conecta todos los cables en los conectores correspondientes de acuerdo con los diagramas eléctricos anteriormente expuestos, el resultado de este proceso se muestra a continuación.

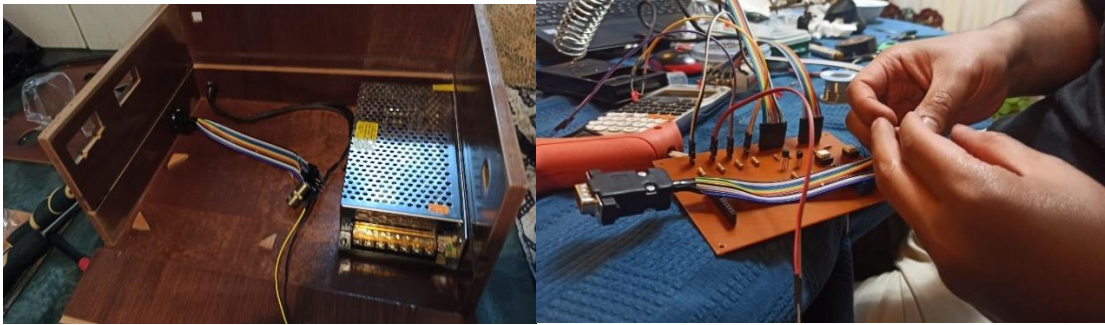


Figura 3.63. Armado de la parte inferior de la caja
Morán. 2022.

La conexión de cada elemento en la placa permite extender a un conector que se unirá más adelante con el cablero de control que es la tercera etapa del armado. Mantener el orden del armado es primordial si se desea evitar confusiones y conexiones defectuosas.

Posterior al armado de la primera etapa se da paso a la siguiente placa de procesamiento de señales de sensores, esta es la placa más compleja y que tiene más conectores, por lo que se debe armar con suma atención para evitar conexiones invertidas o que no corresponden al sensor designado. Asimismo, verificar la continuidad y aislamiento entre pistas es necesario para evitar anomalías cuando se ponga en funcionamiento el banco de pruebas. Las conexiones por realizar se deben ver en el diagrama eléctrico, el cual indica la posición de los elementos de control y emisión de las señales. En esta etapa se utiliza el conector DB25 que de igual manera tiene un código de colores para manejar ordenadamente el envío de señales. En esta etapa se conectan los elementos auxiliares como el sensor KS físico y el módulo generador de señales sinusoidales.



Figura 3.64. Armado parte superior de la caja
Morán. 2022.

A continuación, se procede a armar la última etapa que corresponde al panel de control, es la parte más importante debido a que en ella se encuentran alojados los elementos eléctricos indicadores y de control que indican y manipulan todo el procesamiento de la información en tiempo real. El tablero se ensambla de acuerdo con la distribución asignada,

por el lado izquierdo todos los elementos de control, mientras que en el lado derecho los elementos indicadores de respuesta de la ECU. Por la parte posterior se realizó todas las conexiones eléctricas, mientras que en la parte superior se fijó a los elementos con pegamento, tuercas y tornillos.



Figura 3.65. Armado del tablero de control del banco de pruebas
Morán. 2022.

Una vez realizadas las conexiones se realiza una última prueba de todos los elementos funcionando en conjunto, para detectar posibles fallas o falsas conexiones, si no existe ningún problema se procede a cerrar la caja con tornillos y se da por terminado el ensamble del banco de pruebas físico.

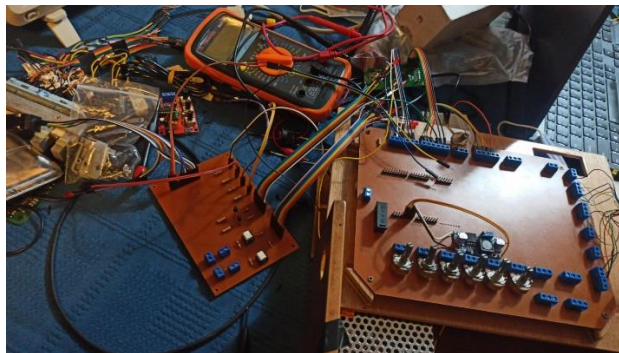


Figura 3.66. Pruebas de conexiones en el banco de pruebas
Morán. 2022.

Por último, se conecta el cable USB a una laptop para ver que el procesamiento de la información de la ECU en tiempo real, con este paso se da por terminado el armado del banco de pruebas.

CÁPITULO IV

PRUEBAS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Pruebas de las señales de los sensores y actuadores en el vehículo

Las señales que gestiona un vehículo en tiempo real permiten a la ECU administrar la activación de diferentes actuadores en los sistemas del automóvil, al ser necesario tener valores referenciales para las futuras comparativas se procede a medir las diferentes señales de los sensores y actuadores en el vehículo de pruebas Hyundai Tucson IX, asimismo se hace uso del manual de taller emitido por el fabricante, el cual explica los rangos operativos de los sensores que fueron la base fundamental para generar las señales del banco de pruebas.

Para obtener los valores de referencia se empleó el escáner automotriz G-Scan 2, que recopila las magnitudes físicas y eléctricas que están interactuando con la unidad de control de motor en tiempo real, a continuación, se describe brevemente el proceso seguido para obtener las señales que permitirán comparar las bases en las ondas eléctricas.

El escáner tiene un conector de tipo OBD2 el cual se conecta en la entrada del puerto OBD2 que dispone el vehículo, cabe recalcar que este conector es universal entre modelos desde el año 2000 por lo que respeta la conexión eléctrica.



Figura 4.1. Conector OBD2 y entrada en el vehículo
Morán. 2022.

Una vez conectado dicho acople se procede a colocar en contacto el vehículo para que el equipo de diagnóstico pueda reconocer la marca, el modelo, el año del vehículo que se analiza y el protocolo de comunicación que maneja el vehículo, una vez que la comunicación entre la ECU y el escáner fue establecida se puede acceder a la información de los datos del vehículo.



Figura 4.2. Interfaz de entrada en el escáner G-Scan2
Morán. 2022.

Los datos se presentan en tablas donde se muestra la magnitud física y eléctrica correspondiente de cada sensor del vehículo, sin embargo, el G-Scan 2 incorpora un osciloscopio capaz de graficar el desarrollo de la onda con respecto al tiempo, esta función es útil para ver señales periódicas que a futuro se observarán.



Figura 4.3. Obtención de información del vehículo con escáner G-Scan2
Morán. 2022.

Los datos obtenidos de los sensores del vehículo corresponden a los valores anteriormente indicados en el capítulo 3, al ser motores de combustión interna a gasolina siguen una tendencia que se puede generalizar para explicar y modelar la correlación entre los fenómenos físicos y los cambios eléctricos a la salida de cada sensor.

No obstante, las señales de interés a analizar con el osciloscopio son aquellas de carácter periódico y de cambio periódico es decir que se acoplan a las nuevas condiciones de funcionamiento, por lo que las ondas analizadas son las señales de los sensores de oxígeno, CKP y pulsos de inyección.

La señal del sensor de oxígeno es una señal periódica sinusoidal con una amplitud de 0,8V entre los 100mV a 900mV, este parámetro general no es el objeto de análisis, sino la frecuencia de la señal, debido a que el cambio de frecuencia está ligado con la velocidad de giro de motor, a mayor velocidad la frecuencia de la señal debe aumentar y viceversa, por lo que se realiza una captura de la señal a diferentes condiciones de velocidad constante.

Se realizó tres mediciones a ralentí, 2000 RPM y 4000 RPM, la señal obtenida y datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla.4.1. Datos tabulados de los valores del sensor O₂

Velocidad del motor (RPM)	Ralentí (650)	2000	4000
Frecuencia señal (Hz)	1,08	2,3	3,2

(Morán, 2022)

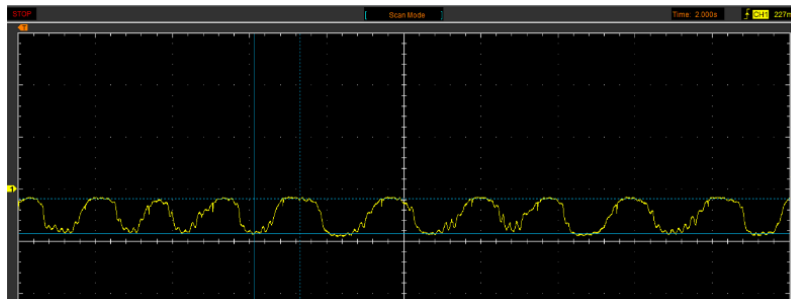


Figura 4.4. Señal del sensor de oxígeno
Morán, 2022.

Como se puede concluir el resultado de la medición de la señal denota que la señal es periódica en condiciones estables y que el rango de operación está comprendido entre (1-3,2) Hz con tendencia a aumentar hasta un límite de 4Hz, la frecuencia de la señal, la amplitud y la rapidez con la que se estabilice dependen del estado de la sonda lambda, por lo que en sensores dañados o próximos a dañarse estos valores pueden verse perturbados.

La señal de giro del motor proveniente del sensor CKP es una señal periódica que su frecuencia varía en función de la velocidad del motor, por lo que la periodicidad de la onda dependerá de la cantidad de pulsos que genera el sensor en función de la rueda fónica y del espacio en la onda provocado por la falta de dientes en el elemento rodante, la manera que se contabiliza una vuelta del motor es a partir del espacio en la señal, a partir de este principio se puede deducir que la frecuencia de giro ocurre cuando la señal ha culminado todo el periodo es decir le ha tomado 360° de giro para volver a producirse el espacio en la onda, por lo que la frecuencia que se mide está en función de la cantidad de veces que la rueda

fónica ha producido el espacio en 1 segundo, por lo que la frecuencia y las RPM del motor son directamente proporcionales y se observa que la frecuencia de la señal CKP generada, el valor de la frecuencia medida es de 650 Hz, y las RPM del vehículo son de 650 RPM en ralentí, lo que afirma la premisa anteriormente mencionada.

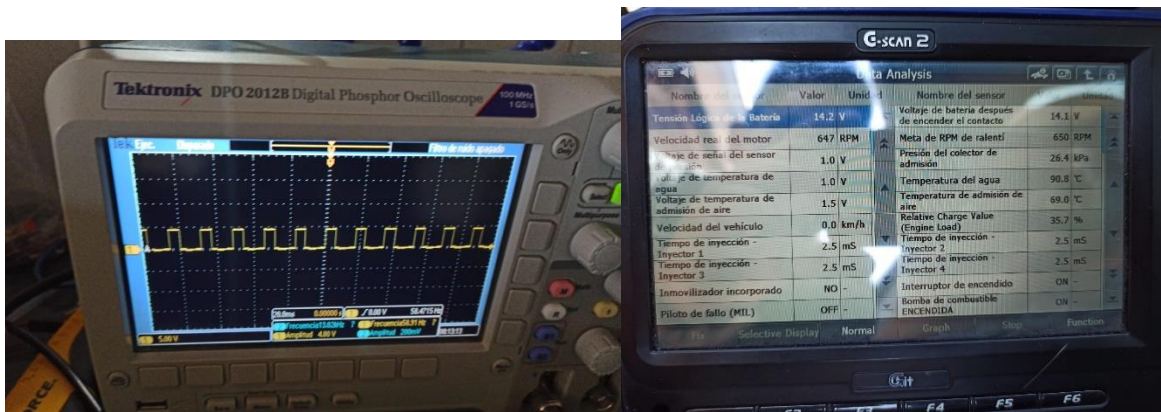


Figura 4.5. Señal del sensor CKP y valores obtenidos de frecuencia de señal en G-Scan2 Morán. 2022.

Los pulsos de inyección obtenidos se presentan a continuación, estos dependen directamente de las condiciones del entorno, por lo que la medición se realizó en condiciones de la ciudad de Quito y a la temperatura ideal de funcionamiento del vehículo de pruebas, el ancho de pulso obtenido tiene el siguiente valor en vehículo de pruebas, en ralentí se tiene un valor referencial de 2,5 ms y en proceso de aceleración a 2400 RPM el valor de 0,8 ms.



Figura 4.6. Tiempos de inyección en ralentí y a 2500 RPM Morán. 2022.

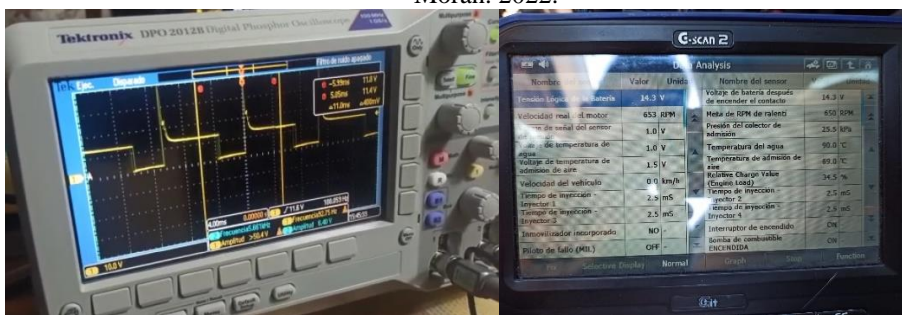


Figura 4.7. Ancho de pulso y tiempo de inyección medidos en el vehículo de pruebas Morán. 2022.

Los valores obtenidos son un referente en lo que consiste a señales de interés, son valores reales que cualquier vehículo puede presentar con ligeras variaciones, no constante son la base general para verificar el funcionamiento correcto de una unidad de control de motor.

4.2. Pruebas de las señales generadas por el banco de pruebas

Para evaluar que las señales eléctricas emuladas operan en los rangos ideales de trabajo se procede a realizar un estudio del comportamiento de la onda generada y su cambio en función de la manipulación de los controles que modulan la amplitud de la señal con respecto al tiempo, este procedimiento se lo realizó con ayuda de un osciloscopio electrónico capaz de graficar la señal estudiada en tiempo real y la interfaz gráfica diseñada en LabVIEW, la cual indica el voltaje de la señal y la equivalencia en la magnitud física que se está estudiando.

El procedimiento general para las señales de los sensores: ECT, IAT, MAF, MAP, TPS 1, TPS 2, APP 1 y APP2 son en esencia el mismo debido a que son señales que varían su voltaje en función del cambio de la variable física que se mide, por lo que su rango operativo está comprendido entre los (0-5)V y estos cambian de acuerdo a su configuración eléctrica explicada en el capítulo 2 del trabajo de titulación, por lo que no se ahondará más en el principio de funcionamiento, sino en el cambio que sufren las señales cuando se manipulan los rangos de voltaje de operación.

Para el caso de la señal CKP el proceso a seguir consiste en verificar el cambio de frecuencia en función del giro del encoder y el pulsador incorporado que está configurado como un multiplicador que incrementa en múltiplos de 10 el cambio de las RPM cuando se manipula el encoder, debido a que la forma de la onda es cuadrática la amplitud de esta es siempre la misma y estará fijada de acuerdo a los estados programados en el código, es decir el estado de reposo será de 0V mientras que el estado activo será de 5V, sin embargo su frecuencia depende de la interrupción generada por el encoder en el código que permitirá que la frecuencia del cristal u oscilador cambie de acuerdo a lo indicado en la programación, la señal cuadrada opera en valores de 500Hz a 8000Hz, es decir al aplicar su equivalencia física desde las 500RPM a 8000 RPM en velocidad de giro del motor.

El caso del sensor KS es diferente, debido a que es un sensor correctivo de retroalimentación del proceso de combustión que indica la existencia de autoignición antes de tiempo su función queda limitada a emitir una señal única no periódica que varía en función de la magnitud de la autoignición de la mezcla, por lo que es imposible modelar una señal para los diferentes casos que se pueden presentar en el motor, debido a esto la única

prueba a realizar es verificar si el sensor físico instalado genera una señal al ser golpeado por un objeto que emita una vibración mecánica en el cuerpo del sensor para que sea captado por el cristal piezoeléctrico y genere una señal de voltaje.

El sensor de oxígeno de banda corta es un elemento que genera una señal periódica de amplitud y frecuencia fija en condiciones estables de funcionamiento, por lo que su aplicación en él envío de señales es limitada a condiciones estables del motor, de igual manera esta señal varía su frecuencia en función de la velocidad de giro del motor, por lo que en velocidades mayores la frecuencia será mayor, sin embargo el rango de frecuencia de la señal está comprendido entre (1-4)Hz, mientras que su amplitud siempre variará de (0,1-0,9)V, para verificar el cambio de la frecuencia es necesario emplear el osciloscopio para ver el cambio suscitado cuando se manipula el potenciómetro que controla la frecuencia.

4.2.1. Resultados de las señales de sensores ECT, IAT, MAP, MAF, TPS 1, TPS 2, APP 1 y APP 2.

La verificación de las señales correspondiente a estos sensores que varían su resistencia en función de la magnitud física que están censando consiste en ver la evolución del voltaje de salida con respecto al tiempo, estas señales no son periódicas, sino que su valor de voltaje están ligados directamente a las condiciones del entorno en el que se encuentra operativo el motor, por lo que la única magnitud medible es el potencial eléctrico a la salida del banco de pruebas y su cambio respecto a la manipulación de los controles del tablero del equipo, estos potenciómetros modifican la resistencia y cambian el voltaje que sale hacia la ECU, por lo que si se fija en una posición a los potenciómetros el voltaje de salida permanecerá constante e invariable, al menos que se cambie nuevamente la posición de este elemento resistivo lo que modificará el voltaje de salida.

Para comprobar que las señales de voltaje permanecen constantes puede hacerse uso de dos instrumentos, el primero y más sencillo es el multímetro, que permite medir el potencial eléctrico a la salida del conector DB25 en el cable correspondiente a cada sensor, o puede realizarse con un multímetro para verificar el cambio que sufre la señal con respecto al tiempo, cualquiera de los dos métodos de comprobación son correctos para validar la magnitud de voltaje, adicional a esto el programa diseñado en LabVIEW incorpora la función de medir el voltaje de cada sensor para realizar una comparación entre voltaje y la magnitud física que se interpreta con ese valor voltaico.

Las pruebas comienzan verificando si las conexiones físicas de los controles y cables son correctas, es decir que las soldaduras, pistas y cables están conduciendo corriente eléctrica, para dicha comprobación se emplea un multímetro en su función de continuidad, la cual permite enviar una pequeña corriente a través de los conductores de la punta positiva a la punta negativa, si la corriente circula y llega exitosamente a su destino el multímetro emitirá un sonido que afirma que el camino que se está analizó conduce corriente. Por lo que se verifica que los pines que conectan a la tarjeta Arduino, las pistas de salida de los potenciómetros y las pistas que comunican a los conectores de salida de la placa tengan continuidad y estén aisladas una de las otras para evitar fallos o posibles cortocircuitos.

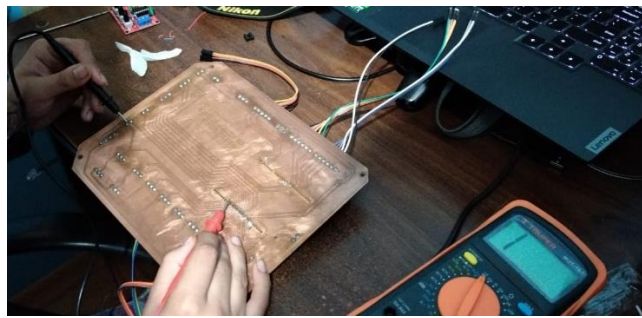


Figura 4.8. Medición de continuidad en pistas de la placa de sensores
Morán. 2022.

Una vez que se ha constatado que las pistas están aisladas entre sí y que conducen corriente en los diferentes puntos medidos se procede a verificar que el cable del conector DB25 conduzca hasta la entrada de la ECU la señal que se está enviando desde la placa, de igual manera se comprueba la continuidad del pin y el cable asignado para cada sensor en función del código de colores instaurado. Como se indicó anteriormente el código de colores es un sistema elaborado para mantener un orden en los cables y en sus colores, esto facilita el reconocimiento de cada conector y a que pin pertenece y en función de este sistema se elaboró las conexiones con la ECU, por lo que se debe verificar las conexiones en función del diseño establecido.

Si las pruebas realizadas dan como resultado una medición de voltaje diferente a 0V o O.L. en el multímetro se aprueba y afirma que las señales que se están enviando a la ECU son correctas, por seguridad se recomienda realizar la medición con un osciloscopio para verificar la existencia de posibles interferencias o ruidos eléctricos no deseados en la generación de la señal.

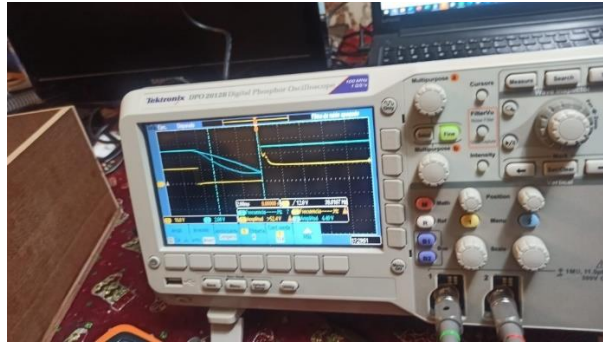
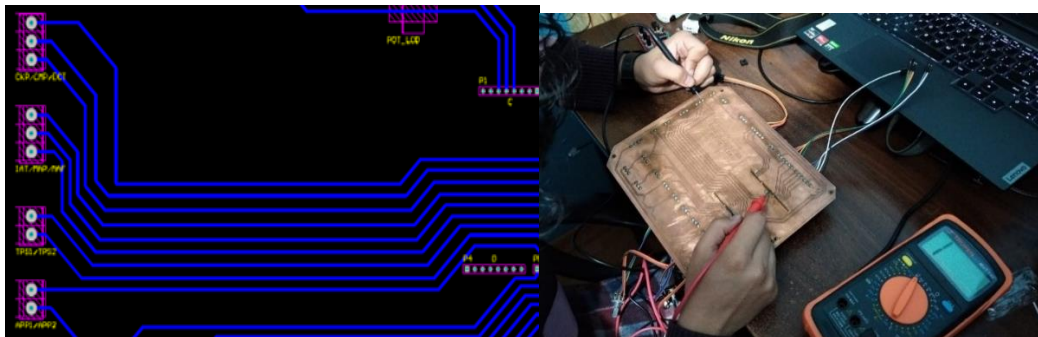


Figura 4.9. Comprobación del cambio de estado con osciloscopio Morán. 2022.

El resultado obtenido de cada señal no es importante, el objetivo de la prueba es verificar que exista un cambio eléctrico cuando el potenciómetro es manipulado, como se explicó en el capítulo 3 los valores de voltaje y su correspondiente equivalencia física están contemplados en el programa diseñado en LabVIEW por lo que al variar el voltaje también se observan cambios en los indicadores del programa.

4.2.2. Resultados de la señal del sensor CKP.

Para realizar la comprobación de la señal CKP se debe identificar el puerto de salida en la placa electrónica, verificar que la pista que conecta a la tarjeta Arduino y al conector se encuentre en buen estado, es decir se debe medir continuidad entre el ambos puntos, esto asegura que la conductividad eléctrica en la placa es correcta, el siguiente paso es verificar que el color asignado para la señal CKP del código de colores de cables multifilares del conector DB25 está conectado correctamente, en este caso el cable amarillo multifilar de la posición 5 del conector conduce la señal hasta la entrada de la ECU, por lo que a la salida del cable se tendrá que conectar la punta de prueba del osciloscopio.



ENTRADAS		PIN ECU		DB25	CABLES PROTO
Señal CKP	Señal CKP	A2	A2	(5) Amarillo	Amarillo
Señal CMP	Señal CMP			(6) Verde	Verde

Figura 4.10. Comprobación de las pistas de salida de las señales de salida a la ECU Morán. 2022.

Como se explicó anteriormente el uso del osciloscopio consiste en conectar 2 puntas de pruebas, una en la señal a analizar y otra en la referencia, para este caso la referencia será GND, mientras que la punta positiva irá anclada a la salida de la conexión del cable amarillo del conector DB25, a continuación, se realiza los ajustes en el equipo de medición, en donde se define la escala vertical (es decir el rango de voltaje), escala horizontal (base de tiempo) y se calibra las escalas para ver la señal periódica estable.



Figura 4.11. Medición de la forma y frecuencia de la señal CKP
Morán. 2022.

La señal obtenida de la medición realizada de la señal CKP se muestra a continuación, se aprecia la forma característica de una señal cuadrada, tiene dos estados definidos en un voltaje de 0V (estado de reposo) y de 5V (estado de activación), esta señal emula el principio físico de los sensores de tipo Hall, que consiste en la aparición de un voltaje medible cuando un campo magnético externo (objeto ferromagnético) interfiere en el campo eléctrico del flujo de la corriente de la pastilla hall, cuando el sensor se alinea perpendicularmente con la rueda fónica genera este voltaje por lo que pasa a un estado activo de 5V, mientras que cuando se aleja el diente este estado desaparece lo que provoca la caída de potencial eléctrico a 0V, este proceso se realiza de manera periódica en función de la cantidad de dientes que posee la rueda fónica y de la construcción del fabricante, por lo que la cantidad de pulsos generados dependerá en gran medida del diseño de la rueda fónica, para este caso en particular la filiar General Motors opta por usar ruedas fónicas de 58 dientes y 2 espacios, los espacios determinan el giro total de la rueda, la presencia de este espacio faltante de 2 dientes permite determinar la frecuencia de giro del motor, por lo que usando este principio se emulo la señal eléctrica, cada que existe el espacio se considera un giro de motor equivalente a un Hertz.

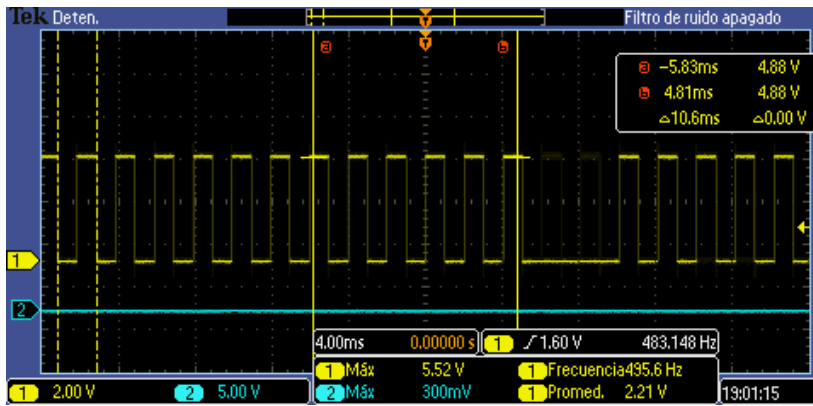


Figura 4.12. Señal CKP emitida por la tarjeta Arduino Mega2560
Morán. 2022.

La frecuencia mínima de la señal corresponde a 500Hz aproximadamente, al igual que en el vehículo la velocidad de giro del motor en ralentí está comprendida entre (500-900) RPM la señal generada tiene una frecuencia mínima que no puede ser reducida debido a que físicamente el motor de combustión interna a gasolina de un automóvil no es capaz de girar a menor velocidad sin presentar fallos. Mientras que la frecuencia máxima medible está limitada a 8000 Hz ya que los vehículos convencionales no superan dicha velocidad de giro, esto se debe a que puede generarse problemas mecánicos como giro de chaquetas o desbielamientos. El cambio de la velocidad de giro se realiza a través del controlador eléctrico instalado en el mando de control del banco de pruebas, el elemento encargado de variar la frecuencia es un encoder, lo que incrementa o reduce la frecuencia de la señal generada por la tarjeta Arduino Mega2560 a través de su timer, como consecuencia se produce una interrupción de la ejecución del código cuando existe un movimiento del elemento, además tiene la facilidad de variar la frecuencia con un multiplicador, lo que permite cambios de velocidad de giro más reales que pueden disminuir en múltiplos de 10.

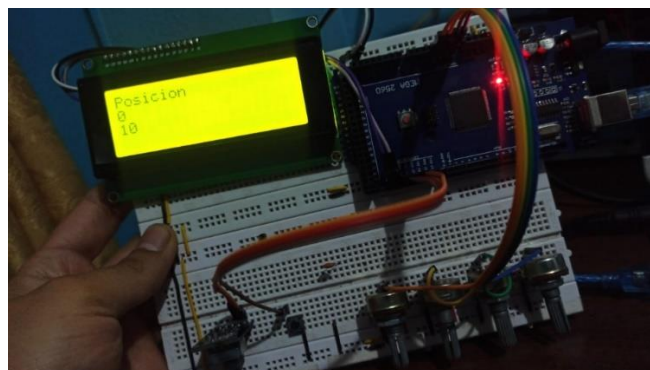


Figura 4.13. Pruebas realizadas para verificar el cambio de frecuencia de la señal CKP
Morán. 2022.

Para verificar el cambio de frecuencia se manipulo el encoder aumento y disminuyendo la frecuencia de la señal, el cambio se observó satisfactoriamente en el osciloscopio el cual

mostraba lecturas diferentes en función del giro del encoder, además para corroborar dicho cambio la pantalla LCD colocada en el banco de pruebas indicaba la misma frecuencia de la señal que daba lectura el osciloscopio confirmando que la señal generada es correcta y puede ser utilizada como señal CKP del vehículo.

4.2.3. Resultados de la señal del sensor KS.

La señal generada por el sensor de detonación es una señal no periódica que se da en condiciones de autoignición, su forma no es regular y depende de la magnitud de la perturbación mecánica que es percibida por el cristal piezoeléctrico que incorpora el sensor, la comprobación de la señal únicamente se realiza a través de un sensor físico que está instalado en el panel de control del banco de pruebas, al igual que la señal del sensor de oxígeno es una señal de retroalimentación y no interfiere directamente en las decisiones que toma la ECU para generar el pulso de inyección principal sino como objeto corrector, no existen parámetros de funcionamiento y tampoco existe una frecuencia medible, por lo que la única comprobación que se puede hacer es verificar la formación de una señal cuando existe un golpe mecánico en el sensor. Al igual que el proceso anterior se es necesario verificar la continuidad eléctrica entre los conectores y la placa, debido a que en la placa existe la conexión que permitirá la comunicación del conector DB25 con la placa y el tablero de control, si la comprobación fue exitosa el siguiente paso es realizar las pruebas en el osciloscopio, se conecta la punta positiva al cable correspondiente a la señal del sensor KS en este caso el cable morado/blanco del pin 11 del conector DB25, mientras que la punta negativa a GND, se procede a golpear con un elemento metálico la cúpula del sensor y se observa la generación de una señal en el orden de los milivoltios tal y como se muestra en la siguiente imagen.

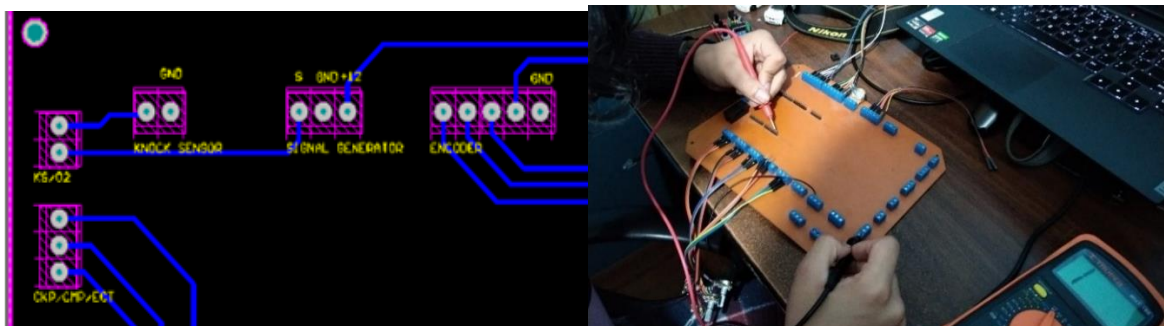


Figura 4.14. Captación de la señal producida por el sensor KS
Morán. 2022.

La señal obtenida indica que en caso de que exista un fenómeno anómalo en la combustión se generará una señal y que esta realizará las correcciones necesarias en la ignición o inyección dependiendo del sistema que se maneje en el vehículo.

4.2.4. Resultados de la señal del sensor O2.

El proceso de comprobación de la señal de oxígeno es similar a los anteriormente descritos, para observar la forma de la onda se requiere de un osciloscopio y en este caso el generador de señales con la configuración de salida de onda sinusoidal, al ser un módulo externo al Arduino se encuentra adjunto a la placa, debido a que en ella se organiza y reparte a la salida del conector DB25, el primer paso es comprobar la continuidad eléctrica en la pista que conecta la entrada del generador de señal y la salida al conector DB25, esta pista corta es el puente entre el módulo y el arnés de cables, de acuerdo al código de colores asignado el color correspondiente a la señal de oxígeno es el café/blanco, correspondiente al pin 13 del conector DB25. Al igual que en los anteriores casos es necesario comprobar la continuidad en la pista, en los conectores y en el cable que conecta la ECU con el banco de pruebas.



Señal KS	Señal KS	A1	A1	(11) Piel	Morado/B
Señal O ₂	Señal O ₂	B11	B11	(13) Café/B	Cafe
Señal TPS1	Señal TPS1	A8	A8	(15) Naranja/B	Naranja
Señal TPS2	Señal TPS2			(12) Negro/B	Azul

Figura 4.15. Mediciones realizadas en la salida de la señal del sensor O₂
Morán. 2022.

Una vez comprobada que la pista y el cable conducen adecuadamente la señal se procede a realizar la medición con el osciloscopio, para esto se conecta la punta positiva de medición a la salida del cable café correspondiente al pin 13 del conector DB25 y la punta negativa en la referencia es decir en GND, con esta configuración en la pantalla del equipo de medición se proyecta la forma de la señal, al ser una señal periódica es necesario establecer

los parámetros de las escalas y el ajuste de la posición de la señal con los controles del osciloscopio.

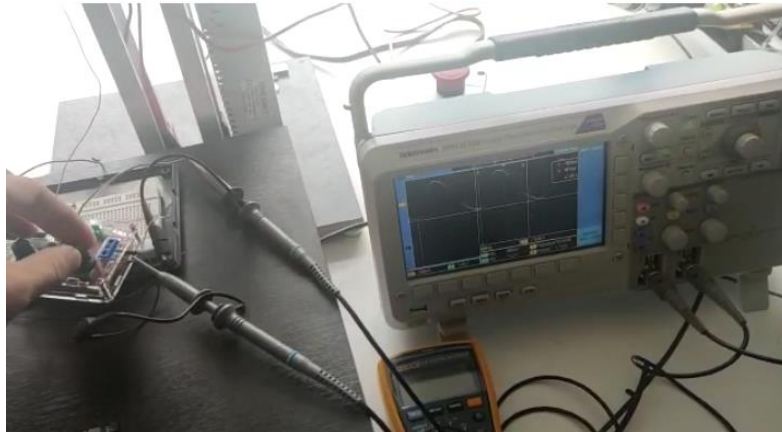


Figura 4.16. Pruebas realizadas en el osciloscopio para verificar las características de la señal O_2
Morán, 2022.

La señal obtenida de la medición demuestra que la onda generada cumple con las características necesarias para emular la señal del sensor de oxígeno, de acuerdo a mediciones físicas del comportamiento del sensor en el vehículo de pruebas Hyundai Tucson IX, la señal tiene las mismas condiciones de comportamiento, tiene una amplitud de onda de 0,8V que inicia desde los 100mV y decrece a los 900mV además de que tiene una frecuencia variable comprendida entre 1Hz a 4Hz que sería la señal en condiciones de velocidad de giro de motor máxima.

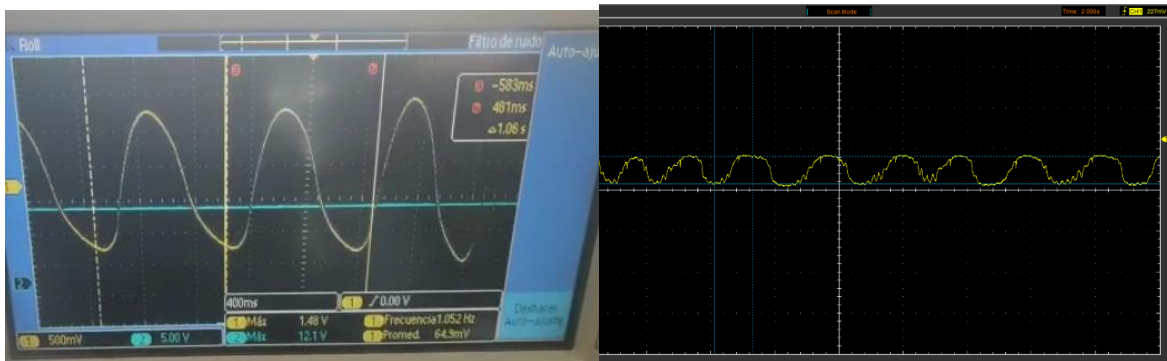


Figura 4.17. Comparativa entre señal generada y señal medida del comportamiento del sensor O_2
Morán, 2022.

4.3. Pruebas de las señales de actuadores recibidas

Al enviar las señales de los sensores a la ECU se espera una respuesta de la unidad de control de motor, las salidas de estas señales son recibidas por el banco de pruebas a través del conector VGA y comunicadas hacia los indicadores del panel de control, como la mayoría de los actuadores son controlados por relés las señales que emite la ECU son de control y permiten la activación de estos relevadores eléctricos, por lo que únicamente

cierran un circuito de control de bajo voltaje alrededor de 5V, tomando en cuenta lo anteriormente expuesto estas señales pueden interpretarse como conmutadores que cierran un circuito eléctrico, por lo que el diseño del banco de pruebas considera en su placa destinada a recibir las señales de los actuadores circuitos indicadores con LEDs que se encienden en función de la señal recibida, a ser señales digitales poseen dos estados: apagado o encendido, por lo que a lo largo de las pruebas los testigos se encenderán y apagaran de acuerdo a las condiciones de funcionamiento que está procesando la ECU.

Como regla general al igual que en las pruebas de las señales de los sensores se debe comprobar la continuidad eléctrica del conector VGA, las pistas de la placa y las conexiones físicas realizadas en el banco de pruebas, el proceso no será descrito debido a que sigue los mismos lineamientos descritos anteriormente, únicamente se debe verificar que exista continuidad en la misma línea y comprobar que están aisladas entre sí las conexiones para evitar falsas señales. Se requiere respetar el código de colores creado para mantener el orden de las conexiones.

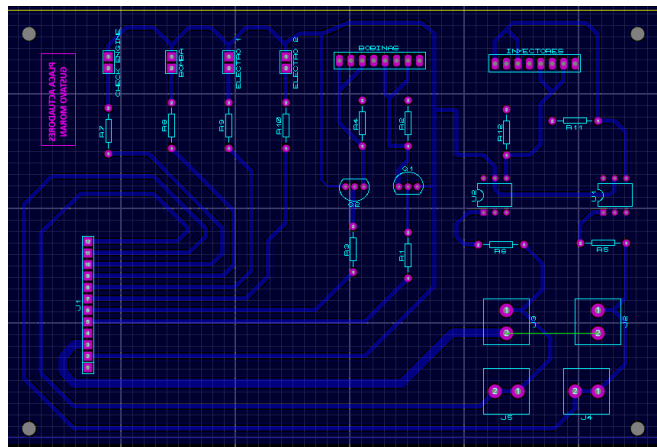


Figura 4.18. Esquema de las pistas de la placa de actuadores Morán. 2022.

Las señales que van a los actuadores de: Bomba de combustible, electroventiladores y el indicador check engine mantienen la misma configuración de funcionamiento, son circuitos que están energizados continuamente con un voltaje de 12V pero que no están conectados a GND por lo que su activación se da cuando la ECU a través de los transistores incorporados internamente permiten que el circuito cierre y se active el relé que dará paso el accionamiento de los actuadores anteriormente mencionados.

Para comprobar la existencia de las señales que salen de la unidad de control de motor se incorporó unos conectores banana que permiten enlazar el osciloscopio para ver el cambio

de estado cuando la señal es emitida. Esto facilita la medición ya que se la puede realizar directamente en el cuadro de control y no se requiere conectar directamente a los cables con anclajes. El proceso de comprobación consiste en conectar dos puntas de pruebas en los indicadores de los actuadores de bomba y electroventiladores, la punta positiva irá en el conector banana del indicador que se evaluará mientras que la otra punta negativa debe enlazarse con el conector de GND para tener una referencia.

La señal que se observa en el osciloscopio es continua, al tener un voltaje de 5V (estado de reposo) hasta que por las condiciones de funcionamiento se emita la señal que cierre el circuito lo que hace que este voltaje cambie a 0V (estado de activación) que demuestra que el circuito se ha cerrado. Para el caso de la bomba de combustible el único momento para medir que existe la señal de activación es cuando la ECU se energiza ya que se dará la señal para que la bomba presurice la línea de combustible, de igual manera esta señal debe permanecer activa durante las pruebas que se están realizando a la ECU.

A continuación, se muestra la gráfica obtenida en el osciloscopio con este tipo de señales de activación, como se observa el voltaje cambia de un estado de reposo (5V) a un estado de activación (0V), el voltaje que se mide en el punto es 0V debido a que ahora el punto de referencia cambio porque el circuito se ha cerrado.



Figura 4.19. Pruebas realizadas en el osciloscopio para verificar la activación de actuadores Morán. 2022.

El caso de las bobinas y los inyectores son similares, las señales son procesadas y digitalizadas totalmente para que puedan ser mostradas en el tablero de control, caso contrario siempre se necesitará del osciloscopio para comprobar la salida de las señales.

La señal de las bobinas es una señal digital de 0V a 5V sin embargo por la rapidez de la señal es imposible conectar directamente un LED, por lo que se hace uso de un transistor NPN 3904 que actuará como un conmutador de alta velocidad, este se encargará de prender y apagar el LED de acuerdo con la señal que llega a la base del elemento. Cabe recalcar que

el diseño ha considerado todas las variables eléctricas para que el circuito cumpla la función de mostrar la señal en los indicadores LED. Asimismo, alado de los indicadores se ha colocado unos conectores bananas para verificar las señales directas enviadas desde la ECU, el principio de comprobación de la señal mantiene el mismo lineamiento, es decir las dos puntas de pruebas del osciloscopio deben conectarse de la siguiente manera: la punta negativa en GND mientras que la punta positiva irá conectada a cada banana de la sección de las bobinas. Se procede a configurar los controles del osciloscopio para observar la señal periódica, en donde se identificará la frecuencia, la forma y amplitud de la onda. Adicional se observará el cambio de la frecuencia conforme se aumenta la velocidad de giro de motor para confirmar el buen funcionamiento de las salidas de las bobinas. A continuación, se muestra las gráficas obtenidas en el osciloscopio de las señales de las bobinas y su cambio al aumentar la frecuencia de la señal CKP.

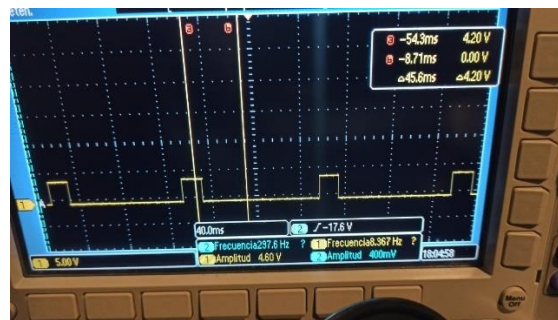


Figura 4.20. Señal obtenida de la activación de las bobinas de ignición
Morán. 2022.

Para el caso de la señal de los inyectores se ha realizado un proceso de digitalización obligatorio para proteger a los elementos que componen el circuito y a la tarjeta Arduino, el porqué de este proceso radica en que al conectar a los inyectores físicos a la alimentación de 12V y al pin de salida de ECU se genera un pico de voltaje comprendido entre los (60V-100V) debido a la inductancia de la bobina generada al momento de realizarse el cambio de estado en la señal de control de la ECU, este pico es peligroso ya que excede los voltajes soportados por los elementos del banco de pruebas, a pesar de que su duración es mínima la exposición prolongada ocasiona daños en los elementos. Para evitar daños se ha usado optoacopladores, que son fototransistores que conmutaran una señal constante de 5V capaz de ser manejada por los elementos eléctricos sin ningún problema, como se ha explicado anteriormente se ha diseñado todo el circuito en función de las magnitudes eléctricas que se manejan. Las pruebas que se realizan para verificar el correcto funcionamiento del circuito y que las señales que se leen sean correspondientes a las señales reales provenientes de la

medición en el inyector físico, para verificar que las salidas de la sección de los inyectores son correctas se ha instalado puertos banana para conectar el osciloscopio y observar las ondas, por lo que el proceso de verificación consiste en conectar la punta de prueba negativa en GND y la otra en cada bornera correspondiente a cada salida de los inyectores para observar las señales que se activan conforme a la señal enviada por la ECU, de igual manera se ha instalado una conexión en paralelo al inyector para observar la señal que se puede medir en un vehículo cuando se encuentra conectado el inyector, las pruebas a realizar consisten en observar los cambios en los anchos de pulso conforme se modifican los controles de las variables físicas y el aumento de la frecuencia de inyección conforme se aumenta la velocidad de la señal CKP, por lo que las pruebas con el osciloscopio constan en verificar el cambio del pulso de inyección y la frecuencia de la señal más no de la forma de onda que se genera.

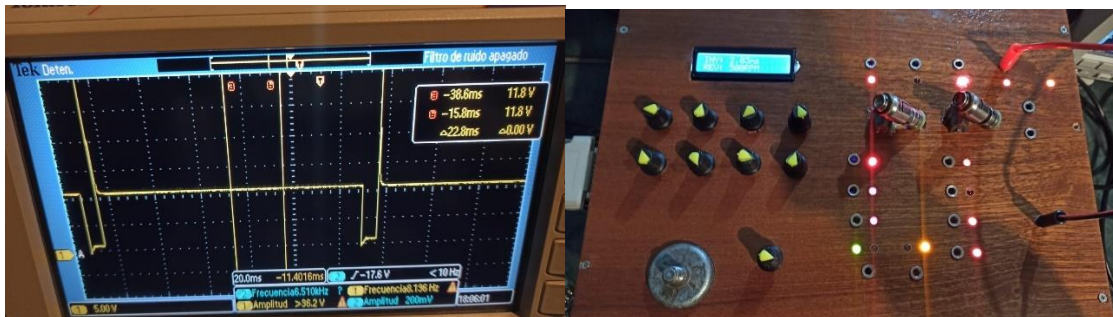


Figura 4.21. Señal obtenida de los inyectores de gasolina
Morán. 2022.

Una última comprobación que se realizó fue verificar la relación y correspondencia entre la lectura del ancho de pulso del banco de pruebas y la lectura del osciloscopio, esto se realizó para evidenciar la exactitud que tiene el banco de pruebas al leer las señales de inyección, para dicha prueba se conectó las puntas de prueba en los conectores bananas correspondientes a la señal de inyección y se ajustó los mandos del osciloscopio para fijar la onda, a continuación se realizó la medición de ancho de la señal en la etapa que permanece activada la señal es decir el momento que se encuentra en 0V, la lectura de la señal se la realiza en milisegundos, por lo que el valor medido debe corresponderse al indicado en la pantalla LCD del banco de pruebas. El resultado de las pruebas da un promedio de margen de error de 0,10 ms una cantidad aceptable, debido a factores externos como la resolución del equipo de medición y ruido eléctrico.



Figura 4.22. Correlación entre la lectura de ancho de pulso del banco de pruebas y el osciloscopio Morán, 2022.

4.4.Comparativa de resultados obtenidos en el banco de pruebas y valores medidos en el vehículo de pruebas

Una estrategia para verificar el estado de funcionamiento de la ECU y la calidad de las señales emuladas en el banco de pruebas es comparar dos unidades de control con prestaciones similares, esto se realiza con la finalidad de constatar que los valores en las señales sigan una tendencia similar al momento de someter a entornos de funcionamiento a las unidades de control. En esta ocasión se ha optado por realizar una comparativa de los valores de inyección bajo condiciones específicas acordes al entorno de la ciudad de Quito, a pesar de que las unidades de control no sean las mismas, son unidades de inyección electrónica multipunto equipadas en vehículos a gasolina de 4 cilindros, por lo que siguen un principio básico de funcionamiento. El objetivo de esta comparativa es analizar los tiempos de inyección para estimar las diferencias entre cada ECU y certificar que la interacción entre el banco de pruebas y la ECU desmontada que se analizó es correcta y puede garantizar que las señales y valores leídos van de acorde a la realidad que se está emulando y la fiabilidad del equipo de diagnóstico.

A continuación, se presenta de manera resumida los valores de las magnitudes físicas del entorno en el que se realizó las mediciones del pulso de inyección del vehículo de pruebas Hyundai Tucson IX y los valores de inyección bajo dos condiciones de funcionamiento

Tabla.4.2. Datos tabulados de los valores de condiciones y ancho de pulso en vehículo de pruebas

Magnitud medida	Ralentí	Velocidad constante
Velocidad de motor (RPM)	650	2500
Temperatura de motor (°C)	90	90
Temperatura de aire (°C)	67,5	64
Presión de admisión (kPa)	25,1	50,7
Posición del acelerador (V)	0,6	1,7
Ancho de pulso de inyección (ms)	2,5	0,8

(Morán, 2022)

Estos valores captados permitirán configurar los controles del banco de pruebas para simular condiciones de funcionamiento similares y realizar la medición del ancho de pulso en la ECU de estudio, cabe recalcar que la ECU que se analiza no se encuentra funcionando totalmente, debido a que presenta una falla en el banco de inyección 2 (correspondiente a la salida del pin C11), el testigo de Check Engine se encuentra activado por lo que puede que los valores obtenidos en el banco de pruebas difieran de los medidos en el vehículo.

Después de realizar la emulación en el banco de pruebas del entorno en el que se realizó las anteriores mediciones se han obtenido los siguientes resultados con la unidad de control

Tabla.4.3. Datos tabulados de los valores de condiciones y ancho de pulso en ECU de pruebas

Magnitud medida	Ralentí	Velocidad constante
Velocidad de motor (RPM)	654	2492
Temperatura de motor (°C)	9	92
Temperatura de aire (°C)	70	60
Presión de admisión (kPa)	27	52
Posición del acelerador (V)	0,57	1,84
Ancho de pulso de inyección (ms)	1,42	3,20

(Morán, 2022)

El valor del ancho de pulso obtenido en el banco de pruebas en comparación con el valor medido en el vehículo de pruebas difiere por varios motivos, la primera razón es la diferencia de años en la tecnología de la ECU, mientras que la unidad de control del Hyundai Tucson IX posee bancos de inyección independientes, CVVT y bobinas independientes, la ECU del Corsa Wind dispone de una electrónica sencilla inspirada en los primeros sistemas de inyección electromecánica, por lo que la cartografía del mapa de inyección es más simple y prioriza la cantidad de combustible inyectado en función de la velocidad de giro del motor, la posición del acelerador y la presión en el múltiple de admisión y no hace correcciones por variadores de avance de admisión de aire, o por un mejor control del encendido de la mezcla, la finalidad de esta comparación es obtener los valores físicos del entorno, y tener un referente de valores de ancho de pulso en las condiciones de la ciudad de Quito.

4.5.Discusión del cambio del pulso de inyección según la magnitud de las variables físicas que interfieren en la inyección electrónica

La capacidad de modular las condiciones de funcionamiento en el banco de pruebas abre las posibilidades para analizar el comportamiento de la unidad de control bajo diferentes entornos, se conoce que la respuesta de la ECU está determinada por la cartografía

programada en la memoria ROM, de acuerdo a la complejidad del mapa, este es capaz de manejar variables en 3 a 4 ejes, por lo que la presentación de la gráfica se vuelve compleja y abstracta de entender, sin embargo, la mayoría de mapas de inyección tienen como variables fundamentales la velocidad de giro del motor (RPM), posición del acelerador (TPS) y según el vehículo pueden ser los sensores MAF o MAP de acuerdo al diseño del fabricante, que básicamente determinan el particulado del aire. El principio básico de funcionamiento de un motor de combustión interna de ciclo Otto está determinado por la cantidad de aire que ingresa, el tiempo disponible de combustión y la cantidad de combustible inyectado, esta relación entre las 3 variables debe crecer de manera equilibrada sin descuidar ningún aspecto anteriormente mencionado, por lo que las 3 señales fundamentales interfieren directamente en el comportamiento de la inyección.

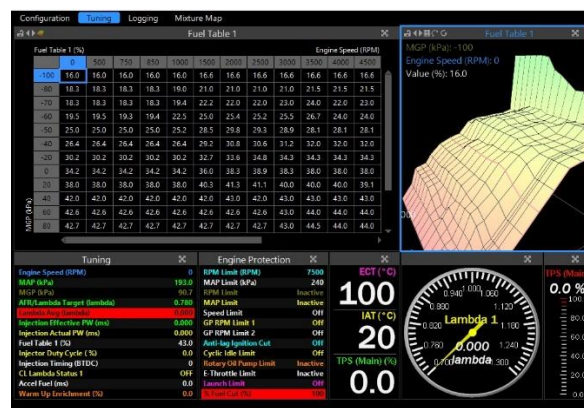


Figura 4.23. Ejemplo de cartografía de inyección en función de TPS, MAP y CKP Link Engine Management, 2020.

Como generalidad se tiene que a mayor cantidad de aire admitido se requiere un mayor tiempo de inyección para mantener la relación A/F, por lo que a medida que se incrementa la cantidad de aire el tiempo de inyección crece, el sensor MAP al aumentar la presión del múltiple se entiende que se produce un paso de aire hacia la cámara de combustión esto hace que aumente el tiempo de inyección, y esto se evidencia claramente en la duración del ancho de pulso. A continuación, se muestra una prueba realizada en el banco de pruebas donde se varió los valores de presión del múltiple de admisión en la que se evidencia el cambio producido en el tiempo de inyección.



Figura 4.24. Cambio producido en el ancho de pulso por modificación de señal MAP
Morán, 2022.

Tabla.4.4. Datos tabulados de los valores de ancho de pulso en función del sensor MAP

Magnitud del sensor MAP (kPa)	Ancho de pulso
20	0,80
40	0,83
60	1,62
80	2,60
100	4,27

(Morán, 2022)

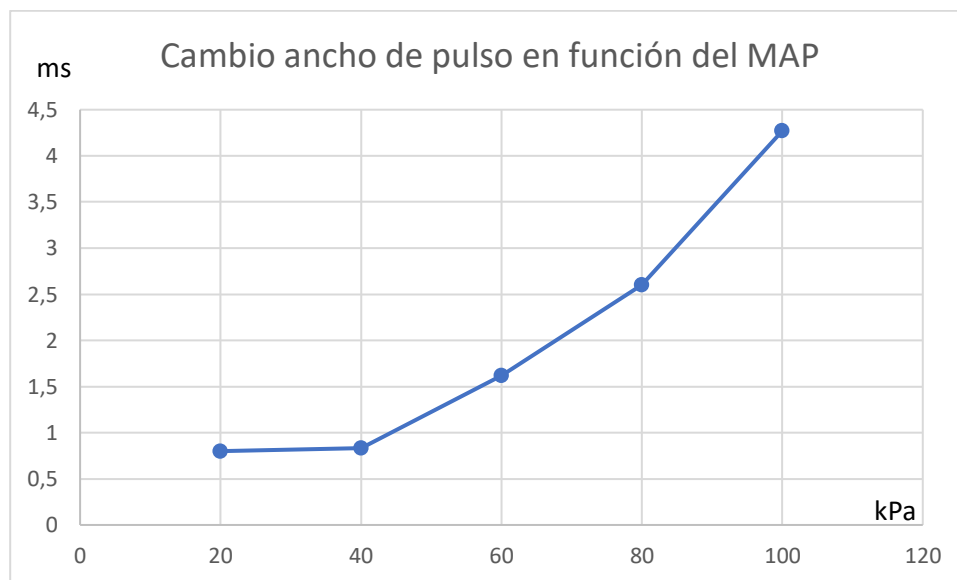


Figura 4.25. Comportamiento del ancho de pulso en función del cambio de la señal MAP
Morán, 2022.

El siguiente factor por discutir es el cambio producido por el sensor TPS, en motores a gasolina el desarrollo del proceso de combustión es controlado por la limitación del ingreso del aire, esto se ejecuta al operar una válvula que obstruye o da apertura al conducto que comunica el múltiple de admisión y el depurador de aire, la modulación del paso de aire controla la velocidad de giro del motor y la cantidad de aire admitido, por lo que la relación entre el sensor CKP y MAP/MAF es proporcional, se infiere que entre mayor sea la apertura

de la mariposa de aceleración habrá mayor cantidad de aire y aumentará la velocidad de giro del motor, por lo que se requiere un incremento de la frecuencia y ancho de pulso. A continuación, se realiza una serie de pruebas en donde se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla.4.5. Datos tabulados de los valores de ancho de pulso en función del sensor TPS

Magnitud del sensor TPS (%)	Ancho de pulso
10	0,80
20	1,01
30	1,67
40	1,67
50	1,67
60	1,78
70	1,78
80	1,78
90	1,20
100	0,80

(Morán, 2022)

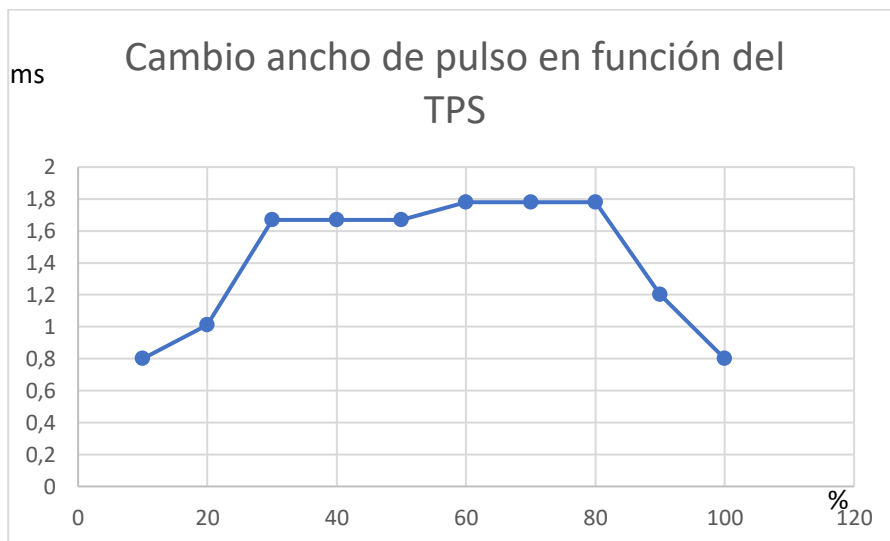


Figura 4.26. Comportamiento del ancho de pulso en función del cambio de la señal TPS
Morán, 2022.

Con lo que respecta al impacto de la señal CKP, es el resultado directo del incremento en la cantidad de ciclos de trabajos producidos en el motor, el aumento de la velocidad de giro del motor permite desarrollar los valores de potencia y toque del motor, el efecto del incremento de la cantidad de ciclos de trabajo hace que el tiempo disponible para inyectar el combustible sea menor y que se incremente la cantidad de inyecciones por unidad de tiempo, por lo que a mayor velocidad de giro del motor es necesario aumentar la frecuencia de inyección y por ende acortar o ampliar la duración del pulso de inyección de acuerdo al

desarrollo de la mezcla A/F. Se realizó una serie de pruebas en donde se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla.4.6. Datos tabulados de los valores de ancho de pulso en función del sensor CKP

Magnitud del sensor CKP (RPM)	Ancho de pulso
500	0,80
1000	1,02
2000	1,92
3000	1,95
4000	2,00
5000	2,20
6000	2,63
6500	1,99

(Morán, 2022)

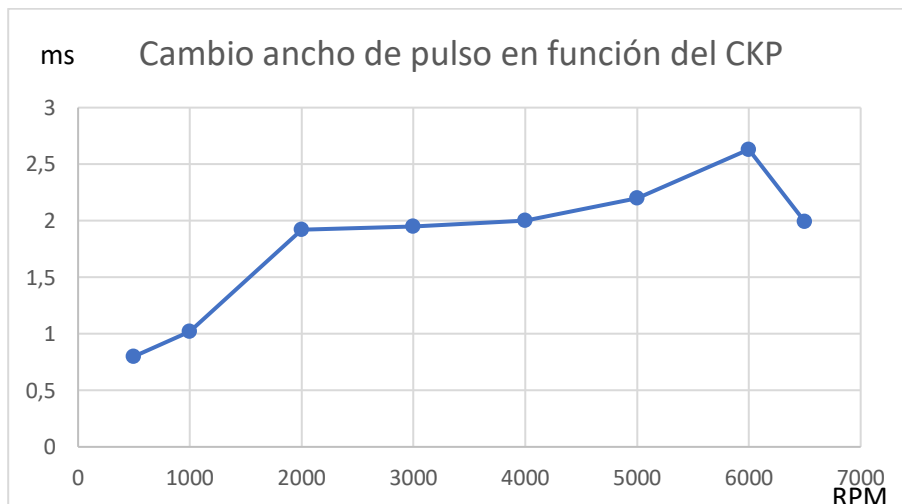


Figura 4.27. Comportamiento del ancho de pulso en función del cambio de la señal CKP Morán, 2022.

Los resultados obtenidos permiten relacionar el cambio en el ancho de pulso con el incremento de las variables MAP, TPS y CKP. Con lo que respecta al cambio planteado al aumento de la presión atmosférica en el múltiple de admisión existe crecimiento del tiempo de inyección de manera proporcional, es decir a mayor presión mayor será el ancho de pulso, por lo que se podría definir como una magnitud primordial que permite controlar la cantidad de combustible inyectado, debido a la implicación que tiene en la formación del dosado, por lo que el incremento es proporcional al volumen de aire que está ingresando al motor.

La justificación para el comportamiento del cambio surgido del ancho de pulso respecto a la señal del sensor TPS basa su análisis en el incremento del pulso, la constancia del tiempo de inyección durante la mayoría de la apertura de la mariposa y el declive al final de la

apertura, radica en que al iniciar la apertura de la aleta de aceleración existe un mayor paso de aire en la primera sección hasta el 40% de apertura es evidente el incremento de aire ingresado, posterior a esto existe un periodo en el que el pulso se mantiene casi constante hasta el 80% de apertura de la mariposa, este es el resultado de mantener un proceso de aceleración media que no fluctúa hasta existir un cambio superado por la señal de voltaje ingresada por lo que en este periodo se entiende que el vehículo se encuentra en desarrollo de aceleración, por último después del 80% de apertura de la aleta existe un fenómeno en el que el pulso decrece el argumento de discusión se apoya en la reducción del tiempo disponible para inyectar, al existir mayor cantidad de pulsos de inyección no se requiere de un tiempo prolongado de apertura lo que reduce el ancho de pulso pero en compensación existe una frecuencia de apertura y cierre de los inyectores.

Por último el desarrollo del tiempo de inyección respecto al incremento de la frecuencia de rotación del cigüeñal es similar al producido en el caso del sensor MAP, existe un crecimiento proporcional hasta la restricción de fábrica programada para evitar daños mecánicos en el motor, es evidente que a mayor cantidad de revoluciones mayor cantidad de combustible se requiere para mantener la combustión, sin embargo la cantidad de combustible debe ser dosificada en función de la cantidad de ciclos de trabajo realizados por lo que un aspecto a considerar es la frecuencia de inyecciones producidas por unidad de tiempo, para esta prueba únicamente se consideró el aumento de RPM sin el accionamiento del acelerador ni la frecuencia de inyección, por lo que de acuerdo a lo establecido en los mapas de inyección bajo esas condiciones el ancho de pulso no decrece hasta el corte a la inyección.

En resumen, las tres variables expuestas son los ejes principales que considera la unidad de control para modificar el tiempo de inyección, es importante recalcar que estas tres variables están directamente relacionadas, y que su cambio es el producto en conjunto que se lleva a cabo cuando se produce una aceleración o desaceleración en el motor, por lo que el análisis de los cambios producidos deben considerar estas tres variables, para este caso no se hizo un análisis más complejo por las limitaciones en la información disponible para verificar los mapas de inyección de cada variable, sin embargo con este análisis básico se puede evidenciar los cambios producidos por estos sensores y su repercusión en los pulsos de inyección.

CÁPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El proceso que realiza la unidad de control de motor en los sistemas de inyección electrónica es una actividad ordenada y lógica que fundamenta las decisiones tomadas en un esquema básico de funcionamiento que consiste en la recopilación de datos del entorno que serán gestionados de manera óptima para emitir una señal de control sobre los actuadores del vehículo, la información de los factores físicos externos en el que el vehículo se desenvuelve son transformados en variables eléctricas gracias a los sensores que se disponen en los sistemas del motor, estas magnitudes son ingresadas al sector de procesamiento de información de la unidad de control donde se produce un trabajo en conjunto entre el microprocesador y las diferentes memorias para dar una respuesta lógica en función de la programación interna, el producto de la operación es remitida a la etapa de potencia que procede a ejecutar una acción de salida que será efectuada por un actuador para mantener el correcto proceso de combustión, el trabajo de la ECU es constantemente evaluado por sensores de retroalimentación que corrigen la actividad de la inyección de combustible que buscan las condiciones ideales de funcionamiento en función de los constantes cambios que se generan durante la operación del motor.

Los cambios que se producen en las magnitudes físicas que captan los sensores tienen una repercusión directa en la respuesta de la unidad de control sobre los actuadores, en consecuencia, si las condiciones del entorno cambian la ECU se ajustara a su nueva situación de funcionamiento, el análisis sobre la repercusión más evidente recae en los cambios producidos en los tiempos de inyección de combustible los cuales pueden estudiarse para evaluar el correcto desempeño de la unidad de control.

Los equipos necesarios para estudiar las entradas y respuestas generadas por la unidad de control se especializan en el análisis de cambios en magnitudes eléctricas como voltajes, frecuencias y tiempos de activación en las señales de salidas, el uso del multímetro, osciloscopio y escáner automotriz permite recoger los valores de las señales y cuantificarlos, asimismo, estos equipos presentan las magnitudes eléctricas que ingresan a la ECU, la importancia del dominio sobre estos instrumentos hacen posible realizar un análisis fundamentado en las bases de la electrónica para obtener generalidades de funcionamiento

que pueden establecer una relación matemática que describa los fenómenos suscitados en el trabajo de la unidad de control.

Las generalidades matemáticas describen el comportamiento físico de una variable del entorno en términos eléctricos, los cambios que se producen son ejecutados por un sensor que transduce a variaciones eléctricas que pueden ser descritas a través de ecuaciones matemáticas, no se puede determinar con exactitud una fórmula puntual para todos los sensores, sin embargo se provee una tendencia general que debe ejecutarse de acuerdo al principio físico de funcionamiento de los diferentes sensores del vehículo, por lo que en este trabajo se presentó una serie de ecuaciones que describen el comportamiento de las variables eléctricas en función de los cambios físicos producidos en cada sensor del vehículo analizado, estas ecuaciones son referentes que deben ser considerados si se desea conjeturar los cambios eléctricos y los cambios de las magnitudes físicas que considera la unidad de control para ejecutar una respuesta en los actuadores.

Las generalidades matemáticas permiten estructurar la base para construir un código de programación que origine el mismo principio de funcionamiento de los sensores, en donde las variables de voltaje, frecuencia, y formas de señales sean lo más fidedignamente posibles para que la unidad de control procese esta información y ejecute una respuesta ante esta interacción. El código relaciona todos los controles físicos que se ubican en el tablero de control del banco de pruebas y la tarjeta Arduino que se encarga de generar, leer y medir las señales eléctricas del proceso de inyección de combustible. Una acción adicional que debe ser considerada es la transmisión en tiempo real de las magnitudes físicas que se están manejando hacia una computadora que ejecute la interfaz del usuario, en donde se visualiza con detalle las magnitudes físicas de cada control eléctrico que tiene el panel del banco de pruebas, el hecho de tener una interfaz con el usuario amplía la posibilidad de ejecutar condiciones y entornos de funcionamiento exactas para poner a prueba las diferentes respuestas de la ECU en función de los cambios físicos del ambiente.

Para ejecutar todas acciones que están contempladas en el código de programación es necesario utilizar un medio físico que conduzca y reciba la información entre la tarjeta Arduino y la unidad de control que se está evaluando, por lo que el medio físico seleccionado ha sido el conjunto de circuitos impresos, conectores y cables que estarán conectados entre los controles, el Arduino, la ECU y la computadora, la cantidad de conexiones es considerable por lo que el diseño de placas electrónicas fue indispensable para organizar y

optimizar el espacio disponible del banco de pruebas, esta decisión ha logrado que la interacción entre el usuario y la unidad de control de motor sea amigable, fácil de manipular y dar lectura a las señales de interés.

En conclusión, el estudio de las señales eléctricas que forman parte del proceso de inyección electrónica es un tema de interés que permite evaluar el comportamiento de una unidad de control en función de las condiciones del entorno en que se desenvuelve el vehículo, de acuerdo con los factores físicos del ambiente la respuesta de la ECU se acopla para trabajar en pro de mantener el proceso de combustión en el motor respetando los límites permitidos de emisión de gases contaminantes. El diagnóstico enfocado en el sistema de inyección es un asunto recurrente en los talleres multimarca de la ciudad de Quito, los equipos de diagnóstico permiten establecer posibles fallos en los elementos que componen estos sistemas, sin embargo un análisis más profundo requiere de equipos más complejos por lo que se crea una limitante en casos de fallos intrincados, el banco de pruebas desarrollado y construido es un aporte por parte del autor que pretende contribuir a solventar problemas más complejos con el estudio e interacción de las unidades de control que evalúen posibles fallos en el actuar de estos módulos que no están exentos de fallos. El banco de pruebas y emulación de estados es una herramienta de gran utilidad, su diseño fue enfocado para facilitar y eliminar el miedo existente de manejar los elementos electrónicos de los sistemas, es evidente que existe limitaciones a pesar del empeño por parte del autor en generalizar el uso de este equipo con el sinnúmero de unidades de control que se pueden encontrar en los vehículos, no obstante a pesar de sus restricciones es una herramienta útil que puede ser usada para asistir en los diagnósticos electrónicos complejos.

5.2. Recomendaciones

El modelado matemático que relaciona los cambios físicos con las variables eléctricas es una generalidad que siguen la mayoría de sensores, sin embargo existen sensores que aplican diferentes principios físicos para obtener estas magnitudes eléctricas, por lo que se recomienda informarse sobre el principio físico que emplea los sensores de las diferentes unidades de control que se van a estudiar y considerar que existen excepciones con las generalidades debido a motivos como diseño, materiales y fenómenos eléctricos aprovechados.

Se recomienda conocer las señales que interactúan con la unidad de control antes de realizar el estudio en el banco de pruebas, condiciones como sincronización de señales,

sistemas de protección, o especificaciones detalladas pueden provocar resultados distorsionados o fuera de lugar, debido a que no se cumple con las condiciones especificadas por el fabricante para el correcto funcionamiento de la unidad de control, respetar los rangos de operación de voltaje, la forma de las ondas o las frecuencias son indispensables para una correcta emulación de las condiciones normales de operación de cada unidad de control.

Un aspecto clave a considerar al momento de analizar las señales es el acondicionamiento de señales, se recomienda utilizar filtros eléctricos (capacitores, transistores) para eliminar ruidos provocados por falsos contactos, picos de voltaje u elementos externos que perturben el campo eléctrico en los conductores, ya que pueden interferir en las lecturas que está recibiendo la unidad de control lo que traerá como consecuencia un comportamiento anómalo que perturbará el procesamiento de la información. Un filtrado correcto de las señales que se envían aumentará la precisión de la emulación de las condiciones de funcionamiento que se desea emular en el banco de pruebas.

Usar una fuente de alimentación de 5V externa a la incorporada en la tarjeta Arduino es necesario, debido a los problemas generados en la tarjeta Arduino por exceso de cargas eléctricas se recomienda usar un elemento denominado “Back and Boost” que cumple la función de un transformador DC/DC que reduce el voltaje de alimentación de 12V a 5V para alimentar a los elementos del tablero de control, a causa de la cantidad de consumidores que utilizaron el voltaje de salida del primer Arduino empleado quemaron el regulador de voltaje dañando a la tarjeta y provocando un fallo catastral en la tarjeta, se optó por implementar este elemento auxiliar que solvento dicho problema.

Se recomienda contar con el diagrama de conexiones eléctricas o PinOut de cada módulo electrónico que se esté estudiando, debido a que la cantidad de pines en una ECU es considera puede existir confusiones o conexiones inapropiadas que pueden quemar el módulo de control, no se aconseja utilizar el mismo conector concebido para la ECU de pruebas ya que cada fabricante maneja diferente formas y tamaños de pines, por lo que se requiere tener diferentes conectores para cada caso, para evitar daños en estos contactos eléctricos que inutilicen a la unidad de control.

A pesar de que el banco de pruebas puede funcionar sin necesidad de estar conectado a una laptop o computadora para dar lectura de las magnitudes físicas se recomienda siempre tener conectado el ordenador al banco de pruebas para conocer con exactitud el valor de la variable física que se está manipulando para conocer el estado y las condiciones de

emulación del entorno, la comunicación serial entre la tarjeta Arduino y el programa LabVIEW debe ser constante ya que si existe una interrupción de envío de información se requiere reiniciar el proceso de comunicación que provocará que se reinicie el trabajo de interacción del banco de pruebas.

Por último se aconseja usar el criterio para interpretar los fallos que se pueden presentar en las unidades de control, identificar los problemas y las posibles soluciones son la virtud que pretende reforzar este trabajo de titulación, este equipo facilita el diagnóstico de fallos, sin embargo no resuelve o aborda las posibles soluciones, el trabajo de ingeniero automatizadora empieza una vez que se puede obtener datos e indicios que conduzcan a una valoración del estado de las unidades de control y a las posibles soluciones al problema.

BIBLIOGRAFÍA

- Sanchez, E. (2009). *Sistemas auxiliares del motor*. Mwcmillan Ibérica S.A.
- Ramirez, C., Jiménez, A., & Carreño, M. (2016). *Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino*. México: Grupo Editorial Patria.
- Atmel. (2010). *Atmel microcontrollers ATmega640/1280/2560*. Atmel.
- Texa Ibérica Diagnosis. (2010). *Electricidad y Sensores en el Vehículo*. Barcelona.
- Auto Avance. (2019). *Curso Reparación de Computadores Automotrices ECUS-ECM-PCM*. Quito: Auto Avance.
- BMW Service. (2004). *Sistemas de BUS*. Munchen: BMW AG.
- Bosch. (2010). *Sistemas de Inyección Electrónica*. Bosch.
- Guarella, J., Heredia, J., Rodríguez, L., & Bagatto, I. (2011). *Sensores y actuadores en motores*. La Plata: Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata.
- Guillen, J. (2012). *Cuerpo de Aceleración Electrónicos*. México: Capacitación Técnica Automotriz "Nikolaus Augusto Otto".
- Sudhir, J., & Mane, Y. (2018). Hardware Desgn and Development of Engine Control Unit for Four Cylinder Engine. *ResearchGate*.
- Álzate, A., Murillo, D., & al, e. (2011). Control de velocidad mediante relación voltaje-frecuencia. *Universidad Tecnológica de Pereira*.
- Beru. (2013). *All about ignition coils*. Berlin: BorgWarner BERU Systems GmbH.
- Castro, T. (2015). *Sistemas de Válvulas Variables*. Auto Avance.
- Henriquez, J. (2007). *Determinación Experimental de factores de emisión para vehículos livianos*. Santiago: Universidad de Chile.
- Mecánica Automotriz Fácil. (2010). *Electroónica y Electricidad Automotriz . Mecánica automotriz fácil*.
- Dragos, T., & al., e. (January de 2020). *Experimental Stand to Evaluate Engine Mass Air Flow (MAF) Sensor*. Obtenido de Reseachgate.net:

https://www.researchgate.net/publication/336557974_Experimental_Stand_to_Evaluate_Engine_Mass_Air_Flow_MAF_Sensor

Electronik Car. (2012). *Academia*. Obtenido de

https://www.academia.edu/20949194/M%C3%93DULOS_DE_CONTROL_ELECTR%C3%93NICOS_CEREBROS_ELECTR%C3%93NICOS_DEL_AUTOMOVIL

Ingeniería y Mecánica Automotriz . (02 de Mayo de 2021). *Ingeniería y Mecánica Automotriz* . Obtenido de

<https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/category/mecanica/sensores-automotrices/>

Miyara, F. (2004). *Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura* . Obtenido de Universidad Nacional de Rosario: <https://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/da-ad.pdf>

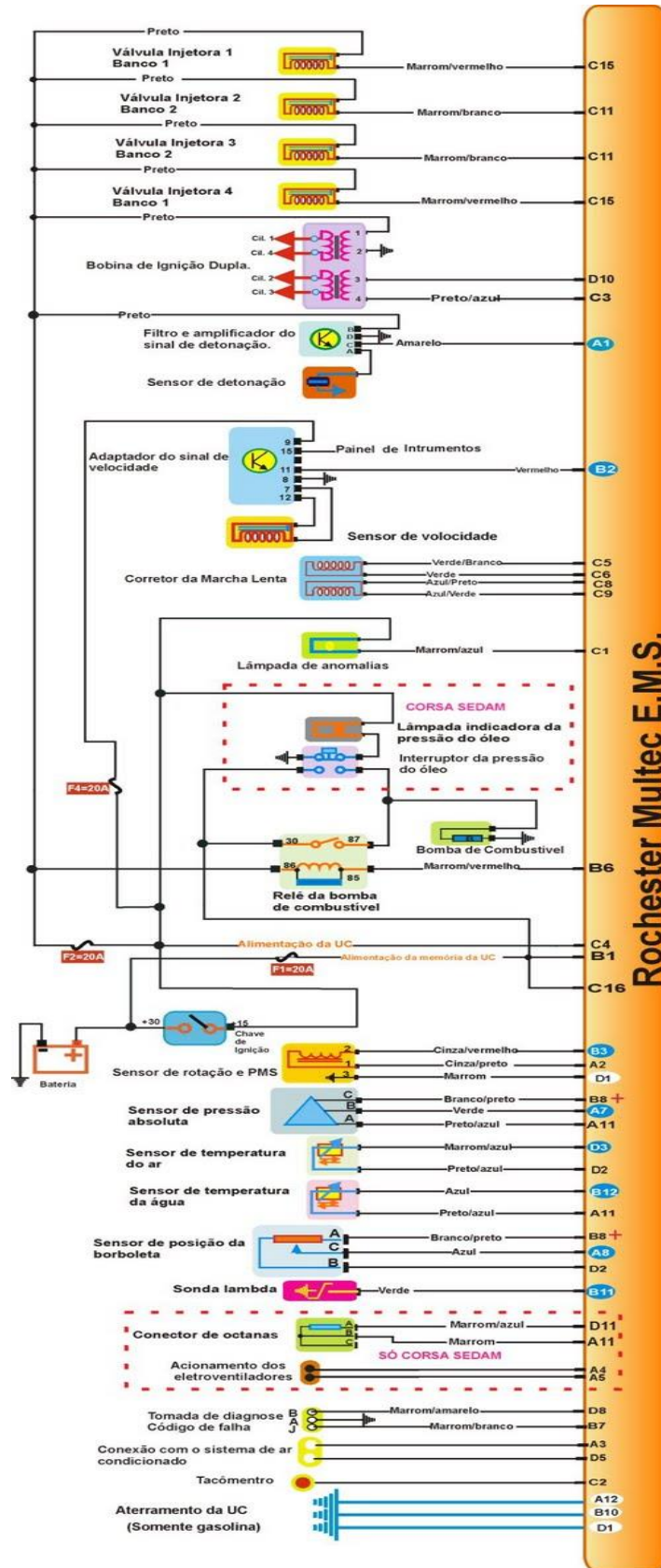
National Instruments. (2022). Obtenido de <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>

Ribbens, W. (2013). *The Basics of Electronic Engine Control*. Obtenido de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080970974000059>

Arduino. (2020). *Arduino*. Obtenido de <https://arduino.cl/que-es-arduino/>

ANEXOS

PinOut de la ECU analizada: ECM Corsa Wind 1.4.



Código de colores empleado en la fabricación del arnés del conector DB25 y VGA

ENTRADAS	PIN ECU	DB25	CABLES PROTO
Señal CKP Señal CKP	A2 A2	(5) Amarillo	Amarillo
Señal CMP Señal CMP		(6) Verde	Verde
Señal ECT Señal ECT	B12 B12	(7) Azul	Azul
Señal IAT Señal IAT	D3 D3	(8) Blanco	Blanco
Señal MAP Señal MAP	A7 A7	(9) Morado	Morado
Señal MAF Señal MAF		(10) Gris	Gris
Señal KS Señal KS	A1 A1	(11) Piel	Morado/B
Señal O ₂ Señal O ₂	B11 B11	(13) Café/B	Cafe
Señal TPS1 Señal TPS1	A8 A8	(15) Naranja/B	Naranja
Señal TPS2 Señal TPS2		(12) Negro/B	Azul
Señal APP1 Señal APP1		(4) Naranja	Amarillo
Señal APP2 Señal APP2		(18) Celeste	Blanco
12V 12V	C4 C4	(3) Rojo	Rojo
12V 12V			
	B1 B1		
12V 12V	C16 C16		
12V 12V Actuadores			
12V 12V OBD2			
5V 5V Arduino libre			
GND GND	A12 A12	(19) GND	Negro
GND GND	B10 B10		
GND GND	D1 D1		
GND GND Actuadores			
GND GND OBD2			
GND GND Arduino libre			
CAN H CAN H	D8 D8	(16) Azul/B	Gris/B
CAN L CAN L	B7 B7	(17) Verde/B	Verde/B
SALIDAS	PIN ECU	VGA	CABLES PROTO
Iny.1 y 4 Iny.1 y 4	C15 C15	(1) negro	negro
Iny.2 y 3 Iny.2 y 3	C11 C11	(2) blanco	blanco
Check Engine Check Engine	C1 C1	(3) gris	gris
Bob.1 y 4 Bob.1 y 4	D10 D10	(4) morado	morado
Bob.2 y 3 Bob.2 y 3	C3 C3	(5) azul	azul
IAC izq. (+) IAC izq. (+)	C5 C5	(6) Verde	verde
IAC izq. (-) IAC izq. (-)	C6 C6	(7) Amarillo	amarillo

IAC der. (+)	IAC der. (+)	C8	C8	(8) naranja	naranja
IAC der. (-)	IAC der. (-)	C9	C9	(9) rojo	rojo
Bom. Comb.	Bom. Comb.	B6	B6	(10) café	cafe
Electro 1	Electro 1	A4	A4	(11) negro-es	café-es
Electro 2	Electro 2	A5	A5	(12) blanco-es	naranja-es
GND				Cafe	
5V				Rojo	
12V				Naranja	
TAC	TAC				
A/C	A/C				