



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

MODALIDAD: PROYECTO DE DESARROLLO

Título:

“Diagnóstico del funcionamiento de un motor diésel en el sistema de inyección directa de riel común”

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Magíster en Electromecánica

Autor:

Suárez Orna Francisco Israel Ing.

Tutora:

Freire Andrade Verónica Paulina Ms.C. Ing.

Latacunga - Ecuador

2023

AVAL DE LA TUTORA DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de tutor del trabajo de Investigación sobre el título: “Diagnóstico del funcionamiento de un motor diésel en el sistema de inyección directa de riel común.”, presentado por Suárez Orna Francisco Israel, para optar por el título Magíster en Electromecánica.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, agosto 2023



Ms.C. Ing. Freire Andrade Verónica
C.I. 050205622-9

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

El trabajo de Titulación: “Diagnóstico del funcionamiento de un motor Diesel en el sistema de inyección directa de riel común.”, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electromecánica; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa. Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto 2023

Para constancia firman:



Ms.C. Ing. Luigi Orlando Freire Martínez
CC: 0502529589
Presidente del tribunal



Ms.C. Ing. Jessica Nataly Castillo Fiallos
CC: 0604590216
Lector 2



Ms.C. Carlos Iván Quinatoa Caiza
CC: 0503287864
Lector 3

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por permitirme gozar de salud y tener la dicha de disfrutar cada momento de mi vida, en especial en esta etapa tan anhelada de cumplir mi sueño.

A familia, que siempre me apoyaron en los buenos y malos momentos a pesar de todo nunca me dejaron solo, a quien debo este triunfo profesional, por todo su trabajo y dedicación que han realizado por darme una formación académica, por todo el amor que me han dado, este triunfo es de ellos y para ellos es todo mi agradecimiento.

A mi tutora Ms.C. Ing. Freire Andrade Verónica Paulina por brindarme la orientación necesaria en el desarrollo de este proyecto

ISRAEL

DEDICATORIA

Doy gracias a Dios y a mi familia quienes me supieron ayudar en el transcurso de mi vida estudiantil. A la vez le doy las gracias a mi tutora que me supo ayudar en el desarrollo del presente proyecto. Ya que fue una fuente de conocimiento de la cual pude aprender muchos valores y conocimientos.

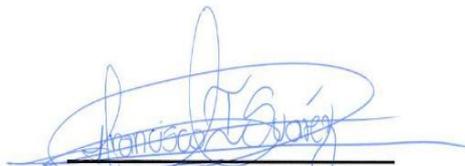
ISRAEL

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

“Yo al ser autor del presente proyecto de investigación: “Diagnóstico del funcionamiento de un motor diésel en el sistema de inyección directa de riel común.”, siendo Ms.C. Ing. Freire Andrade Verónica Paulina tutora del presente trabajo: y examinó expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, agosto 2023

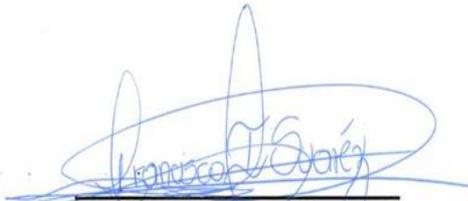


Ing. Suárez Orma Francisco Israel
CC: 0604075929

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi

Latacunga, agosto 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Francisco Suárez', written over a horizontal line.

Ing. Suárez Orna Francisco Israel

CC: 0604075929

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: “Diagnóstico del funcionamiento de un motor diésel en el sistema de inyección directa de riel común.” contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.



Ms.C. Ing. Luigi Orlando Freire Martínez
CC: 0502529589

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Título: “Diagnóstico del funcionamiento de un motor diésel en el sistema de inyección directa de riel común.”

Autor: Suárez Orna Francisco Israel Ing.

Tutor: Freire Andrade Verónica Ms.C Ing.

RESUMEN

Los vehículos con sistema Common Rail Direct Inyección (CRDI), poseen sensores que emiten señales eléctricas como el sensor MAF, FRP y BPS estas señales pueden ser confusas al momento de realizar diagnósticos. Para abordar esta problemática, se propone la construcción de un módulo de adquisición de datos y realice la captura de las gráficas de cada sensor, para compararlas con una gráfica patrón. Adicional se ocupó equipos de diagnóstico automotriz, como osciloscopios, multímetros y scaners, para adquirir datos de los sensores, las tablas de los fabricantes de los sensores para la obtención de las gráficas patrón. Para la captura de datos se tuvo en cuenta las revoluciones del motor, presión y temperatura. Se analizó la entrada de las señales eléctricas de los sensores hacia Unidad de Control de Motor. Se llevó a cabo diversas pruebas a diferentes rpm, para determinar los parámetros de funcionamiento de los sensores, lo que permite verificar el cambio tanto en la señal eléctrica como en su voltaje y frecuencia. La metodología propuesta combina la captura de los datos utilizando una tarjeta Arduino Mega y el software MATLAB para su respectivo análisis gráfico, mediante una interface que analiza su porcentaje de error y permite exportar sus datos a tablas de Excel para su mejor análisis. Esto permitió obtener información valiosa sobre el funcionamiento de los sensores lo que facilitó un diagnóstico más preciso y efectivo para corregir fallas de los sensores en el vehículo, contribuyendo así a la mejora y el rendimiento del motor de combustión interna y a reducir la contaminación del medio ambiente.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

TOPIC: "A diesel engine operation diagnosis in the common rail direct injection system".

Author: Suárez Orna Francisco Israel Ing.

Tutor: Freire Andrade Verónica Ms.C Ing.

ABSTRACT

Vehicles with the Common Rail Direct Injection (CRDI) system have sensors, what emit electrical signals, such as the MAF, FRP and BPS sensor, these signals can be confusing when making diagnoses. For addressing this problem, it is proposed the data acquisition module construction to capture the graphs each sensor, for comparing them with a pattern graph. Additionally, it was used automotive diagnostic equipment, such as oscilloscopes, multimeters and scanners, to acquire data from sensors, the sensor manufacturers tables to get the pattern graphs. For data capture, it was taken into account engine revolutions, pressure and temperature. It was analyzed the electrical signals input from the sensors to the Motor Control Unit. It was carried out several tests at different rpm, for determining the sensors operating parameters, which allows verifying the change both the electrical signal and its voltage and frequency. The proposed methodology combines data capture, by means an Arduino Mega card and MATLAB software for its respective graphic analysis, through an interface, what analyzes its error rate and allows exporting its data to Excel tables for better analysis. This allows to get valuable information about the sensor's operation, what facilitated a more accurate and effective diagnosis for correcting sensor failures in the vehicle, thus contributing to the internal combustion engine improvement and performance and reducing environmental pollution.

Keywords: Data acquisition, revolutions, pressure, temperature, engine.

Yo, Marco Paúl Beltrán Semblantes con cédula de identidad número: 0502666514 Magíster en Lingüística Aplicada en la enseñanza del Idioma Inglés como Lengua Extranjera con número de registro de la SENESCYT ; 1020-2021-2354162; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "**DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DIÉSEL EN EL SISTEMA DE INYECCIÓN DIRECTA DE RIEL COMÚN**" de: Suárez Orna Francisco Israel, aspirante a Magíster en Electromecánica.

Latacunga, Agosto del 2023.

Atentamente



Mg/ Marco Paúl Beltrán Semblantes
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CC: 0502666514



Índice	
AVAL DE LA TUTORA DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
<i>DEDICATORIA</i>	v
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA.....	vi
RENUNCIA DE DERECHOS.....	vii
AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRAC	x
Índice de tablas.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	1
Planteamiento del problema	3
Formulación del problema	6
Campo de Acción:.....	8
Tabla 2. Campos de acción UNESCO	8
Objetivo General	8
Objetivos Específicos:.....	8
Justificación:	14
Hipótesis:.....	14
CAPÍTULO I.....	15
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	15
1. Introducción y objetivo del capítulo	15
1.1 Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte	15
1.2 Fundamentación Teórica.....	22

1.2.1	Sistemas de inyección CRDI.....	22
1.3	Sistemas específicos CRDI	24
1.3.1	Sistema Bosch	24
1.3.2	Sistema Denso	25
1.3.3	Sistema Delphi	26
1.3.4	Sistema Siemens.....	26
1.3.5	Módulo de control.....	27
1.4	Componentes que integran un sistema CRDi.....	28
1.4.1	Elementos del sistema CRDi.....	28
1.5	Sensores del sistema CRDi	29
1.5.1	Sensores.....	29
1.5.2	Sensor CKP	30
1.5.3	El sensor CMP.....	30
1.5.4	Sensor APP.....	31
1.5.5	Sensor ECT	32
1.5.6	Sensor de Temperatura de Combustible	33
1.5.7	Sensor MAF	34
1.5.8	Sensor FRP.....	34
1.6	Actuadores del sistema CRDi	35
1.6.1.	Actuadores.....	35
1.6.2	Válvula Reguladora de Presión.....	36
1.6.3	Válvula de Recirculación de Gases de Escape.....	37
1.6.4	Inyectores	38
1.7	Señales de adquisición de datos	39
1.7.1	Señales analógicas.....	39
1.7.2	Señales digitales	40

1.8 Adquisición de datos	41
1.8.1 Adquisición de Datos	41
1.9 Herramientas para la adquisición de datos	42
1.9.1 Arduino	42
1.9.2 MATLAB	43
1.10 Equipos de diagnóstico automotriz	44
1.10.1 Equipos.....	44
1.10.2 Escáner	45
1.10.3 Multímetro Automotriz	46
1.10.4 Osciloscopio.....	46
1.10.5 Información Técnica	47
1.11 Estudio de caso VW AMAROK	48
1.11.1 VW AMAROK	48
CAPÍTULO II	50
2 MATERIALES Y MÉTODOS	50
2.1 Introducción y objetivo del capítulo	50
2.2 Metodología de la investigación	50
2.3 Materiales.....	51
2.3.1 Selección de componentes	52
Selección de tarjeta de adquisición de datos	52
Selección de sensores para su estudio.....	53
2.3.2 Selección del software.....	56
Selección del software de análisis.....	56
2.4 Métodos.....	58
2.4.1 Elaboración de un módulo de adquisición de datos:.....	58
Programación del módulo Arduino.....	58

Captura de señales analógicas.....	60
Captura de señales digitales	61
Programación para captura de datos en Matlab	62
2.5 Rango de funcionamiento de los sensores	64
2.5.1 Señal patrón del sensor MAF.....	65
2.5.2 Señal patrón del sensor FRP	67
CAPÍTULO III.....	72
3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	72
3.1 Introducción y objetivo del capítulo	72
3.2 Importancia del análisis de datos y gráficas del sensor FRP	72
3.3 Presentación de datos	73
3.3.1 Descripción de la captura de datos y análisis de gráficas.	73
3.3.2 Análisis de la señal del sensor FRP.....	73
Gráfica patrón de la señal del sensor FRP	76
Gráfica de la señal capturada por el módulo de adquisición de datos	77
3.3.3 Análisis de la señal del sensor BPS.....	79
3.3.5 Análisis de la señal del sensor MAF	85
Gráfica patrón de la señal sensor MAF.....	87
Gráfica capturada por el módulo de adquisición de datos	88
CAPÍTULO IV.....	90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
Conclusiones	90
Recomendaciones.....	91
Bibliografía	92

Índice de tablas

Tabla 1. Tabla de variables	7
Tabla 2. Campos de acción UNESCO	8
Tabla 3. Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos	13
Tabla 4. Metodología aplicada.....	51
Tabla 5. Comparativa de tarjetas Arduino	52
Tabla 6. Datos del sensor FRP	54
Tabla 7. Datos del sensor MAF.....	55
Tabla 8. Datos del sensor BPS	56
Tabla 9. Comparativa entre Software MATLAB, LabVIEW	57
Tabla 10. Valores iniciales y finales de sensores MAF, FRP, BPS	65
Tabla 11. Designación de pines del sensor MAF (4 pines).....	65
Tabla 12. Datos de la señal patrón del sensor MAF	67
Tabla 13. Designación de pines del sensor FRP (3 pines)	68
Tabla 14. Tensión vs presión del sistema.....	68
Tabla 15. Datos de la señal patrón del sensor FRP	69
Tabla 16. Designación de pines del sensor BPS (4pines)	70
Tabla 17. Datos de la señal patrón del sensor BPS	71
Tabla 18. Datos de señal patrón vs datos capturados por el módulo de adquisición del sensor FRP.....	74
Tabla 19. Gráfica patrón de la señal sensor FRP	77
Tabla 20. Datos obtenidos por el módulo de adquisición de datos.....	77
Tabla 21. Comparación de datos erróneos del sensor FRP	78
Tabla 22. Datos de señal patrón vs datos capturados por el módulo de adquisición del sensor BPS.....	80
Tabla 23. Señal patrón del sensor BPS	82
Tabla 24. Datos obtenidos de la señal del sensor por el módulo de adquisición de datos	83
Tabla 25. Comparación de datos erróneos	84
Tabla 26. Curva característica vs dato capturado del módulo sensor MAF.....	86
Tabla 27. Gráfica de la señal del sensor MAF	87
Tabla 28. Datos capturados de la señal del módulo de adquisición de datos.....	88

Índice de figuras

Figura 1. Matriz Ishikawa	6
Figura 2. Circuito de baja y alta presión del sistema CRDi Bosch	24
Figura 3. Módulo de control del motor ECU	28
Figura 4. Válvula EGR.....	38
Figura 5. Inyector CRDi.....	39
Figura 6. Señal analógica, digital	41
Figura 7. Gráfica de la señal del sensor FRP	54
Figura 8. Gráfica de la señal del sensor MAF.....	55
Figura 9. Gráfica de la señal sensor BPS	56
Figura 10. Diagrama de flujo de programación para Arduino MEGA	59
Figura 11. Señal analógica	61
Figura 12. Señal digital	61
Figura 13. Diagrama de flujo de funcionamiento del módulo de captura de datos	63
Figura 14. Pin Out sensor MAF	66
Figura 15. Gráfica de la señal patrón de sensor MAF.....	67
Figura 16.Sensor FRP	68
Figura 17. Gráfica de la señal patrón de sensor FRP	69
Figura 18. Sensor BPS	70
Figura 19. Gráfica de la señal patrón de sensor BPS	71
Figura 20. Datos analizados por Matlab	74
Figura 21. Gráfica de comparación de datos entre gráfica patrón y gráfica obtenida por el módulo de adquisición de datos de los sensores FRP	75
Figura 22. Gráfica patrón de la señal sensor FRP	76
Figura 23. Gráfica de la señal obtenida por el módulo de adquisición de datos del sensor FRP	78
Figura 24. Análisis de datos en Matlab del sensor FRP.....	79
Figura 25. Datos analizados por Matlab	80

Figura 26. Gráfica de comparación de datos entre gráfica patrón y gráfica obtenida por el módulo de adquisición de datos de los sensores BPS	81
Figura 27. Gráfica de la señal patrón sensor BPS	82
Figura 28. Gráfica de la señal capturada por el módulo de adquisición de datos del sensor BPS	83
Figura 29. Análisis de datos en Matlab del sensor BPS.....	84
Figura 30. Datos analizados por Matlab	85
Figura 31. Gráfica de comparación de datos entre gráfica patrón y gráfica obtenida por el módulo de adquisición de datos de los sensores MAF	86
Figura 32. Grafica de Señal Sensor MAF	87
Figura 33. Gráfica señal sensor MAF	88
Figura 34. Análisis de datos en Matlab del sensor MAF	89

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La propuesta tecnológica se enmarca en la línea de investigación de procesos industriales y en la sub línea diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

En vista del desarrollo tecnológico en vehículos diésel y la implementación de sistemas de control electrónico cada vez más complejos, se genera la necesidad de un crecimiento cognitivo, velocidad en el análisis, eficiencia en resultados, disminución de costos y tiempos de reparación en vehículos diseñados con estos sistemas. [1]

Al principio el sistema de inyección Diesel era de forma mecánica, pero siempre su inyección se ha realizado de forma directa en la cámara de combustión, el salto generacional y el avance de la tecnología ha permitido que la electrónica se introduzca en el control del sistema de inyección, de tal forma nace la inyección CRDi (*Common Rail Direct Injection*) que es mucho más eficiente y tiene un control muy preciso de las cantidades inyectadas en el motor de combustión interna.

El sistema Common Rail es controlado por una ECU (*Engine Control Unit*) que se encarga del control de actuadores del motor por medio de las señales de los sensores que disponga el sistema de inyección donde es indispensable para un correcto funcionamiento los caudalímetros de aire y los sensores de presión, y sensores de posición.

La inyección electrónica CRDi, es un sistema muy eficiente en la reducción de emisiones contaminantes, con un óptimo funcionamiento en desempeño y en economía de combustible. El sistema *Common Rail Direct Injection* (CRDi) es uno de los sistemas de control del motor Diesel, en el que, el combustible es enviado desde el depósito denominado tanque de combustible por una bomba eléctrica o una bomba de transferencia, hacia una bomba de alta presión, y acumulándolo en un riel común a altas presiones para, posteriormente repartir esta presión hacia los inyectores e inyectar el combustible en la cámara de combustión

de forma controlada. [1]

Los motores Diesel, siempre han tenido un consumo específico, menor que sus homólogos de gasolina y han lanzado a la atmósfera una menor cantidad de contaminantes. Estos dos aspectos acompañados de su mayor coste de fabricación han sido el motivo de que los motores Diesel soportaran sin modificaciones la primera crisis del petróleo y las primeras legislaciones anticontaminación, seguir la evolución que conlleva la mejora y las novedades en los materiales y mecanismos utilizados en la construcción de motores para automóviles. [2]. Existen cuatro principales fabricantes de sistemas Common Rail: Denso, Bosch, Siemens, Delphi estos son los que más destacan y prevalecen en el mercado y van a mejorar de forma continua.

El constante crecimiento del parque automotor en nuestro país se ha generado por la innovación de avances tecnológicos que se presenta continuamente, en la que se incluye el sistema de inyección CRDI, ya que la misma ofrece ventajas en las cuales abarca minuciosamente un espacio más amplio en el mercado, es indispensable estar a la vanguardia de la información técnica especializada que nos permite brindar mantenimiento y uso adecuado al sistema.[2]

Cada fabricante comparte similitudes en el funcionamiento del sistema CRDi sobre todo en el control electrónico, así como también poseen diferencias que los distinguen, por ejemplo la forma de regular la presión en el sistema Denso se hace mediante un solenoide denominado *Suction Control Valve* (Válvula SCV) al regular el caudal de succión y suministrar hacia los émbolos radiales de la bomba permite que se eleve la presión, cabe recalcar que esta válvula controla la presión desde la línea de baja y depende si es normalmente abierta o normalmente cerrada, en el sistema *Delphi* dicha labor se realiza mediante un solenoide denominado *Inlet Metering Valve* (Válvula IMV) que gobierna el caudal de ingreso de combustible para elevar la presión y al mismo tiempo controla una parte del retorno para evitar sobre presiones en el sistema, este sistema de inyección maneja muy elevadas presiones, con una presión máxima aproximada a 1600 bares, en el sistema Bosch el solenoide encargado del control de caudal de combustible se denomina *Volume Control Valve* y adicional tenemos un válvula que regula la alta

presión denominada Pressure Control Valve (Válvula VCV + PCV) que regulan la presión de baja y alta presión respectivamente. [3]

Los motores Diesel actualmente se los encuentra instalados en diferentes tipos de vehículos como: pesados, camiones, autobuses, autos de pasajeros, máquinas agrícolas, barcos generadores eléctricos, ya que estos son muy confiables y de larga duración. [4]

El sistema *Common Rail* es controlado por una ECU la misma que recibe señales de los sensores para controlar actuadores y de esa forma controlar al motor de combustión interna mejora las emisiones al medio ambiente, dentro la ECU se tiene un microprocesador y periféricos que suministran los voltajes de alimentación y las masas a los sensores y actuadores. [5]

En este sentido, el Plan de Desarrollo Nacional del Ecuador, Plan Toda Una Vida, en su quinto objetivo enfatiza que para incrementar la productividad y ser más competitivo, se requiere de investigación, innovación y pertinencia académica con los procesos productivos y de desarrollo. Dichas acciones van de la mano con la reactivación de la industria nacional y las alianzas público-privadas. [5]

Planteamiento del problema

El crecimiento vehicular en el mundo genera grandes cantidades de emisiones de gases contaminantes que impactan en la salud de la población en las grandes ciudades del mundo, esta contaminación es producida específicamente por los motores de combustión interna que son utilizados en vehículos livianos pesados y maquinaria. Al momento de adquirir un vehículo nuevo este tiene que ser aprobado por los estándares internacionales de contaminación, pero a medida que se pasa el tiempo los vehículos se deterioran y empiezan a generar fallas de combustión generadas por el mal funcionamiento de sensores que generan señales erróneas las mismas que provocan que el motor de combustión interna produzca más gases contaminantes (NOX) que se dirigen a la atmosfera contamina el medio ambiente. Los gases contaminantes emitidos por los automóviles pueden tener una serie de impactos negativos en la atmósfera y en la salud humana, algunos de los problemas más comunes incluyen:

Contaminación del aire: Los gases emitidos por los autos, como el dióxido de carbono (CO_2), el monóxido de carbono (CO), el óxido de nitrógeno (NO_x) y los hidrocarburos, pueden causar problemas graves de calidad del aire. Estos gases pueden reaccionar con otros contaminantes para formar smog, que puede causar problemas respiratorios y de salud. Cambio climático: el CO_2 es un gas de efecto invernadero, lo que significa que atrapa el calor en la atmósfera y contribuye al cambio climático. Las emisiones de CO_2 de los autos son una de las principales causas del aumento de la temperatura global y el cambio climático. [6]

En el ámbito técnico automotriz se destaca que algunos talleres que frecuentemente realizan revisiones a vehículos, no tienen el nivel técnico necesario que de testimonio de una correcta reparación, ya que para estos sistemas es necesario un proceso de actualización y modernización en el manejo de herramientas y equipos para garantizar un óptimo trabajo en las nuevas tecnologías automotrices, sobre todo en sistemas a Diesel, que conlleva más complejidad en su funcionamiento, por lo que este sistema al fallar produce una gran cantidad de NO_x , tener en cuenta que la mezcla estequiométrica ideal es 14.5 partes de aire por 1 de combustible para un correcto funcionamiento del motor de combustión interna.[7]

El sistema CRDi es un sistema nuevo en el mercado ecuatoriano y está aumentando su volumen de ventas, con lo que se encuentra mucho más vehículos de pasajeros transitar en el país, una de las razones principales es la eficiencia del combustible, y las prestaciones que da el sistema al momento de manejar un vehículo Diesel, Pero por ser un sistema nuevo que se está introduciendo al país existen muchas complicaciones al momento de revisarlos o realizar los mantenimientos correctivos y preventivos, porque la falta de información técnica y personal capacitado no permite solucionar fallos en el vehículo, y en algunos casos imprecisiones en los manuales del fabricante, razón por la cual se vuelve muy confuso el arreglo de los automotores, donde ocasiono daños mayores, y en otras ocasiones sustituir elementos que no necesitan ser cambiados.[8]

El diagnóstico en el vehículo es un proceso no estandarizado lo que ocasiona que la información generada por los instrumentos de evaluación no sea entendida de

forma precisa por parte de los técnicos para la detección exacta de fallas en los diferentes sistemas del vehículo, en especial en el sistema de inyección directa de riel común (CRDi), ya que al utilizar un osciloscopio solo vamos a observar oscilogramas o graficas de voltaje que muchas veces no pueden ser interpretadas de igual manera nos sucede con la información que nos emite un multímetro ya que se puede observar voltajes resistencia o flujos de corriente que se puede interpretar de forma errónea de tal manera que no se pueda llegar a corregir el fallo en el vehículo.

Adicional al momento de realizar las revisión de los vehículos CRDi, se tiene muchos inconvenientes por la forma de su funcionamiento, que al manejar más sensores en la parte de control de presión de motor se necesita más herramientas para su diagnóstico, al mismo tiempo tenemos sensores parecidos al sistema OTTO pero trabajan de forma diferente, razón por el cual si analizamos uno de ellos como es el sensor MAP es muy similar al sensor BPS del sistema CRDi pero mientras que el uno mide presión negativa el otro mide presión positiva ejercida por el turbo, por esta razón en los técnicos existen grandes confusiones al momento de revisar estos vehículos, se le suma la falta de información que es un factor muy importante, sin menospreciar la experiencia que se tiene en este tipo de sistemas.

En la mayoría de las empresas a nivel nacional la capacitación al personal es mínima por esta razón muchas veces se llega a malos diagnósticos, ya que el personal que posee la empresa no puede leer diagramas, interpretar datos de los equipos y muchas veces no está capacitado ni para manejarlos de forma correcta, con lo cual no se llega a resolver el fallo, en otras ocasiones tenemos herramientas ya obsoletas que no sirven para la revisión de estos sistemas.

A continuación, se presenta en la Figura 1, La Matriz de Ishikawa, donde destacan las causas por la que se realizan revisiones erróneas en los vehículos CRDi.

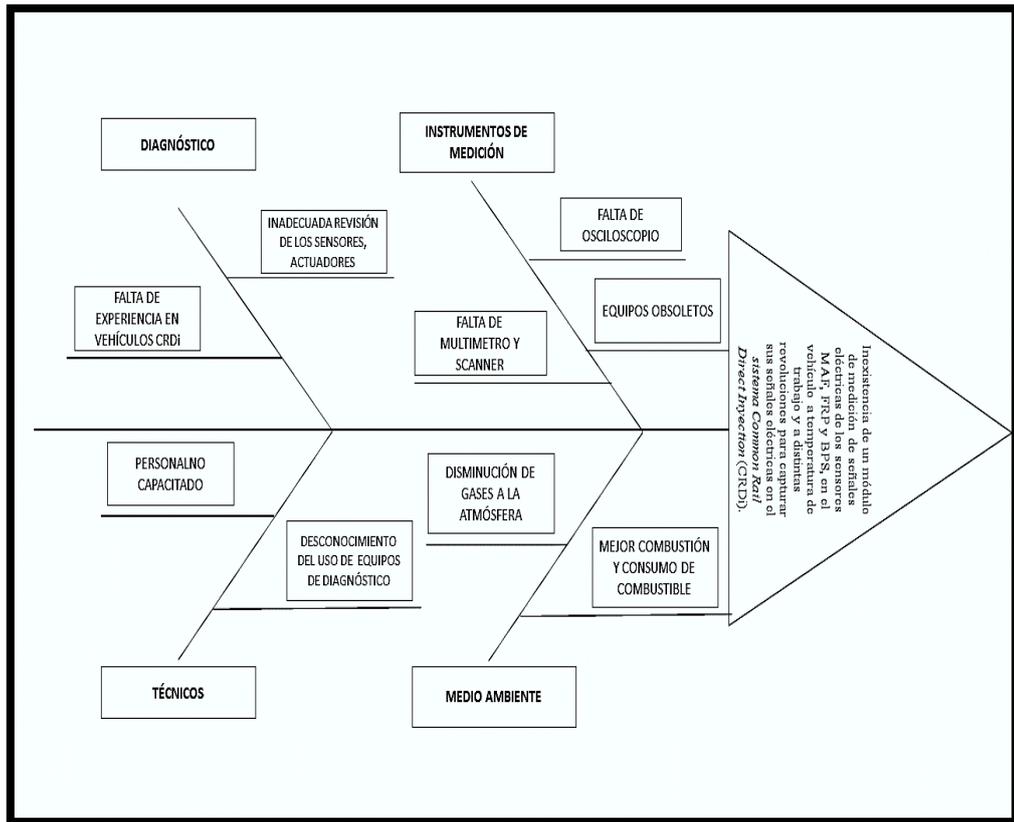


Figura 1. Matriz Ishikawa
Fuente: Autor

Formulación del problema

Sobre la base de lo expuesto anteriormente en el diagrama de Ishikawa; se establece como formulación del problema el siguiente:

Inexistencia de un módulo de medición de señales eléctricas de los sensores MAF, FRP y BPS, en el vehículo a temperatura de trabajo y a distintas revoluciones para capturar sus señales eléctricas en el *sistema Common Rail Direct Injection (CRDi)* y obtener una gráfica de comportamiento de los sensores.

A continuación, se presenta la matriz de operacionalización de variables; en donde se destacan las variables independiente y dependiente; como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE: Diagnóstico de señales eléctricas de los sensores MAF, FRPY BPS					
Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
La medición de cantidades eléctricas puede hacerse al medir parámetros eléctricos de un sistema. Usar transductores, propiedades físicas como la temperatura, presión, flujo, fuerza y muchas otras que pueden convertirse en señales eléctricas que se pueden registrar y medir	Parámetros eléctricos	Voltaje	V	Medición	Multímetro
		Corriente	Amp		Pinza amperimétrica
	Parámetros neumáticos	Flujo de aire	g/s		Escáner
	Sensores	Presión	Bar	Medición	Manómetro
		Velocidad	rpm		Tacómetro
	Señales eléctricas	Señales análogas	V	Observación, Medición	Osciloscopio, Multímetro
		Señales digitales	V, Hz		Osciloscopio, Multímetro
	VARIABLE INDEPENDIENTE: Gráfica de comportamiento de sensores				
Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Determina el correcto funcionamiento de los sensores analógicos y digitales del sistema CRDi comparado con valores estándares de los manuales del vehículo.	Gráfica de señales eléctricas	Error	%	Medición	Módulo de adquisición de datos
	Datos capturados	Promedio	V, Hz	Medición	Módulo de adquisición de datos

Fuente: Autor

Objeto de Investigación:

Módulo de medición de señales eléctricas de los sensores MAF, FRP, BPS en vehículos con sistema *Common Rail Direct Inyection (CRDi)* de la camioneta VW AMAROK.

Campo de Acción:

El sistema de inyección CRDi, Según la UNESCO el campo de acción al que está dedicado este tema se lo refleja en la Tabla 2.

Tabla 2. Campos de acción UNESCO

Nomenclatura internacional de UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología			
330000 Ciencias y Tecnologías.			
CÓDIGO	APLICACIÓN	SUB CÓDIGO	APLICACIÓN
3313	Tecnología e ingeniería mecánicas	3313.13	Motores de combustión interna
3317	Tecnología de vehículos de motor	331704	Motores Diesel

Fuente: Unesco

Objetivo General

Realizar un módulo de medición de señales eléctricas de los sensores MAF, FRP y BPS, en el vehículo a temperatura de trabajo y a distintas revoluciones para capturar sus señales eléctricas en el *sistema Common Rail Direct Injection (CRDi)* y obtener una gráfica de comportamiento de los sensores.

Objetivos Específicos:

- Investigar sobre el objeto de estudio, mediante la revisión de fuentes bibliográficas e investigaciones de relevancia.
- Diseñar un módulo de control para revisión de señales automotrices con los sensores MAF, FRP, BPS para aplicarlos en el sistema CRDi de la camioneta VW Amarok.
- Implementar un módulo de adquisición de señales eléctricas en la mecánica a Diesel El Monito en la ciudad de Riobamba.
- Validar el funcionamiento del módulo de adquisición de datos realizar pruebas de funcionamiento sobre los sensores del vehículo el vehículo

Tabla 3. Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos

Fuente : Autor

Objetivos específicos	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad
Investigar sobre el objeto de estudio, mediante la revisión de fuentes bibliográficas e investigaciones de relevancia.	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de referencias bibliográficas • Revisión de investigaciones de relevancia sobre el objeto de estudio del campo de acción. • Revisión de funcionamiento de sistemas CRDi. 	Recolectar información necesaria para el desarrollo	Se va a recopilar información técnica de manuales de taller, revisión de tesis relacionadas, reelección de datos con instrumentos de diagnóstico.
Diseñar un módulo de control para revisión de señales automotrices con los sensores MAF, FRP, BPS para aplicarlos en el sistema CRDi de la camioneta VW Amarok.	<ul style="list-style-type: none"> • Presentación señales patrón de los sensores MAF, FRP y BPS de la camioneta VW Amarok. • Programación la tarjeta Arduino para controlar de manera efectiva el módulo de control. • Diseño de un módulo base para adquisición de datos. 	El diseño del módulo de control, cálculos, diagramas de diseño, diagramas de flujo la programación	Se a diseñar un módulo base el cual se va a encargarse de adquirir el tipo de señal que emite los sensores del vehículo y va a realizar una comparación para su correcto diagnóstico.
Implementar de un módulo de adquisición de señales eléctricas en la mecánica a Diesel El Monito en la ciudad de Riobamba.	<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas de sincronización del módulo al software para adquisición de datos • Elaboración de cubierta para el módulo • Implementación del módulo en la Mecánica a Diesel “El Monito”. 	Implementación de forma adecuada del módulo de adquisición de señales eléctricas en la mecánica a Diesel El Monito en la ciudad de Riobamba.	Se va implementar un módulo que ayude al diagnóstico y la revisión de los vehículos mediante la obtención de una gráfica de comportamiento de los sensores del vehículo-
Validar el funcionamiento del módulo de adquisición de datos realizar pruebas de funcionamiento sobre los sensores del vehículo el vehículo	<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas sobre los sensores del vehículo a ralentí. • Pruebas en el vehículo a carga completa. • Implementación un manual de usuario para el uso del módulo. • Socialización con los técnicos el manejo del módulo se señales eléctricas de los sensores MAF, FRP y BPS. 	Validar la información obtenida de los sensores	Se va realizar diferentes pruebas de funcionamiento para saber cómo actúan los sensores del vehículo y determinar estos fallan. Inducción de funcionamiento del módulo de señales eléctricas para el uso correcto con su respectivo manual del sensor MAF, FRP, BPS

Justificación:

Al momento de realizar la revisión de los vehículos en los diferentes Talleres Automotrices, se puede observar que en la mayoría de técnicos no tienen bases sólidas de los conocimientos que se necesitan para la revisión de los sistemas Diesel CRDi, también se evidencia que la sustitución de piezas electrónicas se las hace de forma empírica, o cambio del elemento a otro auto que este en correcto funcionamiento, o prueba-error del sensor o elemento que se esté comprueba, con lo que muchas veces no llegan a la solución del daño, también se observa que para la revisión de sensores no se apoyan de una base de datos, tampoco disponen de manuales que especifican datos importantes al momento de la revisión. Todo esto conlleva a que ellos vehículos tengan un mal funcionamiento y eleve el consumo de combustible y se desequilibre la mezcla estequiométrica y se produce mayor contaminación en el medio ambiente.

Por esta razón al desarrollar el módulo de adquisición de datos se puede mejorar en tiempo el diagnostico de los vehículos CRDi, ya que el módulo integra información real de los sensores adquirida directamente del vehículo, de esta forma se evita la sustitución de piezas electrónicas de forma innecesaria al saber cuál es el correcto funcionamiento de cada uno de los sensores para no cometer errores.

En este sentido, con el desarrollo de la presente investigación se pretende tener grandes beneficios en el ámbito automotriz, ya que se trata de un módulo que capte las señales eléctricas para su análisis gráfico en MATLAB de los sensores automotrices MAF, FRP y BPS y con ello poder compararlos y determinar si se procede o no al cambio de los sensores.

Hipótesis:

La implementación de un módulo de medición de señales eléctricas de los sensores MAF, FRP y BPS, en el vehículo a temperatura de trabajo y a distintas revoluciones permitirá capturar sus señales eléctricas en el *sistema Common Rail Direct Injection* (CRDi) y obtener una gráfica de comportamiento de los sensores.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1. Introducción y objetivo del capítulo

En el presente capítulo se va a detallar la base teórica y los fundamentos necesarios para proceder en la construcción del módulo de adquisición de señales eléctricas de los sensores MAF, FRP, BPS, en vehículos con sistema *Common Rail Direct Injection* (CRDi), mediante una tarjeta electrónica para un correcto diagnóstico de funcionamiento de los sensores y el funcionamiento del motor de combustión interna. Con lo cual se va a revisar investigaciones de relevancia para cumplir con el objeto mencionado.

1.1 Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte

En la actualidad, los sistemas de inyección son más eficientes y han aparecido gracias al desarrollo de herramientas informáticas y de modelamiento electrónico. Estudios realizados en los diferentes sistemas que existen en la actualidad se puede observar distintas conclusiones al momento de experimentar frente a nuevas técnicas de control, por ejemplo, se revisaron los siguientes antecedentes:

En España se realizó el tema de titulación de David Sáinz Casas, titulado "Adaptación de un motor de combustión interna alternativo de gasolina para su funcionamiento con hidrógeno como combustible: Aplicaciones energéticas y automotrices", aborda los desafíos actuales en la política energética y medioambiental de la Unión Europea. Se enfoca en la necesidad de implementar políticas y medidas para mitigar el calentamiento global, mejorar la calidad del medio ambiente y reducir el consumo energético, dado que el sector del transporte

es responsable de aproximadamente el 25% de las emisiones, principalmente de NOx y CO2 generados por los vehículos de motor de combustión interna.

El objetivo del trabajo de titulación es demostrar de manera práctica la viabilidad de convertir motores de gasolina de encendido provocado para que funcionen con hidrógeno como combustible. Este trabajo experimental se lleva a cabo en el laboratorio de motores térmicos "Carlos Sopena" de la Universidad Pública de Navarra, ubicado en Pamplona. Se instaló una celda de ensayos en el motor, la cual cuenta con un freno electromagnético de corrientes parásitas AVL-80 capaz de medir potencias de hasta 80 kW, junto con un sistema de control BME-300 que permite manejar el freno en cuatro modos. Este freno electromecánico mide el par motor efectivo mediante una célula de carga y el régimen de giro del motor mediante un sensor inductivo, que a su vez permite variar la posición del acelerador mediante un motor paso a paso. El motor es gestionado por una unidad electrónica de control MOTEC M400, que incluye un datalogger para registrar los parámetros de funcionamiento del motor, como los tiempos de inyección, el avance de encendido, las temperaturas y el dosado.

Para recopilar información sobre el comportamiento del motor durante los ensayos, se incorporó un sistema de adquisición de datos NI CompactDAQ, el cual registra los parámetros de funcionamiento. Se agregó un medidor de caudal másico de aire Bronkhorst para medir el caudal de aire y otro medidor de caudal másico Bronkhorst en la línea de alimentación del motor para medir el caudal de hidrógeno. Ambos dispositivos están conectados al sistema de adquisición de datos para su monitorización y registro. Se instaló un analizador HORIBA MEXA 720NOx para el análisis de gases de escape, el cual utiliza un sensor de oxígeno que se conecta al sistema de adquisición de datos. La captura de todos estos parámetros resulta fundamental para llevar a cabo ensayos en el motor y estudiar el consumo y las emisiones en diferentes puntos de operación con el fin de optimizar su funcionamiento. El software LabVIEW se utiliza para la adquisición y el tratamiento de estas señales, mediante un programa desarrollado específicamente para este propósito, el cual adquiere, convierte las señales a sus magnitudes reales, las presenta en tiempo real y las registra en archivos. En

conclusión, se ha demostrado que la conversión de motores de gasolina de encendido provocado para que funcionen con hidrógeno es factible, relativamente sencilla y económica. [9]

En Valencia, Jaime Martín Díaz, en su trabajo de titulación titulado "Aportación al Diagnóstico de la Combustión en Motores Diesel de Inyección Directa" realizado en la Universidad Politécnica de Valencia, destaca que los motores Diesel han evolucionado como la opción más eficiente en aplicaciones automotrices. Los avances en el control electrónico y los sistemas de inyección directa han permitido la incorporación de esta tecnología en motores Diesel cada vez más pequeños. Las innovaciones en sistemas de sobrealimentación han logrado mejoras significativas en comparación con los motores Diesel anteriores. El análisis de la inyección-combustión desempeña un papel fundamental para comprender cómo los ajustes afectan la forma en que se quema el combustible y su impacto en las emisiones y el rendimiento.

El objetivo de este trabajo de titulación es contribuir a mejorar el proceso de diagnóstico de la combustión a través de la señal de presión en los sistemas Diesel. Se busca desarrollar un procedimiento confiable para ajustar los parámetros inciertos que influyen en el diagnóstico de la combustión.

Para llevar a cabo este trabajo, se realiza una revisión bibliográfica del estado del arte en el diagnóstico de la combustión. Se identifican parámetros que pueden afectar significativamente los resultados del diagnóstico y se realiza un estudio de sensibilidad del modelo de diagnóstico. Las técnicas utilizadas para el diagnóstico de la combustión incluyen experimentos en motores reales, cálculos teóricos basados en modelos y diagnóstico basado en la medición de señales experimentales. Se consideran variables medidas que son independientes del tipo de motor que se desea diagnosticar. Las principales variables de control son el régimen de giro, la temperatura media del gas en el colector de admisión, la presión media del gas en el colector de admisión, la temperatura del refrigerante y la presión media de inyección. Por otro lado, las principales variables medidas son el par, el flujo de aire, el flujo de combustible y el flujo de blow-by. Con estos datos, se desarrolla un modelo termodinámico de la presión instantánea en el

cilindro, el cual es una herramienta valiosa para el estudio de la combustión en motores de combustión interna alternativos.

Como conclusión, se justifican los resultados obtenidos en el estudio de la combustión. El error en el flujo de aire tiene un efecto moderado a lo largo de todo el ciclo de combustión debido a su impacto en la temperatura. La relación de compresión varía durante el ciclo de combustión en lazo cerrado. [10]

En Sevilla José Antonio Becerra Villanueva, en su trabajo de titulación titulado "Metodología para el estudio de las causas de rotura de cigüeñales en motores de combustión interna alternativos. Aplicación en un modelo de mantenimiento predictivo" realizado en la Universidad de Sevilla, destaca la importancia de los ejes cigüeñales en el funcionamiento de los motores de combustión interna. Aunque los fallos en los cigüeñales no son muy frecuentes, su ruptura puede tener consecuencias significativas en la integridad y disponibilidad de los motores. El análisis de los componentes fracturados proporciona información para determinar las causas de la falla. Entre los fallos más comunes se encuentran los fallos por fatiga, que representan aproximadamente el 40% de los fallos en la industria.

El objetivo del estudio es realizar investigaciones previas sobre la rotura de cigüeñales, para lo cual se preseleccionaron una serie de casos documentados en artículos. Por ejemplo, se menciona un caso de fractura en un motor Diesel de 12 cilindros en la zona del cojinete con mayor desgaste, cerca de la zona de rotura, con un plano de fractura de 45 grados. También se observan roturas prematuras en la zona de unión entre el soporte y la muñequilla en motores de dos cilindros.

Para el desarrollo del estudio, se analizaron las fuerzas ejercidas sobre los componentes del sistema y se creó un modelo de presión en la cámara del motor de combustión interna. Se compararon datos de compresión, combustión y expansión del sistema, y se implementaron modelos de comportamiento del sistema utilizar métodos de elementos finitos, análisis dinámico y análisis torsional aplicados a un motor de 3 cilindros. Se realizaron ensayos a diferentes revoluciones para realizar la comparación de datos.

Como conclusión, se puede afirmar que la metodología se aplicó con éxito para determinar las causas de las fallas en tres sistemas con roturas de cigüeñales. Se determinó que no existían fallos de fabricación ni tratamientos deficientes en los componentes, y se observó que las grietas provocan un deterioro gradual de la rigidez del cigüeñal a medida que avanzan. [11]

En Colombia, en su tema de titulación titulado "Análisis del desempeño de la potencia y torque de un motor Diesel con mezclas de biodiesel de palma", Daniel Andrey Herrera Susa destaca la importancia del desarrollo de nuevos biocombustibles, específicamente en el campo de los motores de combustión interna. El objetivo central de la investigación es abordar el desafío de la pérdida de rendimiento térmico en estos motores.

El estudio realizado en la Universidad Francisco de Paula Santander se enfocó en analizar el desempeño de un motor mono cilíndrico encendido por compresión utilizar mezclas de diésel convencional y un biodiesel producido con técnicas innovadoras a partir de aceite de palma africana. Se llevó a cabo un análisis en un banco de pruebas al utilizar diferentes mezclas de biodiesel (B2, B5, B10, B20, B50 y B100), donde el número indica el porcentaje de biodiesel en la mezcla. Los datos recopilados, incluir potencia, torque, consumo de combustible y temperatura, proporcionaron información sobre el desempeño del motor y los efectos de los diferentes combustibles evaluados.

Los resultados mostraron que la combustión se produjo sin problemas en todas las mezclas analizadas. Sin embargo, al aumentar el porcentaje de biodiesel en la mezcla, se observaron incrementos en el consumo de combustible superiores al 20% y una pérdida de potencia del 40% en comparación con el diésel convencional.

En conclusión, se determinó que la mezcla B20 presentó los valores de potencia más estables en términos de rendimiento térmico. Este estudio fortalece el conocimiento en el campo de los biocombustibles y ofrece información relevante sobre el comportamiento del desempeño de motores Diesel al operar con mezclas de biodiesel de palma. [12]

En Cuba, Edilberto Antonio Llanes Cedeño y Yans Guardia Puebla realizaron una investigación en la Universidad Internacional SEK titulada "Detección de fallas en motores de combustión mediante indicadores de temperatura y presión de inyección". Su objetivo era utilizar la presión de inyección y la temperatura como indicadores para detectar fallas en motores de combustión interna de manera temprana. El estudio se llevó a cabo en los grupos generadores de la Empresa de Mantenimiento, específicamente en los grupos Electrógenos FUELOIL en la provincia cubana de Granma.

Mediante la medición de la tensión y corriente del estator del generador, se identificaron defectos en los componentes de los generadores impulsados por motores de combustión interna, como fallas en las válvulas de admisión y compresión debido al desgaste de los cilindros. La investigación abarcó un período de 36 meses y se recopilaban datos de los 16 motores Hyundai de 1.7 MW de la empresa.

Se utilizó un registro operativo de fallas para recopilar la información, incluir la identificación de averías, clasificación por sistemas, identificación de causas de fallos, tiempo entre fallas y tiempo medio entre fallas. Los resultados y gráficos se analizaron con el paquete estadístico Statgraphics.

Los investigadores concluyeron que la presión de inyección y la temperatura en las cámaras de combustión son indicadores influyentes en la detección de fallas en los motores de combustión interna Hyundai 1.7 MW, y que las fallas relacionadas con la temperatura son más frecuentes que las relacionadas con el sistema de inyección. [13]

En su tesis titulada "Aplicación informática para adquirir datos mediante el dispositivo OBD2", Yandry Roger García Pérez de la Universidad de Ciencias Informáticas destaca que los sistemas de control electrónico en los automóviles desempeñan un papel fundamental en el monitoreo y control de las emisiones, gracias al sistema OBD2. Esta innovación ha revolucionado la industria automotriz al permitir la detección de fallas en el sistema de inyección.

El objetivo principal de la investigación es adquirir los datos provenientes de la unidad de control electrónico del motor de los vehículos para el proceso de diagnóstico, e implementar un sistema de adquisición de datos. Para lograrlo, se capturan las señales analógicas del motor y se convierten en señales digitales para su procesamiento, análisis y almacenamiento en una computadora. Esto se logra utilizar una tarjeta de adquisición de datos, en este caso, la tarjeta Arduino Uno, que captura la señal analógica y la convierte en señal digital mediante un conversor analógico-digital. Se llevó a cabo un análisis del sistema OBD2 utilizar esta tarjeta.

Como resultado, se desarrolló una aplicación para la adquisición de datos en vehículos utilizar una placa Arduino Uno como simulador del sistema OBD2. Esta investigación proporciona una herramienta útil para el diagnóstico y monitoreo de vehículos mediante la adquisición de datos del sistema de control electrónico. [14]

En Ecuador, Chafuel España Albaro Jhojan, en su investigación titulada "Diseño y construcción de un sistema de simulación para pruebas en banco de sensores y actuadores del sistema de gestión electrónica del motor de combustión interna" de la Universidad Técnica del Norte, destaca que el sistema de control electrónico y el módulo de control ECU son responsables de monitorear y controlar la dosificación precisa de combustible en la cámara de combustión. Sin embargo, existen herramientas y equipos de diagnóstico costosos en el mercado que se centran en sistemas automotrices específicos, dejar fuera una amplia gama de sensores y actuadores disponibles.

Con el objetivo de superar esta limitación, se propone la construcción de un banco de pruebas universal que permita el diagnóstico de sensores y actuadores mediante la simulación de señales, curvas y valores de voltaje. Para lograrlo, se utiliza un microcontrolador Arduino que genera pulsos modulados en ancho de pulso para controlar los actuadores y simular condiciones como régimen de giro, temperatura y flujo de aire. La ventaja de este enfoque es que no se requiere el uso de un vehículo real para realizar el monitoreo.

El proceso de desarrollo implica la creación de circuitos internos para el control de sensores y actuadores, así como el uso de un software para verificar el correcto

funcionamiento de los circuitos. El control de los actuadores se realiza mediante la señal PWM generada por el software Arduino. Se llevan a cabo pruebas en el banco de pruebas para verificar el funcionamiento y se concluye con la adaptación de pines para la conexión de sensores y actuadores.

En resumen, el banco de pruebas desarrollado es capaz de simular diferentes sensores y generar alimentaciones y señales para probar su funcionamiento. Este enfoque proporciona una solución más versátil y económica para el diagnóstico de sensores y actuadores en el sistema de gestión electrónica del motor de combustión interna. [15]

1.2 Fundamentación Teórica

1.2.1 Sistemas de inyección CRDI

El sistema de inyección Common Rail, también conocido como sistema de conducto común, es un sistema electrónico de inyección de combustible utilizado en motores diésel de inyección directa. En este sistema, el combustible es aspirado directamente del depósito hacia una bomba de alta presión, que a su vez envía el combustible a un conducto común distribuir la presión a todos los inyectores.

Gracias al desarrollo de la gestión electrónica en los sistemas de inyección de combustible, se ha logrado incorporar la inyección diésel en vehículos livianos que antes se consideraban exclusivos para vehículos pesados.

El Sistema de Inyección Diésel Common Rail (CRDi), es un sistema de inyección de alta presión controlado electrónicamente. Es capaz de generar volumen y presión de combustible de acuerdo a los diferentes regímenes de trabajo, almacenar la alta presión en el riel. En este tipo de sistemas, los inyectores son comandados por la unidad de control y pueden generar varios pulsos de inyección, como la inyección piloto o pre-inyección (para reducir el ruido de la combustión), la inyección principal (para proporcionar potencia) y la post-inyección (que ayuda a reducir la contaminación). Esto resulta en un funcionamiento más silencioso y una reducción significativa de los óxidos de nitrógeno (NOx) durante la combustión, contribuir así a la protección del medio ambiente. [16]

A diferencia de los sistemas convencionales que utilizan una bomba rotativa para una inyección mecánica, los inyectores utilizados en los sistemas Common Rail son accionados electrónicamente, lo que proporciona una mayor precisión en la inyección de combustible y una mejor combustión.

El combustible almacenado en el tanque es enviado a la parte de alta presión mediante una bomba eléctrica o de succión. Luego, ingresa a un solenoide de control de succión de combustible, que suministra el combustible a la zona de alta presión, alimenta así el riel común y los inyectores de alta presión. La unidad de control electrónico (ECU) envía pulsos a los inyectores para que se realice el proceso de atomización en la cámara de combustión.

En el caso de los inyectores, el proceso de atomización se logra gracias a la diferencia de presiones en el cuerpo del inyector. La presión del riel actúa en la cañería principal, y llega hasta la punta de la tobera, mientras que la presión en el retorno ejerce fuerza sobre un vástago, que evita la apertura de la tobera. Esta diferencia de presiones en el cuerpo del inyector provoca la apertura de la tobera y la atomización del combustible. La línea de retorno está controlada por una bobina y un muelle que presionan el vástago del inyector. La ECU envía un pulso para la apertura de la tobera, permitir la pulverización del combustible en la cámara de combustión.

En el mercado ecuatoriano, existen diferentes marcas de inyectores, como Bosch, Denso, Delphi y Continental. Cada fabricante de vehículos decide la instalación del sistema de inyección en sus vehículos. Por ejemplo, marcas como Toyota, Mitsubishi y Hino utilizan el sistema de inyección Denso, mientras que Mercedes Benz, Hyundai, Kia y Ssangyong optan por los sistemas de inyección Delphi y Bosch. En la actualidad, marcas como Ford y Mazda utilizan sistemas de inyección Continental.

Todos estos sistemas mencionados anteriormente en las diferentes marcas de vehículos están diseñados para reducir al máximo la contaminación ambiental. El objetivo es cumplir con las regulaciones y normas de emisiones, y contribuir así a la preservación del medio ambiente.

El sistema de inyección Common Rail es un avance tecnológico en la industria automotriz que ha permitido la incorporación de la inyección diésel en vehículos livianos. Con su funcionamiento electrónico y capacidad de generar altas presiones de inyección, estos sistemas proporcionan una mejor eficiencia y reducción de emisiones, cumplir con los estándares ambientales actuales, en la Figura 2, Se describe el funcionamiento del sistema CRDi.[17]

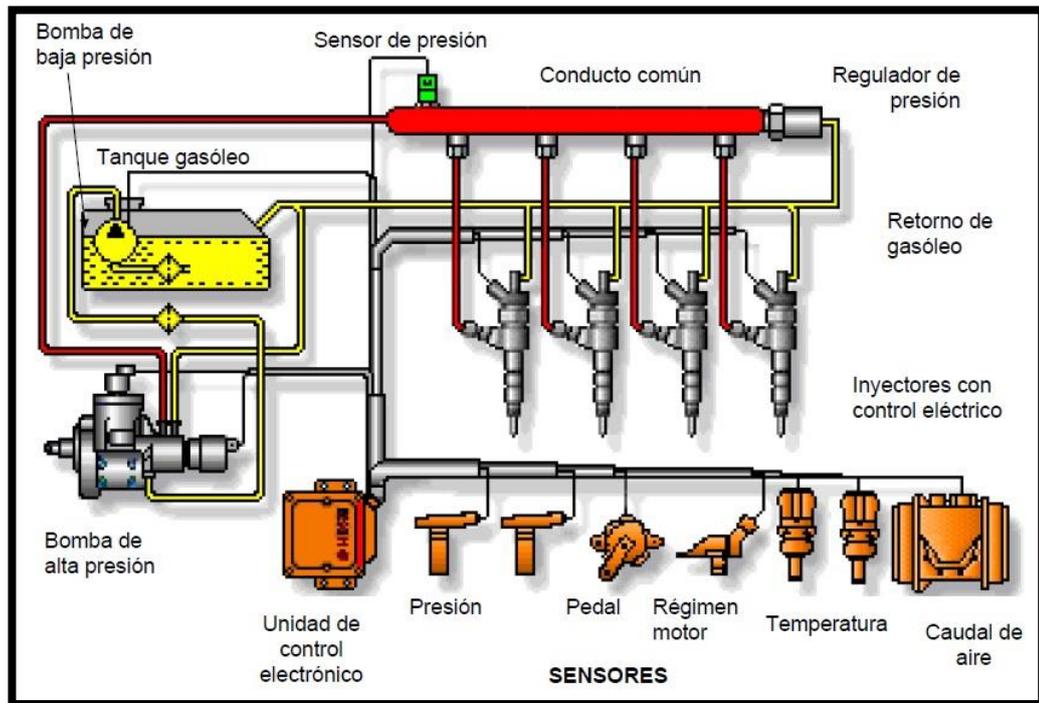


Figura 2. Circuito de baja y alta presión del sistema CRDi Bosch
Fuente:[18]

1.3 Sistemas específicos CRDI

1.3.1 Sistema Bosch

Los sistemas de inyección Common Rail de Bosch están compuestos por diversas partes fundamentales que trabajan en conjunto para garantizar un rendimiento óptimo. Estas partes incluyen una bomba de baja presión, un riel común, una bomba de alta presión, inyectores electrónicos y válvulas de control de presión. Bosch es reconocida como la marca líder en inyectores y sistemas Common Rail.

Bosch es conocida por su extensa experiencia y presencia en el mercado de inyección diésel. Actualmente, ofrece una amplia gama de bombas de alta presión

para vehículos de turismo, que incluyen los modelos CP1, CP2, CP3 y CP4. Se utiliza también para vehículos pesados e industriales, donde encontramos las bombas CP2 y CP3. Estas bombas son diseñadas con los más altos estándares de calidad y confiabilidad para satisfacer las necesidades de diferentes tipos de vehículos.

Los inyectores, Bosch ofrece dos tipos principales de control electrónico: los de válvulas magnéticas y los piezoeléctricos. Los inyectores controlados por válvulas magnéticas son completamente reparables, lo que permite un mantenimiento más accesible y rentable. Por otro lado, los inyectores piezoeléctricos permiten la comprobación y la sustitución de ciertos elementos, aunque no son completamente reparables.

El sistema Bosch se destaca por su compromiso con la calidad y la innovación en el campo de los sistemas de inyección diésel. Su liderazgo en el mercado y su amplia oferta de bombas de alta presión, opciones de inyectores hacen de Bosch una elección confiable para los fabricantes de automóviles y los propietarios de vehículos diésel. [19]

1.3.2 Sistema Denso

El sistema de inyección Denso es reconocido como uno de los fabricantes líderes en el campo de los sistemas de inyección diésel. A fines de 1995, Denso lanzó su primer sistema Common Rail, el cual ha seguido desarrollando y mejorando continuamente desde entonces. Un hito destacado de Denso fue la introducción en el mercado europeo, en junio de 2002, de un sistema Common Rail con una presión de hasta 1.800 bares.

Los sistemas Common Rail de Denso se caracterizan por su capacidad para alcanzar altas presiones de inyección y, al mismo tiempo, ofrecer hasta cinco inyecciones múltiples con una gran precisión. Esta tecnología avanzada permite un control más preciso de la inyección de combustible, lo que mejora la eficiencia del motor y reduce las emisiones contaminantes.

Este sistema es altamente efectivo ya que cumple con los estándares de emisiones a nivel mundial. De hecho, este sistema superó con facilidad las regulaciones de

emisiones de la norma Euro 4, incluso sin la necesidad de un filtro de partículas diésel. Esto demuestra la capacidad del sistema Denso para ofrecer soluciones avanzadas y eficientes que contribuyen a la protección del medio ambiente. [20]

1.3.3 Sistema Delphi

Delphi es reconocido como un fabricante de renombre en el campo de los equipos de inyección diésel clásicos. La empresa ingresó al mercado de los sistemas Common Rail para vehículos de turismo poco después de la introducción de los sistemas de Bosch. Ha logrado una amplia presencia en marcas europeas como Renault y se destaca por ser el pionero en implementar este sistema en Mercedes Benz. En la actualidad, Delphi suministra componentes a diversos fabricantes de automóviles en todo el mundo.

Una de las ventajas destacadas de los inyectores Common Rail Delphi es su capacidad de ser reparados en el mismo vehículo en un tiempo reducido. Esto se logra gracias a la disponibilidad de repuestos originales a precios asequibles. Tanto las bombas de alta presión como los inyectores que están diseñados para ser completamente reparables, lo que facilita el mantenimiento y la sustitución de piezas sea necesario.

La calidad y la confiabilidad de los sistemas de inyección diésel de Delphi han sido reconocida en la industria automotriz, brinda a los propietarios de vehículos y a los técnicos la flexibilidad y la conveniencia de realizar reparaciones eficientes y económicas. [21]

1.3.4 Sistema Siemens

El sistema Common Rail, también conocido como Siemens o sistema Continental, ha ganado popularidad en la industria automotriz. Este sistema lleva el nombre de Continental después de la adquisición de la filial VDO por parte de Siemens. Durante mucho tiempo, la empresa VDO se había dedicado a la fabricación de componentes para automóviles, especialmente en el área de los motores de gasolina y la gestión electrónica del motor.

Siemens, por su parte, incursionó en el suministro de equipos Common Rail en el año 2000 para Citroën/Peugeot. Si bien las bombas de alta presión de este sistema

presentan similitudes con las bombas del sistema Bosch, su característica distintiva radica en el uso de la tecnología piezoeléctrica para la activación de los inyectores.

La tecnología piezoeléctrica empleada en el sistema Common Rail de Siemens ofrece ventajas significativas. Los elementos piezoeléctricos utilizados en los inyectores permiten una respuesta más rápida y precisa, lo que contribuye a una mejor atomización del combustible y una mayor eficiencia en la combustión. Estos inyectores piezoeléctricos son capaces de realizar múltiples inyecciones por ciclo de combustión, lo que optimiza la distribución del combustible y reduce las emisiones. [22]

1.3.5 Módulo de control

El módulo de control es el componente principal encargado de gestionar el sistema Common Rail en el motor de combustión interna. Se trata de una tarjeta electrónica que incorpora una programación específica diseñada para leer y procesar las señales provenientes de los sensores estratégicamente ubicados en el motor.

La función principal del módulo de control es controlar y supervisar diversas operaciones necesarias para el correcto funcionamiento del motor diésel. Entre las funciones que desempeña se encuentran: gestionar el volumen de combustible suministrado a la bomba de alta presión, controlar el tiempo de apertura de los inyectores, regular el número de inyecciones, entre otras.

El módulo de control se compone de un hardware y un software (firmware). El hardware incluye un microcontrolador que contiene el mapa de programación necesario para realizar los cálculos y tomar decisiones. Cuenta con una memoria EPROM o un chip de memoria flash para almacenar la programación.

La ECU (Unidad de Control Electrónico) consta de varias características para cumplir con su función. Esto incluye entradas y salidas analógicas y digitales de alta y baja frecuencia, un dispositivo de control de potencia, al menos un protocolo de comunicación y matrices de conmutación para gestionar señales de alta y baja frecuencia, entre otras.

El módulo de control es el componente principal del sistema Common Rail en el motor diésel. Su función es leer y procesar las señales de los sensores, controlar las operaciones esenciales del motor para garantizar un funcionamiento óptimo. Está compuesto por un hardware con un microcontrolador y una memoria en la Figura 3. Se observa una ECU. [23]

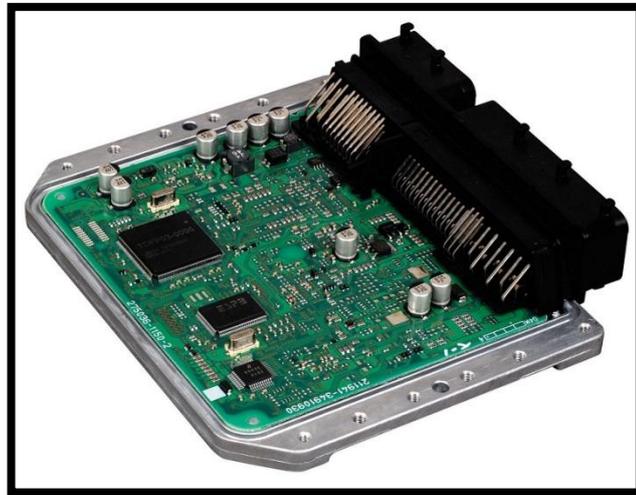


Figura 3. Módulo de control del motor ECU
Fuente: [24]

1.4 Componentes que integran un sistema CRDi

1.4.1 Elementos del sistema CRDi

Los componentes del sistema de inyección se destacan por su notable robustez y precisión. Estas características son esenciales debido a que el sistema opera a altas presiones tanto en condiciones de baja carga como en cargas elevadas. Así mismo, requiere un funcionamiento altamente preciso de todos los componentes en movimiento para garantizar su eficiencia y cumplir con los requisitos para los que fue diseñado.

La elevada presión de funcionamiento del sistema de inyección diésel es un desafío significativo que los componentes deben enfrentar. La presión del combustible en el sistema puede ser extremadamente alta, y es crucial que los componentes estén diseñados y fabricados con una gran resistencia para soportar estas condiciones exigentes de manera confiable.

La eficiencia y el cumplimiento de los requerimientos del sistema dependen de la interacción perfecta entre todos los componentes en movimiento. Desde la bomba de combustible hasta los inyectores, cada uno debe operar con precisión y sincronización para garantizar el rendimiento óptimo del motor diésel. [17]

1.5 Sensores del sistema CRDi

1.5.1 Sensores

Los sensores desempeñan un papel crucial en el funcionamiento de los sistemas de inyección diésel al transformar diversas magnitudes físicas en señales eléctricas. Estos dispositivos electrónicos captan y convierten parámetros importantes, como la presión de aire, la presión de combustible, la temperatura y las revoluciones del motor, en señales eléctricas que luego son enviadas a una unidad de control electrónico.

Cada tipo de sensor está diseñado para medir una magnitud específica y proporcionar una lectura precisa de dicha magnitud. Por ejemplo, los sensores de presión son capaces de detectar la presión de aire y la presión de combustible en el sistema de inyección diésel, mientras que los sensores de temperatura miden la temperatura del motor o del líquido refrigerante.

La unidad de control electrónico recibe las señales eléctricas de los sensores y las utiliza para obtener una lectura detallada de los parámetros del sistema de inyección diésel. Esta información es esencial para garantizar el correcto funcionamiento y rendimiento del motor. Basándose en los datos de los sensores, la unidad de control electrónico toma decisiones críticas, como ajustar la cantidad de combustible inyectado, optimizar la mezcla de aire y combustible, y regular la presión en el sistema de inyección.

Los sensores desempeñan un papel esencial al transformar magnitudes físicas en señales eléctricas para proporcionar una lectura precisa de parámetros clave en los sistemas de inyección diésel. Estos datos son fundamentales para que la unidad de control electrónico tome decisiones informadas y garantice un funcionamiento óptimo del motor diésel.[25]

1.5.2 Sensor CKP

El sensor de posición del cigüeñal desempeña un papel fundamental en el sistema de control del motor de combustión interna. Su función principal consiste en reconocer y registrar la posición del cigüeñal durante su rotación. Este sensor puede ser de tipo magnético o inductivo, y su objetivo es proporcionar información precisa a la computadora del vehículo (ECU).

El sensor de posición del cigüeñal informa a la ECU sobre el giro del cigüeñal, permitir a la ECU determinar la ubicación exacta del punto muerto superior (PMS) del motor. El PMS es un momento crucial en el ciclo de combustión, ya que define el inicio de la inyección de combustible y la sincronización adecuada de las chispas de encendido.

Una vez que la ECU conoce la posición del cigüeñal y ha identificado el punto muerto superior, puede definir la estrategia de inyección de combustible, ajustar la cantidad y el tiempo preciso de inyección. La ECU utiliza esta información para coordinar otros aspectos del funcionamiento del motor, como el encendido de las chispas en las bujías.

El sensor de posición del cigüeñal es esencial para el correcto funcionamiento del motor de combustión interna. Al reconocer y comunicar la posición del cigüeñal a la ECU, este sensor permite la determinación del punto muerto superior y la implementación de estrategias precisas de inyección de combustible y encendido. Gracias a ello, se logra un rendimiento óptimo y una combustión eficiente del motor. [26]

1.5.3 El sensor CMP

El sensor de posición del árbol de levas desempeña un papel crucial en el sistema de control del motor. Se encuentra ubicado estratégicamente cerca del árbol de levas para detectar y registrar su posición. Los sensores utilizados pueden ser de efecto Hall o inductivos, y su función es identificar con precisión la posición exacta de la apertura de las válvulas.

Estos sensores captan los cambios magnéticos o electromagnéticos generados por el árbol de levas en movimiento, lo que les permite determinar la posición del mismo en tiempo real. Una vez que el sensor detecta la posición del árbol de levas, envía una señal eléctrica a la Unidad de Control Electrónico (ECU).

La ECU procesa esta información y utiliza los datos de posición del árbol de levas para sincronizar y coordinar el funcionamiento del motor. Una de las acciones que realiza la ECU es enviar un pulso de inyección a los inyectores de combustible en el momento preciso en el ciclo de combustión. Esto asegura que los inyectores se abran y suministren la cantidad adecuada de combustible en el momento exacto en que las válvulas se abren, optimizar así el rendimiento y la eficiencia del motor.

El sensor de posición del árbol de levas, ubicado cerca de este componente esencial del motor, detecta y registra su posición para proporcionar datos precisos a la ECU. La ECU utiliza esta información para coordinar la apertura de las válvulas y la inyección de combustible, permitir un funcionamiento óptimo del motor. El sensor de posición del árbol de levas juega un papel clave en el control y rendimiento del motor, garantizar un sincronismo preciso de los componentes y una combustión eficiente. [27]

1.5.4 Sensor APP

El sensor de posición del pedal de aceleración desempeña un papel fundamental en el sistema de control del vehículo. Su función principal es convertir la posición del pedal en una señal eléctrica, que luego es enviada a la Unidad de Control Electrónico (ECU, por sus siglas en inglés). La ECU procesa esta información para regular y ajustar la aceleración del vehículo en función de la demanda del conductor.

El sensor de posición del pedal de aceleración detecta la cantidad de presión o desplazamiento aplicado por el conductor al pisar el pedal. Esta información se convierte en una señal eléctrica proporcional, que representa la carga o la intención del conductor de acelerar. La señal generada por el sensor se envía a la ECU, donde se procesa y se utiliza para determinar la cantidad adecuada de combustible y aire que deben suministrarse al motor para lograr la aceleración deseada.

Al interpretar la carga impuesta por el conductor, la ECU ajusta y controla los actuadores del vehículo, como la apertura del acelerador o el tiempo de inyección de combustible. De esta manera, se logra una respuesta rápida y precisa del motor a las acciones del conductor en el pedal de aceleración, brindar una experiencia de conducción suave y controlada.

El sensor de posición del pedal de aceleración convierte la posición del pedal en una señal eléctrica para ser procesada por la ECU. Esta señal proporciona información vital sobre la carga que el conductor está aplicar al pedal y permite que la ECU ajuste la aceleración del vehículo de acuerdo con las preferencias del conductor. Así, el sensor contribuye al rendimiento dinámico y a la respuesta eficiente del vehículo en función de las demandas del conductor. [28]

1.5.5 Sensor ECT

El sensor de temperatura del líquido refrigerante se encuentra ubicado en el sistema de refrigeración del motor de combustión interna, desempeñar un papel esencial en el monitoreo y control de la temperatura. Este sensor está diseñado con un resistor de coeficiente de temperatura negativo (NTC) en su composición interna. A medida que la temperatura del líquido refrigerante varía, el resistor experimenta cambios en su resistencia eléctrica.

El sensor mide la caída de voltaje en el resistor y envía esta información a la computadora del vehículo. Utilizar un convertidor analógico-digital, la computadora interpreta la señal eléctrica y la convierte en una lectura precisa de la temperatura registrada en el motor.

La información de temperatura adquirida por la computadora a través del sensor de temperatura del líquido refrigerante es crucial para tomar decisiones y controlar diversos componentes del sistema de refrigeración. Por ejemplo, en base a la lectura de temperatura, la computadora puede activar o desactivar actuadores como el electroventilador. Si se registra una temperatura alta, la computadora activará el electroventilador para aumentar el flujo de aire sobre el radiador y disipar el calor del líquido refrigerante. De esta manera, se ayuda a mantener la temperatura del motor en un rango óptimo de funcionamiento y prevenir sobrecalentamientos.

El sensor de temperatura del líquido refrigerante, al estar integrado en el sistema de refrigeración y proporcionar información precisa a la computadora, desempeña un papel vital en la protección y rendimiento del motor de combustión interna. Permite un monitoreo constante de la temperatura y activa los mecanismos necesarios para garantizar un funcionamiento adecuado del sistema de enfriamiento en diversas condiciones de conducción. [29]

1.5.6 Sensor de Temperatura de Combustible

El sensor de temperatura de combustible se encuentra ubicado estratégicamente en la línea de suministro de combustible. Su función principal radica en proporcionar información vital a la Unidad de Control del Motor (ECU) para que pueda realizar modificaciones y ajustes precisos en la cantidad de combustible inyectado. La lectura de la temperatura del combustible es fundamental para garantizar un rendimiento óptimo del sistema de inyección de combustible.

La ECU utiliza los datos generados por este sensor para adaptar la cantidad de inyección de combustible según la temperatura del mismo. Si el sensor detecta una temperatura elevada del combustible, la ECU tomará medidas para evitar posibles problemas, como la vaporización excesiva o la formación de burbujas de aire en el sistema de combustible. Una de las acciones que puede realizar es controlar el funcionamiento de la válvula de control de presión del riel, con el objetivo de regular la presión y evitar una acumulación excesiva de temperatura en el sistema.

El sensor de temperatura de combustible permite una gestión eficiente del consumo de combustible. Al conocer la temperatura del combustible, la ECU puede ajustar la cantidad de inyección de combustible de manera precisa, lo que ayuda a optimizar la eficiencia del motor y reducir las emisiones contaminantes.

La ubicación estratégica del sensor de temperatura de combustible en la línea de alimentación del sistema y su capacidad para proporcionar información precisa a la ECU son esenciales para controlar el proceso de inyección de combustible y asegurar un funcionamiento adecuado del motor en diversas condiciones de temperatura. [30]

1.5.7 Sensor MAF

El sensor de flujo de aire se sitúa en la entrada de aire del motor, desempeñar un papel fundamental en su funcionamiento. Su principal tarea consiste en medir con precisión la cantidad de aire que entra en la cámara de combustión. Esta información es crucial para que la computadora de control del motor tome decisiones y regule el comportamiento del sistema de inyección de combustible de manera óptima.

Gracias a los datos proporcionados por el sensor de flujo de aire, la computadora es capaz de ajustar directamente la cantidad de combustible que se inyecta en el sistema de inyección. Si el sensor detecta un mayor flujo de aire, la computadora incrementará la cantidad de combustible para mantener la proporción adecuada de mezcla aire-combustible. Por otro lado, si el sensor registra un flujo de aire menor, la computadora reducirá la cantidad de combustible suministrada.

De esta manera, el sensor de flujo de aire juega un papel vital en el rendimiento y la eficiencia del motor, permitir una combustión óptima y minimizar el consumo innecesario de combustible. Su ubicación estratégica en la entrada de aire garantiza una medición precisa y en tiempo real, lo que contribuye al buen funcionamiento del sistema de inyección y al rendimiento general del motor. [31]

1.5.8 Sensor FRP

El sensor de presión en el riel, también conocido como sensor de control de la presión de inyección (ICP por sus siglas en inglés) o sensor de presión en el riel (FRP por sus siglas en inglés Fuel Rail Pressure Sensor), desempeña un papel crucial en el sistema de inyección. Este sensor se encuentra ubicado en el riel de combustible y su función principal es medir la presión generada por la bomba de alta presión y transmitirla hacia el conducto común.

El sensor de presión en el riel es responsable de proporcionar información precisa sobre la presión del combustible dentro del riel al sistema de control del motor. Esta información es utilizada por la unidad de control electrónica (ECU) para ajustar y regular la cantidad de combustible inyectado en los cilindros, garantizar así un funcionamiento óptimo del sistema de inyección.

La medición precisa de la presión en el riel es fundamental para asegurar una mezcla adecuada de combustible y aire, lo que a su vez contribuye a una combustión eficiente y a la reducción de emisiones contaminantes. El sensor de presión en el riel proporciona retroalimentación en tiempo real a la ECU, permitiendo que se realicen los ajustes necesarios en la inyección de combustible para adaptarse a las diferentes condiciones de funcionamiento del motor.

Es importante destacar que la denominación del sensor puede variar dependiendo de la región y del fabricante del vehículo. Sin embargo, su función esencial de medir la presión en el riel y proporcionar esta información a la ECU se mantiene constante en todos los casos.

El sensor de presión en el riel desempeña un papel vital en el sistema de inyección al medir la presión generada por la bomba de alta presión y transmitirla hacia el conducto común. Este sensor, también conocido como sensor de control de la presión de inyección (ICP) o sensor de presión en el riel (FRP), brinda información precisa a la ECU para regular la cantidad de combustible inyectado en los cilindros, asegurar un funcionamiento eficiente y reducir las emisiones contaminantes. [32]

1.6 Actuadores del sistema CRDi

1.6.1. Actuadores

El actuador desempeña un papel fundamental en los sistemas de inyección al convertir las señales eléctricas generadas por la unidad de control (ECM) en movimientos mecánicos. Su función principal es proporcionar y sincronizar las cantidades óptimas de combustible necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de inyección.

Los actuadores actúan como un enlace crucial entre la unidad de control y los componentes mecánicos del sistema de inyección, como los inyectores de combustible. Al recibir las señales eléctricas de salida de la ECM, el actuador traduce estas señales en movimientos mecánicos precisos, ajustando la cantidad de combustible inyectado, la presión del aire de admisión y otros parámetros esenciales.

La sincronización precisa del actuador es esencial para lograr una combustión eficiente y maximizar el rendimiento del motor. Esto implica una respuesta rápida y precisa a las señales recibidas de los sensores del vehículo. Los sensores proporcionan información sobre la velocidad del motor, la carga, la temperatura del refrigerante, entre otros, y el actuador utiliza esta información para ajustar los parámetros de inyección de combustible y aire de acuerdo con las demandas del motor en tiempo real.

Es importante destacar que los actuadores pueden variar en función del tipo de sistema de inyección utilizado. Por ejemplo, en los sistemas Common Rail, los actuadores pueden estar involucrados en el control de la presión de combustible en el riel, la apertura y cierre de los inyectores, y otras funciones relacionadas con la inyección de combustible.[33]

1.6.2 Válvula Reguladora de Presión

El regulador de presión del riel de combustible es un componente esencial en los sistemas Common Rail. Su función principal consiste en controlar la presión en el riel de combustible para garantizar un suministro óptimo de combustible al motor. Aunque la bomba de alta presión se encarga de comprimir el combustible necesario para el funcionamiento del sistema, el regulador de presión desempeña un papel crítico al asegurar que se mantenga una presión constante y adecuada en el riel.

El regulador de presión actúa como una válvula de alivio, permitiendo que el exceso de combustible regrese al tanque si la presión en el riel excede los niveles deseados. De esta manera, se evita que la presión se eleve demasiado y se mantienen los niveles de presión adecuados para la dosificación precisa del combustible hacia los inyectores.

Es importante tener en cuenta que el regulador de presión no solo controla la cantidad de combustible suministrado al motor, sino que también desempeña un papel crucial en la estabilidad del sistema Common Rail. Al mantener una presión constante, ayuda a prevenir fluctuaciones indeseadas en el rendimiento del motor y garantiza un suministro uniforme de combustible a los inyectores.

Para el control de la presión del riel de combustible puede estar integrado en la propia bomba de alta presión o puede ser un componente independiente en el riel común. Su diseño y ubicación pueden variar según el fabricante y el modelo del vehículo. [34]

1.6.3 Válvula de Recirculación de Gases de Escape

La válvula de recirculación de gases de escape (EGR, por sus siglas en inglés) es un componente clave en los sistemas de control de emisiones de los motores de combustión interna. Su función principal es permitir que una cierta cantidad de gases de escape sean redirigidos desde el colector de escape hacia el colector de admisión. Esto ayuda a reducir las emisiones de gases contaminantes, especialmente de monóxido de carbono (CO), al ambiente.

La válvula EGR está compuesta por cuatro bobinas, dos de las cuales están conectadas a una fuente de alimentación de 12 voltios, mientras que las otras dos bobinas son controladas por la Unidad de Control Electrónico (ECU), que se encarga de cerrar a tierra (masa) los terminales negativos de cada bobina de forma secuencial. Este mecanismo permite un funcionamiento adecuado de la válvula, controlar el flujo de gases según las instrucciones proporcionadas por la computadora del vehículo.

Al permitir la recirculación de gases de escape, la válvula EGR ayuda a reducir la temperatura de combustión en la cámara de combustión, lo que a su vez reduce la formación de óxidos de nitrógeno (NOx). Esto contribuye a cumplir con las regulaciones de emisiones y a mejorar la calidad del aire al disminuir la cantidad de contaminantes liberados en el escape del vehículo.

Es importante destacar que la función de la válvula EGR puede variar en función del diseño y la configuración del sistema de control de emisiones de cada vehículo. Algunos sistemas utilizan una válvula de paso variable, que ajusta la cantidad de gases de escape recirculados según las demandas del motor y las condiciones de conducción, lo que permite un control más preciso de las emisiones. Otros sistemas pueden combinar la recirculación de gases con tecnologías adicionales, como

catalizadores o filtros de partículas, para maximizar la eficiencia de la reducción de emisiones. [35]

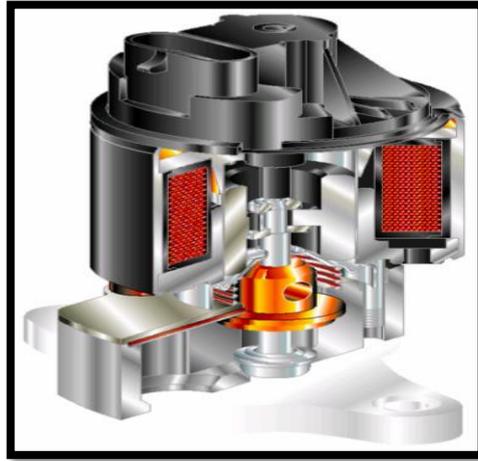


Figura 4. Válvula EGR
Fuente. [36]

1.6.4 Inyectores

Los inyectores desempeñan un papel fundamental en el sistema de inyección de combustible de los motores diésel. Su función principal es pulverizar el combustible y dirigir la atomización de manera uniforme en la cámara de combustión del motor. A diferencia de los inyectores utilizados en motores a gasolina, los inyectores diésel son más complejos en su funcionamiento.

El inyector diésel tiene la capacidad de operar a altas presiones como a 1700 bares de presión, lo que permite una entrega de combustible de aproximadamente 2000 bares por minuto. Estos inyectores trabajan en condiciones de temperatura elevadas, dentro de un rango de funcionamiento entre 500 y 600°C.

En los sistemas de inyección electrónica diésel, se emplean tanto inyectores electromecánicos como inyectores piezoeléctricos. A diferencia de los inyectores más antiguos que utilizaban mecanismos mecánicos para atomizar el combustible, en los sistemas electrónicos modernos la computadora de control recibe información de diversos sensores para tomar decisiones precisas sobre la cantidad de combustible inyectado en la cámara de combustión. Esto se logra mediante el control de la bobina del inyector, que regula la apertura y cierre del mismo. [37]

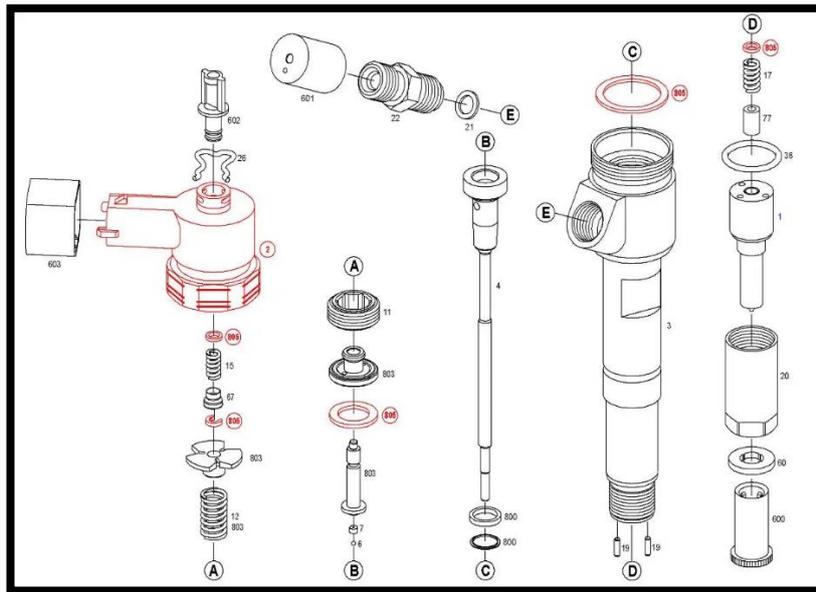


Figura 5. Inyector CRDi
Fuente: [38]

1.7 Señales de adquisición de datos

1.7.1 Señales analógicas

Las señales analógicas son variables eléctricas que cambian en el tiempo de manera continua, de forma similar a una variable física relacionada. Estas señales pueden representarse como corriente eléctrica, tensión o carga eléctrica, y su valor varía en un rango continuo entre un límite inferior y un límite superior.

Los límites de la señal coinciden con los límites que un dispositivo específico que puede manejar. Se dice que la señal está normalizada cuando se encuentra dentro de los rangos aceptables para el dispositivo y se ajusta a sus características de funcionamiento.

Una de las ventajas de trabajar con señales normalizadas es que se puede aprovechar de manera más efectiva la relación señal/ruido del dispositivo. Al mantener la señal dentro de los límites establecidos, se minimiza la interferencia y se mejora la calidad de la señal en términos de claridad y fidelidad.

En la Figura 6, se puede observar un ejemplo visual de una señal analógica. A diferencia de las señales digitales que se representan mediante pulsos discretos, las

señales analógicas se representan mediante curvas continuas que muestran la variación suave de la variable eléctrica a lo largo del tiempo.

Es importante destacar que las señales analógicas son ampliamente utilizadas en numerosos sistemas y aplicaciones, como la transmisión de audio, video, señales de radio, mediciones científicas y muchas otras áreas donde es necesario capturar y procesar información en forma continua y precisa. [39]

1.7.2 Señales digitales

Las señales digitales son variables eléctricas que se caracterizan por tener dos niveles distintos que se alternan en el tiempo, transmitir información de acuerdo con un código preestablecido. Cada nivel eléctrico representa un símbolo específico, como 0 o 1, V o F, entre otros. Los niveles utilizados dependen del tipo de dispositivos empleados en el sistema.

Por ejemplo, si se utilizan componentes de la familia lógica TTL (Transistor-Transistor Logic), los niveles típicos son 0 V y 5 V. Sin embargo, cualquier valor por debajo de 0,8 V se interpreta como un 0, mientras que cualquier valor por encima de 2 V se interpreta como un 1. Los niveles de salida suelen estar por debajo de 0,4 V para representar un 0 y por encima de 2,4 V para representar un 1.

En el caso de la familia CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), los valores de los niveles digitales dependen de la alimentación del sistema. Por ejemplo, para una alimentación de +5 V, los valores ideales son también 0 V y 5 V. Sin embargo, se considera un 0 la señal está por debajo de 2,25 V, y se interpreta un 1, la señal está por encima de 2,75 V.

En la Figura 6, se puede observar un ejemplo visual de una señal digital. Estas señales se representan gráficamente como una secuencia de pulsos, donde cada pulso representa un nivel específico (0 o 1) en un determinado instante de tiempo. Esta representación visual facilita la comprensión y el análisis de las señales digitales.

Es importante tener en cuenta que las señales digitales son ampliamente utilizadas en sistemas electrónicos, como en la transmisión de datos, en circuitos lógicos, en comunicaciones y en muchos otros campos. La utilización de códigos binarios y la

claridad de los niveles de señal contribuyen a la confiabilidad y precisión de la transmisión y procesamiento de información en sistemas digitales. [39]

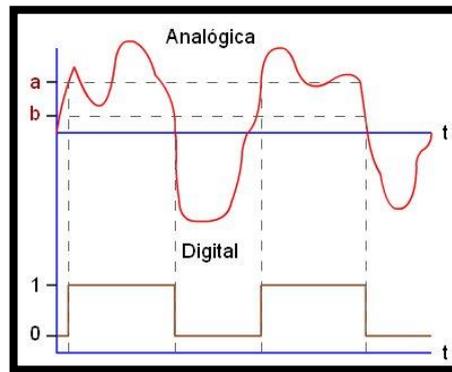


Figura 6. Señal analógica, digital
Fuente.[40]

1.8 Adquisición de datos

1.8.1 Adquisición de Datos

La adquisición de datos es el proceso de recopilar información o datos sobre un sistema, proceso o fenómeno. En el contexto industrial, la adquisición de datos se refiere a la recolección y registro sistemático de información relevante para los procesos productivos. Esta información se obtiene mediante sensores electrónicos y otros dispositivos que miden variables físicas en tiempo real, como temperatura, presión, flujo y nivel. La adquisición de estos datos permite monitorear y controlar los procesos industriales con mayor precisión para mejorar su eficiencia y calidad.

Existen diversas formas de adquirir datos. Algunas incluyen la medición manual realizada por un operador o técnico, el uso de sensores y dispositivos electrónicos para recopilar información automáticamente, y la integración de sistemas informáticos que registran datos en tiempo real.[16]

Algunos datos comunes que se captura son temperatura, flujo, presión, nivel de líquidos o sólidos, y vibraciones mecánicas y eléctricas, entre otras. En general, cualquier variable física o química relevante al proceso puede ser medida y registrada como dato. El objetivo es tener una visión completa del funcionamiento del proceso para poder tomar decisiones informadas sobre cómo mejorarlo en términos de calidad y eficiencia.

Los sistemas de adquisición de datos (SAD) han sido ampliamente utilizados en el campo de las ciencias como un recurso que favorece la recolección y procesamiento instantáneo de datos. En el ámbito educativo, se han realizado investigaciones para explorar su potencial en la enseñanza, ya que es una herramienta que puede apoyar el trabajo de laboratorio.

Un SAD está compuesto principalmente por un hardware o placa electrónica que incluye sensores para captar magnitudes físicas externas y convertirlas en señales eléctricas. Estas señales pueden ser análogas o digitales y se acoplan al sistema digital a través de un microprocesador. El microprocesador se encarga de almacenar los datos en diferentes situaciones y rangos, mientras que el software se encarga de procesar y mostrar las señales en forma de ondas gráficas y valores numéricos. Esto permite al usuario observar las características y comportamientos de las variables involucradas en el fenómeno. [41]

1.9 Herramientas para la adquisición de datos

1.9.1 Arduino

Arduino es una plataforma de prototipos electrónicos de código abierto que se ha ganado popularidad debido a su hardware y software flexibles y fáciles de usar. Aunque inicialmente fue diseñado para artistas y diseñadores, se ha convertido en una herramienta versátil utilizada por personas de diversos campos y con diferentes niveles de experiencia.

La principal característica de Arduino es su capacidad para interactuar con el entorno. Puede recibir entradas desde una amplia variedad de sensores, lo que le permite percibir y responder al mundo físico. Tiene la capacidad de controlar luces, motores y otros dispositivos, lo que le permite afectar el entorno que lo rodea.

La programación de Arduino se realiza utilizando el Arduino Programming Language, basado en Wiring, y el Arduino Development Environment, basado en Processing. Estas herramientas proporcionan un entorno de programación intuitivo y accesible, incluso para aquellos que no tienen experiencia previa en programación.

Los proyectos desarrollados con Arduino pueden funcionar de manera autónoma o comunicarse mediante un software en ejecución en un ordenador. Esto significa que

es posible crear interfaces interactivas entre Arduino y programas como Flash, Processing, MaxMSP y otros. Esta capacidad de integración con software externo amplía las posibilidades creativas y permite desarrollar proyectos más complejos.

La plataforma Arduino ofrece diferentes opciones en cuanto a la adquisición de sus componentes. Las placas se pueden ensamblar manualmente o adquirir preensambladas, lo que facilita su acceso tanto para principiantes como para usuarios más experimentados. El software necesario para programar Arduino se puede descargar de forma gratuita desde su página oficial.

Es importante destacar que Arduino fomenta el espíritu de colaboración y comunidad. Los diseños de referencia del hardware, incluir los archivos CAD, están disponibles bajo licencia de código abierto. Esto significa que los usuarios tienen la libertad de adaptar y personalizar los diseños según sus necesidades particulares. Esta mentalidad abierta y colaborativa ha llevado a la comunidad de Arduino a crecer rápidamente y a desarrollar una amplia gama de proyectos innovadores.

Por sus contribuciones a la comunidad de código abierto y su enfoque en la creatividad y la interacción, Arduino ha recibido reconocimiento en el ámbito de la tecnología. En 2006, fue galardonado con una mención honorífica en la sección Digital Communities del Ars Electronica Prix, un prestigioso premio en el campo de las artes y la tecnología. [42]

1.9.2 MATLAB

MATLAB (abreviatura de MATrix LABoratory, "laboratorio de matrices") es un poderoso sistema de cómputo numérico que proporciona un entorno de desarrollo integrado (IDE) junto con su propio lenguaje de programación, conocido como lenguaje M. Es compatible con una amplia gama de plataformas, incluir Unix, Windows, macOS y GNU/Linux, lo que permite a los usuarios acceder a sus capacidades en diversos sistemas operativos.

Las funcionalidades básicas de MATLAB son diversas y abarcan desde la manipulación de matrices hasta la representación de datos y funciones. También ofrece herramientas para implementar algoritmos, crear interfaces de usuario (GUI) y establecer comunicación con programas en otros lenguajes y dispositivos

hardware. Este conjunto de características proporciona a los usuarios un amplio abanico de posibilidades para realizar análisis numéricos, desarrollar algoritmos y resolver problemas complejos.

Las funcionalidades básicas, MATLAB cuenta con dos herramientas adicionales que amplían su capacidad: Simulink y GUIDE. Simulink es una plataforma de simulación multidominio que permite modelar y simular sistemas dinámicos en una amplia variedad de disciplinas. Por su parte, GUIDE es un editor de interfaces de usuario (GUI) que facilita la creación de aplicaciones interactivas y amigables para el usuario.

Para adaptarse a necesidades más específicas, MATLAB puede ser ampliado mediante la incorporación de cajas de herramientas (toolboxes), que proporcionan funcionalidades adicionales para áreas como procesamiento de señales, procesamiento de imágenes, optimización, estadísticas y más. Asimismo, Simulink puede beneficiarse de los paquetes de bloques (blocksets), que añaden capacidades especializadas para la simulación de sistemas en áreas como la electrónica, la dinámica de vehículos, el control de sistemas y otros campos de ingeniería. [43]

1.10 Equipos de diagnóstico automotriz

1.10.1 Equipos

En la actualidad, el diagnóstico de los sistemas de inyección electrónica diésel se realiza mediante el uso de diversos equipos especializados, los cuales se clasifican según su utilidad y el sistema que van a verificar. Estos equipos electrónicos desempeñan un papel fundamental al facilitar la manipulación de la elevada presión de funcionamiento del sistema de inyección diésel.

Los sistemas de inyección electrónica diésel presentan particularidades y desafíos específicos en comparación con los sistemas de inyección de gasolina. Estos sistemas están diseñados para administrar de manera precisa el suministro de combustible en motores diésel, y su correcto funcionamiento es fundamental para garantizar un rendimiento óptimo del motor y reducir las emisiones.

Los equipos de diagnóstico utilizados en estos sistemas de inyección electrónica diésel están diseñados para realizar pruebas y mediciones precisas en los

componentes clave del sistema, como los inyectores de combustible, la bomba de alta presión y los sensores asociados. Estos equipos permiten monitorear los parámetros de funcionamiento, como la presión de combustible, la cantidad de inyección, el tiempo de inyección y otros valores cruciales.

Las funciones de diagnóstico básicas, algunos equipos avanzados también ofrecen características adicionales, como la capacidad de realizar ajustes y calibraciones en los parámetros del sistema, programar inyectores y actualizar el software de la unidad de control electrónica (ECU) del vehículo.

Es importante destacar que los equipos de diagnóstico para sistemas de inyección electrónica diésel están diseñados para garantizar la seguridad tanto del técnico como del sistema. Debido a las altas presiones involucradas en estos sistemas, es esencial seguir las instrucciones y procedimientos adecuados al utilizar este tipo de equipos. [44]

1.10.2 Escáner

Un escáner automotriz es una herramienta imprescindible para el diagnóstico de fallas electrónicas en un vehículo, especialmente aquellas almacenadas en la unidad de control electrónica (ECU, por sus siglas en inglés). La ECU es responsable de regular y controlar diversas funciones del motor mediante la lectura de datos de sensores, y también registra los errores detectados asignándoles un código específico.

El escáner automotriz permite acceder a la información almacenada en la ECU y leer los códigos de falla registrados. Estos códigos proporcionan pistas importantes sobre el origen del problema, lo que facilita la tarea de diagnóstico y reparación. Al leer los códigos de falla, el escáner también puede brindar datos en tiempo real sobre los diferentes sensores del vehículo, como la velocidad del motor, la temperatura del refrigerante, el caudal de aire y muchos otros parámetros relevantes.

Cabe destacar que los escáneres automotrices modernos son capaces de comunicarse con la ECU a través de diferentes protocolos de comunicación, como OBD-II (On-Board Diagnostics II). Este estándar se utiliza en la mayoría de los

vehículos fabricados después de 1996 y permite una conexión más rápida y eficiente con la ECU.

Algunos escáneres automotrices avanzados ofrecen funciones adicionales, como pruebas de componentes, reinicio de luces de advertencia, monitoreo de sensores durante pruebas en carretera y actualizaciones de software para mantenerse al día con los últimos protocolos de comunicación de los fabricantes de automóviles. [44]

1.10.3 Multímetro Automotriz

El multímetro o tester automotriz digital es una herramienta versátil y de gran utilidad en el diagnóstico y solución de problemas en diferentes áreas. Proporciona una amplia gama de funciones de medición, incluir voltaje, corriente, resistencia, tensión e intensidad, lo que lo convierte en una herramienta indispensable para los profesionales del automóvil.

El multímetro automotriz digital también permite probar diodos y transistores, lo que facilita la identificación de posibles fallas en los componentes electrónicos. Esta capacidad de prueba es especialmente valiosa en el campo automotriz, donde la electrónica desempeña un papel cada vez más importante en los sistemas del vehículo.

Otra función destacada del multímetro automotriz es su capacidad para medir el ancho de pulso y el ciclo de trabajo (duty cycle). Esto resulta especialmente útil en el diagnóstico de sistemas de inyección de combustible, sensores de velocidad y otros componentes que dependen de señales pulsantes.

Los multímetros automotrices digitales modernos pueden ofrecer funciones adicionales, como la detección de continuidad, la comprobación de fusibles y la medición de frecuencia. Estas funciones amplían la versatilidad de la herramienta y la convierten en un dispositivo indispensable en el taller automotriz. [45]

1.10.4 Osciloscopio

El osciloscopio automotriz es una herramienta fundamental en el diagnóstico de sistemas eléctricos y electrónicos en vehículos. Permite la visualización y análisis de señales eléctricas, lo que facilita la estimación de diferentes parámetros clave,

como la frecuencia, el período, la amplitud y los valores máximo y mínimo de las señales.

Con un osciloscopio automotriz, es posible observar de manera gráfica cómo las señales eléctricas cambian a lo largo del tiempo. Esta capacidad es especialmente útil en el ámbito automotriz, donde se manejan sistemas complejos, como los sistemas de encendido, inyección de combustible, sensores y actuadores.

El uso de un osciloscopio automotriz permite identificar de manera precisa y rápida problemas o irregularidades en las señales eléctricas del vehículo. Esto es crucial para el diagnóstico de fallos y la solución de problemas en sistemas eléctricos y electrónicos, lo que contribuye a un mantenimiento más eficiente y a la reparación precisa de los componentes defectuosos.

Algunos osciloscopios automotrices también ofrecen características específicas para el diagnóstico automotriz, como la capacidad de visualizar señales de protocolos de comunicación automotriz, como CAN (Controller Area Network) y LIN (Local Interconnect Network). Estas características adicionales amplían la capacidad de diagnóstico del osciloscopio, permitir una evaluación más completa de los sistemas electrónicos presentes en los vehículos modernos. [46]

1.10.5 Información Técnica

Una ficha técnica, hoja técnica o hoja de datos, comúnmente conocida como datasheet en inglés, es un documento que proporciona un resumen detallado del funcionamiento y las características de un componente o subsistema, como un componente electrónico o una fuente de alimentación. Su objetivo principal es brindar la información necesaria para que los ingenieros de diseño puedan utilizarla eficazmente en el proceso de diseño de un sistema.

Este tipo de documento generalmente comienza con una página introductoria que establece el propósito y la estructura del documento. A continuación, se presentan los listados de componentes específicos, acompañados de información adicional sobre la conectividad de los dispositivos. Si existe código fuente relevante relacionado con el componente, este puede adjuntarse al final del documento o incluirse en un archivo separado.

Es importante tener en cuenta que las fichas técnicas no se limitan exclusivamente a componentes electrónicos. También se utilizan en diversos campos de la ciencia, como la química y los alimentos, para describir las características y propiedades de compuestos químicos o productos alimenticios.

1.11 Estudio de caso VW AMAROK

1.11.1 VW AMAROK

La camioneta VW Amarok está equipada con un motor diésel de alta tecnología que combina eficiencia, rendimiento y bajo consumo de combustible. El propulsor 2.0 BiTDI utiliza un sistema de inyección directa por conducto común y cuenta con dos turbocompresores en serie, lo que le permite entregar una potencia de 180 HP y un torque de 400 Nm o 420 Nm, depende de la versión. Esta tecnología se basa en las motorizaciones utilizadas en camiones pesados, lo que garantiza un rendimiento confiable y duradero.

La Amarok ofrece una opción con el propulsor 2.0 mono turbo TDI, que genera aproximadamente 140 HP de potencia y unos 340 Nm de torque. Ambas opciones de motorización brindan una combinación ideal de fuerza y eficiencia para adaptarse a diferentes necesidades y preferencias de los conductores.

Estos motores diésel de la Amarok no solo ofrecen un rendimiento impresionante, sino que también se caracterizan por su bajo consumo de combustible y emisiones de CO₂ moderadas. Con un consumo de aproximadamente 7,9 litros cada 100 kilómetros y emisiones de CO₂ de alrededor de 206 g/km, la Amarok se destaca por su eficiencia energética y su contribución a la reducción de la huella de carbono.

La camioneta Amarok cuenta con un tanque de combustible de 80 litros, lo que le permite alcanzar una notable autonomía de más de 1.100 kilómetros con una sola carga de combustible. Esto brinda a los conductores una gran libertad y comodidad en sus viajes, especialmente en largas distancias o en áreas donde no hay muchas estaciones de servicio disponibles.

A partir del año 2017, la gama de motores de la Amarok se amplió con una opción adicional: el motor V6 3.0 TDI, heredado del modelo Touareg. Este motor ofrece una potencia de 224 CV y 258 CV, brindar un rendimiento aún más impresionante para aquellos conductores que buscan una experiencia de conducción más potente y dinámica.

La camioneta VW Amarok se distingue por su motorización diésel de alta tecnología, que combina potencia, eficiencia y bajas emisiones. Con opciones de motorización que van desde el 2.0 BiTDI hasta el V6 3.0 TDI.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Introducción y objetivo del capítulo

En este capítulo, se detalla la metodología que se empleó para la construcción, diseño e implementación del módulo encargado de capturar las señales eléctricas de los sensores FRP, BPS y MAF, así como del software que permite graficar las señales para su estudio y las interfaces utilizadas para la interconexión con el software de análisis de datos. Se abordaron las etapas teórica y práctica, para asegurar una implementación efectiva y coherente con los objetivos planteados.

2.2 Metodología de la investigación

La investigación se basó en un enfoque cuantitativo, centrándose en la obtención de resultados medibles, y el análisis comparativo entre las gráficas patrón y las gráficas obtenidas en el vehículo VW AMAROK donde se realizaron las pruebas, los datos fueron comparados mediante un módulo de adquisición de datos el mismo que se encargó de capturar los datos de los sensores MAF, FRP y BPS, a una temperatura de trabajo constante de 89 °C y a diferentes revoluciones por minuto (rpm). Posteriormente, los datos recopilados fueron analizados por el software MATLAB el mismo que los graficó y entrego un resultado en porcentaje de error, adicional estos datos se pueden exportar a Excel para una mejor revisión. Los alcances de esta investigación se definieron a partir de la revisión bibliográfica, los objetivos establecidos y la hipótesis planteada.

En la Tabla 4, se detallaron los métodos, los equipos utilizados para llevar a cabo de manera precisa y adecuada la construcción, análisis y captura de datos de los sensores del sistema Common rail. Así mismo se describió de forma breve y

precisa cada uno de los métodos utilizados para poder realizar la construcción de módulo de adquisición de datos de los sensores MAF, FRP, BPS.

Tabla 4. Metodología aplicada

METODOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	EQUIPOS	LABORATORIO
Método deductivo	El método deductivo permitió por medio de los datos y valores generados por los sensores del sistema de control electrónico a partir de las pruebas eléctricas electrónicas, se estableció parámetros del correcto desempeño del sistema CRDI.	Osciloscopio Escáner Multímetro Módulo de Adquisición de datos	Mecánica Diesel “El Monito” De La Ciudad De Riobamba.” VW AMAROK
Método inductivo	Este método permitió estimar un rango de valores de voltaje de los sensores del sistema de control electrónico, por medio de instrumentos de diagnóstico automotriz que permitieron establecer los valores de voltaje en los que oscilan cada uno de los sensores.	Osciloscopio Escáner Multímetro Módulo de Adquisición de datos	Mecánica Diesel “El Monito” De La Ciudad De Riobamba.” VW AMAROK
Método experimental	Este método ayudo con el manejo de pruebas controladas para la obtención de los parámetros de funcionamiento del sistema de control electrónico del sistema CRDI, se obtuvo curvas características del comportamiento de cada uno de los sensores.	Osciloscopio Escáner Multímetro Módulo de Adquisición de datos	Mecánica Diesel “El Monito” De La Ciudad De Riobamba.” VW AMAROK
Método analítico	En esta investigación se utilizó el método analítico en el análisis de resultados tomar en cuenta los datos obtenidos después de cada protocolo de pruebas, con ayuda del razonamiento técnico y científico, se interpretó los valores de las pruebas realizadas	Osciloscopio Escáner Multímetro Módulo de Adquisición de datos	Mecánica Diesel “El Monito” De La Ciudad De Riobamba.” VW AMAROK
Método de síntesis	Con el método de síntesis se logró que, en los diferentes tipos de pruebas, se estableció ensayos para obtener los datos del correcto funcionamiento de trabajo del sistema de control electrónico del sistema CRDI	Osciloscopio Escáner Multímetro Módulo de Adquisición de datos	Mecánica Diesel “El Monito” De La Ciudad De Riobamba.” VW AMAROK.”
Método comparativo	Este método permitió comparar los diferentes resultados analizados de los valores de voltaje, curvas características de funcionamiento y posibles códigos de falla DTC que se generaron en los sensores del sistema de control electrónico	Osciloscopio Escáner Multímetro Módulo de Adquisición de datos	Mecánica Diesel “El Monito” De La Ciudad De Riobamba.”
Método de la medición	Mediante el método de medición se obtuvo los valores de voltajes de los diferentes sensores del sistema de control electrónico, estos datos se obtuvieron con la ayuda de los instrumentos de diagnóstico automotriz luego de cada protocolo de pruebas	Osciloscopio Escáner Multímetro Módulo de Adquisición de datos	Mecánica Diesel “El Monito” De La Ciudad De Riobamba.”

Fuente. autor

2.3 Materiales

2.3.1 Selección de componentes

Selección de tarjeta de adquisición de datos

Para seleccionar la tarjeta de adquisición de datos adecuada, se llevó a cabo una comparación entre las diferentes opciones disponibles en el mercado. En este trabajo de titulación se optó por utilizar la tarjeta Arduino, cuya comparativa con otras tarjetas de adquisición de datos se presenta en la Tabla 5, Esta comparativa resulta muy importante para tomar una elección acertada y garantizar un rendimiento óptimo en la adquisición de datos.

Tabla 5. Comparativa de tarjetas Arduino

Características	Arduino Uno	Arduino Mega	Arduino Nano
Microcontrolador	ATmega328P	ATmega2560	ATmega328P
Memoria Flash	32 KB	256 KB	32 KB
SRAM	2 KB	8 KB	2 KB
EEPROM	1 KB	4 KB	1 KB
Pines digitales	14 (6 PWM)	54 (15 PWM)	14 (6 PWM)
Pines analógicos	6	16	8
Comunicación UART	1	4	1
Tamaño	68.6 mm x 53.4 mm	101.6 mm x 53.4 mm	45 mm x 18 mm
Alimentación	5V	5V	5V

Fuente. [47]

Se puede observar en la Tabla 5, las características técnicas de tres tarjetas Arduino, así como las ventajas específicas de cada una de ellas, de esta tabla se seleccionó la tarjeta Arduino Mega, cuyas propiedades se describen a continuación:

Tarjeta Arduino Mega, permite desarrollar el módulo de adquisición de datos de una manera apropiada por su mayor capacidad de procesamiento y

almacenamiento. Con su microcontrolador ATmega2560, Arduino Mega ofrece una memoria flash significativamente más amplia de 256 KB, lo que permite manejar y almacenar grandes volúmenes de datos de manera eficiente. Adecuado a su memoria SRAM de 8 KB brinda mayor espacio para la ejecución de programas complejos y el manejo de múltiples tareas simultáneas. Con 54 pines digitales (15 de los cuales admiten señales PWM) y 16 pines analógicos, Arduino Mega ofrece una mayor flexibilidad para la conexión de sensores y dispositivos externos. Las 4 comunicaciones UART, lo que facilita la interacción con varios dispositivos externos a través de puertos serie. Estas características lo convierten en una opción idónea para realizar el módulo de adquisición de datos.

Las dimensiones del tamaño físico de Arduino Mega son de 101.6 mm x 53.4 mm, Arduino Mega ofrece un área de trabajo más amplia en comparación con Arduino Uno y Arduino Nano. Esto proporciona más espacio para conectar y soldar componentes adicionales, lo que resulta beneficioso la integración de varios sensores y módulos complementarios. El tamaño físico también permite una mejor organización de los cables y componentes, lo que facilita el mantenimiento y la depuración del sistema.

Selección de sensores para su estudio

Los sensores seleccionados para el estudio son los que forman parte del sistema Common Rail de la camioneta VW Amarok TDi. Estos sensores desempeñan un papel fundamental para el correcto funcionamiento del motor de combustión interna. Estos sensores son capaces de capturar las señales físicas y convertirlas en señales analógicas y digitales, según el tipo de sensor. A continuación, se detallan los sensores elegidos para el proceso de captura de datos:

El sensor FRP tiene como función principal medir la presión en el riel de combustible. Este sensor captura una magnitud de presión física y la convierte en una señal eléctrica analógica que puede ser medida con un multímetro. Posteriormente, la Unidad de Control Electrónico (ECU) se encarga de realizar las conversiones necesarias para reflejar este valor visto en voltios por el multímetro, a una medida de presión en la unidad de bar. Es importante destacar que estas conversiones son esenciales para obtener mediciones precisas y confiables de la

presión del combustible en el sistema del riel común.

Para obtener más información técnica y respaldar los datos presentados, se puede citar la página oficial de BOSCH, donde se encuentra disponible el Datasheet del sensor FRP. En este documento, se proporciona información detallada sobre la estructura eléctrica del sensor. La Figura 7, ilustra el comportamiento del sensor con datos obtenidos de la Tabla 6, esto nos permitió observar cómo varía el voltaje en función de la presión medida en bar.

Tabla 6. Datos del sensor FRP

TIEMPO (s)	VOLTAJE	PRESIÓN(BAR)
1	0.5	0.0
2	1.0	250
3	2.0	750
4	3.0	1000
5	4.1	1350

Fuente. [48]

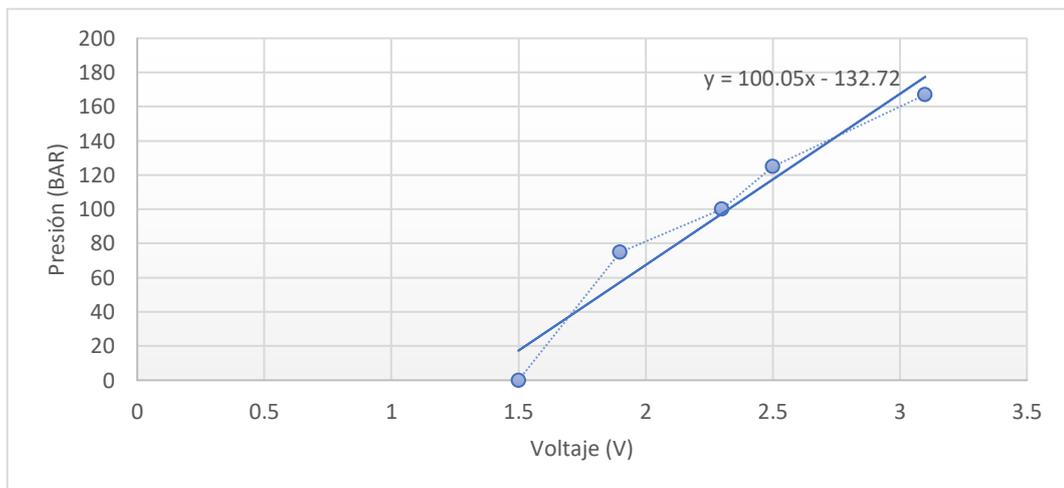


Figura 7. Gráfica de la señal del sensor FRP

Fuente. [48]

El sensor MAF desempeña un papel fundamental al medir el flujo de aire que ingresa a la cámara de combustión. El MAF utiliza una señal digital para transmitir la información. La Unidad de Control Electrónico (ECU) se encarga de convertir esta señal de frecuencia en unidades de g/s, que representan la cantidad de aire que entra al motor. Es importante destacar que estos datos son cruciales para el control preciso de la mezcla aire-combustible y el rendimiento general del motor.

Los detalles técnicos para respaldar la información del funcionamiento del sensor fueron obtenidos de la página oficial de BOSCH, donde se encuentra disponible el datasheet del sensor MAF. En dicho documento, se presenta un gráfico del flujo de aire en la Figura 8, el cual se basa en datos obtenidos de la Tabla 7, durante pruebas realizadas al sensor de flujo de aire. Este gráfico muestra el comportamiento del sensor y cómo varía el voltaje en función del flujo de aire en Hz.

Tabla 7. Datos del sensor MAF

TIEMPO (s)	VOLTAJE	FLUJO (Hz)
1	1.5	0.22
2	2.0	11.6
3	2.5	23.0
4	3.0	31.4
5	3.5	38.0

Fuente. [48]

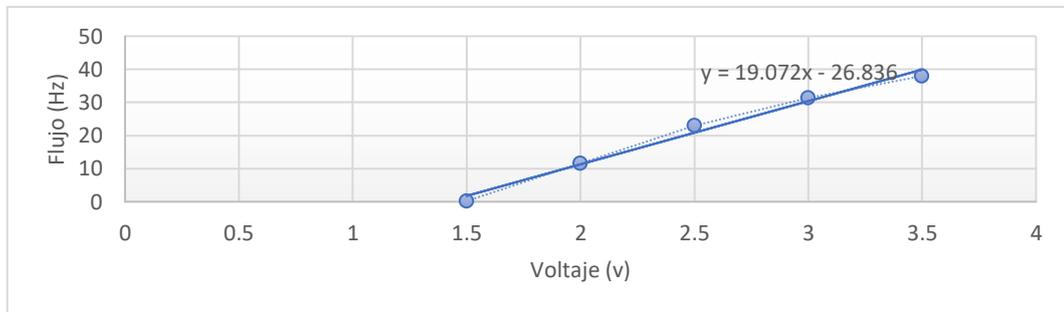


Figura 8. Gráfica de la señal del sensor MAF

Fuente. [48]

El sensor BPS detecta la presión ejercida por el turbocargador en el múltiple de admisión. Este sensor proporciona una señal analógica que puede ser medida en voltios utilizando un multímetro. La ECU se encarga de convertir esta medida de voltios a unidades de presión psi.

En la página oficial de BOSCH tenemos el datasheet del sensor BPS en el que nos muestra su estructura eléctrica su temperatura de funcionamiento y el gráfico de presión absoluta tomado del sensor en la Figura 9, se puede observar el comportamiento del sensor y cambio de voltaje según la presión.

Para determinar el comportamiento del trabajo del sensor de presión tenemos la

siguiente ecuación con la que el sistema Bosch realiza los respectivos cálculos

$$u_{out} = (c_1 \cdot p_{abs} + c_0) \cdot u_s \quad (1)$$

Donde:

- u_{out} = Tensión de salida en V
- u_s = Tensión de alimentación
- p_{abs} = Presión absoluta en kPa
- c_0 = 5.4/280
- c_1 = 5.40.85/280 kPa^{-1}

Con esto nosotros podemos obtener la siguiente curva de trabajo que se presenta en la Figura 9, obtenida por la Tabla 8, de voltaje vs presión.

Tabla 8. Datos del sensor BPS

TIEMPO(S)	VOLTAJE	PRESION(PSI)
1	1.5	0.0
2	1.9	75
3	2.3	100
4	2.5	125
5	3.1	167

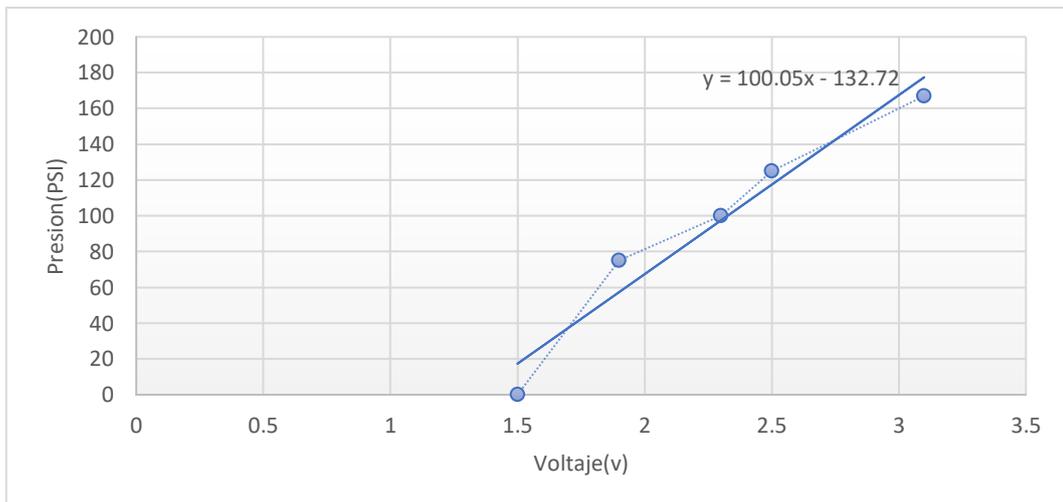


Figura 9. Gráfica de la señal sensor BPS
Fuente. [48]

2.3.2 Selección del software

Selección del software de análisis

Para seleccionar el software adecuado, se llevó a cabo la revisión de diversas opciones que ofrecieran una interfaz eficiente entre el módulo de adquisición de

datos elegido, Arduino Mega, y el software. Se tomaron en consideración las características de dos softwares específicos, MATLAB y LabVIEW, que se detallan en la Tabla 9, estos softwares fueron evaluados en función de su capacidad para satisfacer los requisitos del proyecto y establecer una conexión efectiva con el módulo de adquisición de datos. La elección del software correcto resulta esencial para garantizar una interacción fluida entre el hardware y el software, maximizar así la eficiencia y la precisión en la adquisición de datos.

Tabla 9. Comparativa entre Software MATLAB, LabVIEW

Características	MATLAB	LabVIEW
Plataforma	Disponible para Windows, macOS y Linux	Disponible para Windows
Adquisición de datos	Admite adquisición de datos	Amplias capacidades de adquisición de datos
Programación	Orientado a la programación y análisis de datos	Orientado a la programación visual
Funcionalidad gráfica	Capacidad limitada de creación de interfaces gráficas	Fuerte en la creación de interfaces gráficas
Lenguaje de programación	Lenguaje propio: MATLAB	Lenguaje gráfico: G
Compatibilidad de hardware	Amplia compatibilidad con dispositivos de adquisición de datos	Compatibilidad con una amplia gama de dispositivos
Análisis y procesamiento de datos	Amplias capacidades para el análisis y procesamiento de datos	Capacidades limitadas en comparación con MATLAB
Comunidad y soporte	Amplia comunidad y abundante documentación y soporte	Fuerte comunidad y recursos de soporte disponibles

Fuente. [7]

De la tabla número 9, se selecciona **MATLAB**, como software para el manejo de adquisición de datos se basa en su amplia gama de capacidades de análisis y

procesamiento de datos. MATLAB cuenta con un entorno de programación poderoso que permite realizar cálculos avanzados y manipulación de datos de manera eficiente. Su lenguaje de programación propio facilita la implementación de algoritmos personalizados y el desarrollo de funciones específicas para el procesamiento de señales y datos adquiridos. MATLAB ofrece una amplia compatibilidad con dispositivos de adquisición de datos, lo que facilita la integración con el módulo de adquisición Arduino Mega. Con una comunidad sólida y una gran cantidad de recursos de soporte y documentación, MATLAB se destaca como la opción confiable para el proyecto que requiere un análisis y procesamiento de los datos adquiridos.

MATLAB tiene una capacidad de visualización y representación gráfica de datos. El cual ofrece una amplia gama de herramientas y funciones para crear visualizaciones efectivas y claras de los datos adquiridos. Esto resulta especialmente útil en la adquisición de datos, ya que permite analizar y comprender los datos de manera más intuitiva y facilita la identificación de patrones y tendencias. La capacidad de generar gráficos personalizados, trazados y visualizaciones interactivas proporciona una ventaja adicional al utilizar MATLAB ya que se requiere una representación visual sólida de los datos adquiridos.

2.4 Métodos

2.4.1 Elaboración de un módulo de adquisición de datos:

Programación del módulo Arduino

Para capturar señales analógicas y digitales con un Arduino Mega, es necesario configurar los pines adecuadamente para recibir estas señales. Los pines analógicos se utilizan para capturar las señales provenientes de sensores que emiten señales analógicas como son los sensores FRP, BPS, mientras que los pines digitales pueden capturar tanto señales analógicas como digitales y se emplean para sensores que emiten señales digitales como es el sensor MAF.

En la Figura 10, se muestra el diagrama de flujo que indica cómo se programó el Arduino Mega para llevar a cabo la adquisición de datos de los sensores del sistema Common Rail. En la parte de Anexo, se proporciona una descripción

detallada de la programación utilizada para cargarla en el Arduino Mega.

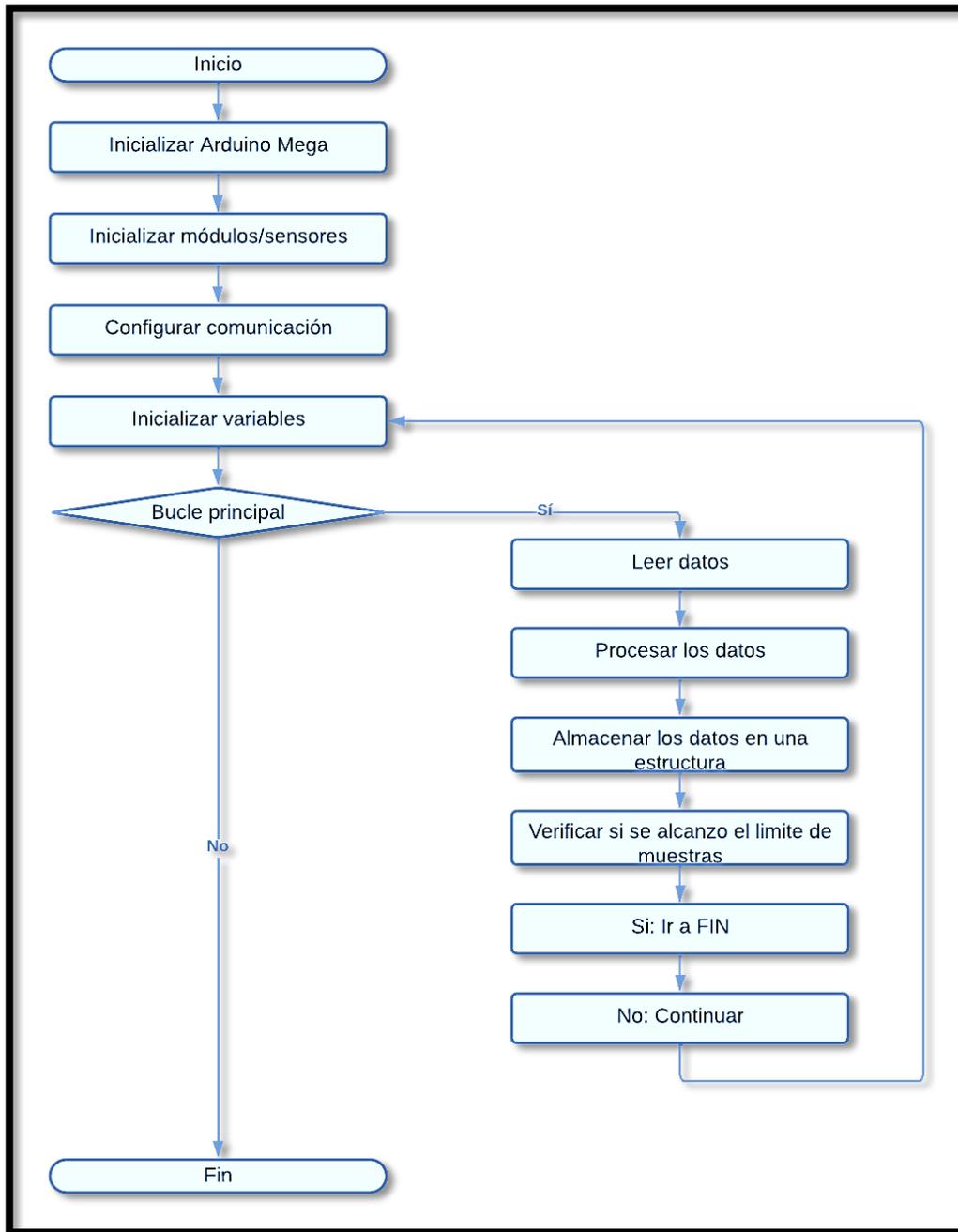


Figura 10. Diagrama de flujo de programación para Arduino MEGA
Fuente. Autor

A continuación, se procede a explicar cada una de las etapas realizadas:

- **Inicio:** se inicializa el programa y todas las configuraciones necesarias para su uso
- **Inicializar Arduino Mega:** Se configura el Arduino Mega para su correcto funcionamiento

- **Inicializar sensores:** Se prepara los sensores que se van a utilizar para adquirir los datos, en la cual se configura sus respectivos pines para ser analizados
- **Configuración de comunicación:** Se establece la comunicación con los sensores FRP, BPS, MAF, utilizar los respectivos protocolos de comunicación, para señales digitales se utiliza el protocolo UART ((Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)), y para señales analógicas el protocolo ADC (Analog-to-Digital Converter)
- **Inicializar Variables:** Se declara y se asigna valores iniciales a las variables que se utiliza para almacenar los datos adquiridos.
- **Bucle principal:** Se ejecuta el programa
- **Leer datos de sensores:** se lee los datos de los sensores conectados al Arduino mega, especificar las revoluciones y la temperatura del motor
- **Procesar datos adquiridos:** los datos adquiridos son filtrados por un módulo externo para una mejor captura y manipulación de la información
- **Almacenar los datos en una estructura:** Guarda los datos adquiridos en una estructura para su posterior uso y análisis.
- **Verificar si alcanzo el límite de muestras:** Se comprueba si alcanzo el límite de muestras adquiridas para finalizar la adquisición de datos.
- **Si:** El programa continuo con la etapa de Fin
- **No:** El programa regresa al bucle principal para seguir adquirir datos
- **Fin:** Finaliza el programa

Captura de señales analógicas

Para capturar señales analógicas, se utilizó los pines analógicos del Arduino Mega, que se numeran de A0 a A15. En el módulo de captura de datos se utilizó los pines A0 y A1. En el código, utiliza la función analogRead (A0, A1) para leer el valor analógico. presente en el pin especificado. El valor leído por el módulo de adquisición de datos será un número entero entre el valor inicial y el valor final del sensor. Teniendo en cuenta el rango de voltaje de trabajo de Arduino Mega que es de 0 a 5.

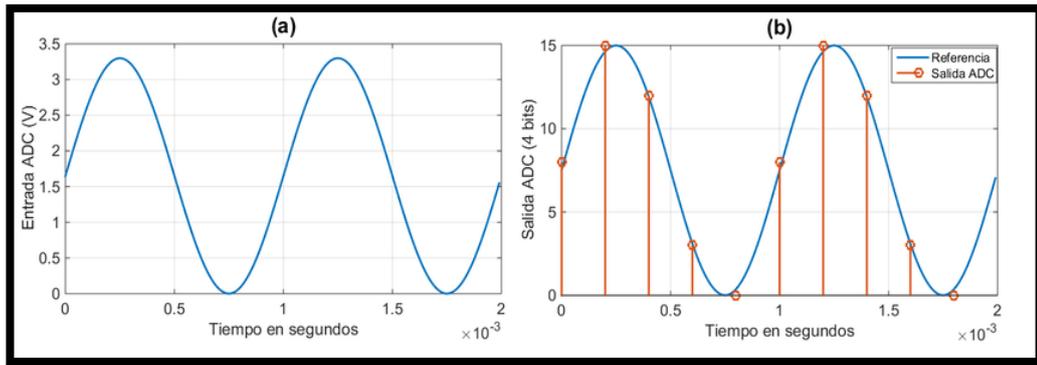


Figura 11. Señal analógica
Fuente. [49]

Captura de señales digitales

Los pines digitales del Arduino Mega, van numerados desde el pin D2 a D53, estos pueden utilizarse para capturar tanto señales analógicas como digitales. En el código, utiliza la función `digitalRead(D2)` para leer el valor digital presente en el pin especificado. El valor leído será 0 o 1, el mismo que corresponderá a los niveles lógicos de bajo y alto, respectivamente. En el módulo de captura de datos se utilizó el pin D2 para capturar la señal digital del sensor MAF. Es importante saber que se utiliza la función `pinMode (pin, INPUT)` para configurar un pin como entrada analógica o digital. Por ejemplo, `pinMode (A0, INPUT)` configura el pin A0 como entrada analógica, mientras que `pinMode (D2, INPUT)` configura el pin digital D2 como entrada digital.

En el bucle principal `loop ()`, puede capturar las señales con las funciones mencionadas anteriormente y realizar acciones adicionales en función de los valores leídos. Con este proceso se envía los datos capturados a través de una conexión serial.

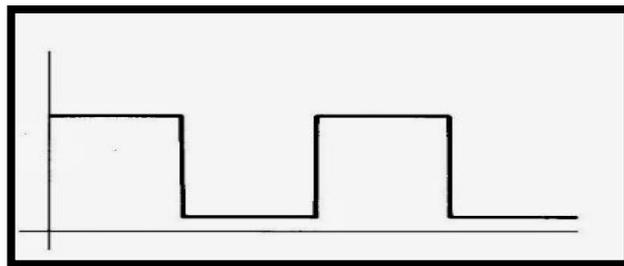


Figura 12. Señal digital
Fuente. [50]

Programación para captura de datos en Matlab

Para capturar datos en MATLAB, primero se procedió a configurar los parámetros de adquisición de datos según el tipo de señal que se va a capturar. Esto incluye especificar el tipo de dispositivo de adquisición de datos que se utilizara, en nuestro caso es el Arduino Mega, por medio de una comunicación serial, así como la configuración del canal de entrada, la frecuencia de muestreo que en el caso de los sensores analógicos y digitales van a depender de las revoluciones del motor y de la temperatura del refrigerante, y la duración de la adquisición de los datos que serán de 10 muestras por cada prueba. Una vez configurados los parámetros, podemos utilizar funciones y métodos específicos del dispositivo para realizar la captura de datos. Como se está utilizando una comunicación serial, se utiliza la función `fread` para leer los datos recibidos a través del puerto serial.

Una vez capturados los datos en MATLAB, se puede procesar, analizar, realizar la gráfica para la comparación con la gráfica patrón para su respectivo análisis. MATLAB ofrece una amplia gama de funciones y herramientas para el procesamiento de señales, como filtrado, análisis espectral, detección de eventos y más. Estas funciones realizan análisis en tiempo real y análisis offline sobre los datos capturados. Se puede visualizar y analizar los datos utilizando gráficas y realizar operaciones matemáticas o estadísticas sobre los mismos para tener el error que existe entre las gráficas. En el programa de MATLAB se va a proceder a guardar los datos capturados en formato Excel que está ligado al software para su posterior uso o análisis fuera del entorno de MATLAB. En la Figura 13, Se observa el diagrama de flujo para la captura de datos.

Es importante mencionar que, al programar la captura de datos en MATLAB, se consideró aspectos como la sincronización de tiempo, el manejo de buffers y la eficiencia en el almacenamiento de los datos capturados. Para sincronizar el tiempo de captura, se utilizó el método de captura que utiliza los scanner automotrices para capturar el dato en el tiempo transcurrido durante la adquisición, hay que tener en cuenta el valor de revoluciones de motor y la temperatura. Para optimizar el almacenamiento de datos, se realiza la captura de 10 muestras de datos a diferentes

revoluciones del motor. En la parte de Anexo. se detalla la programación realizada para la captura de datos en el software MATLAB

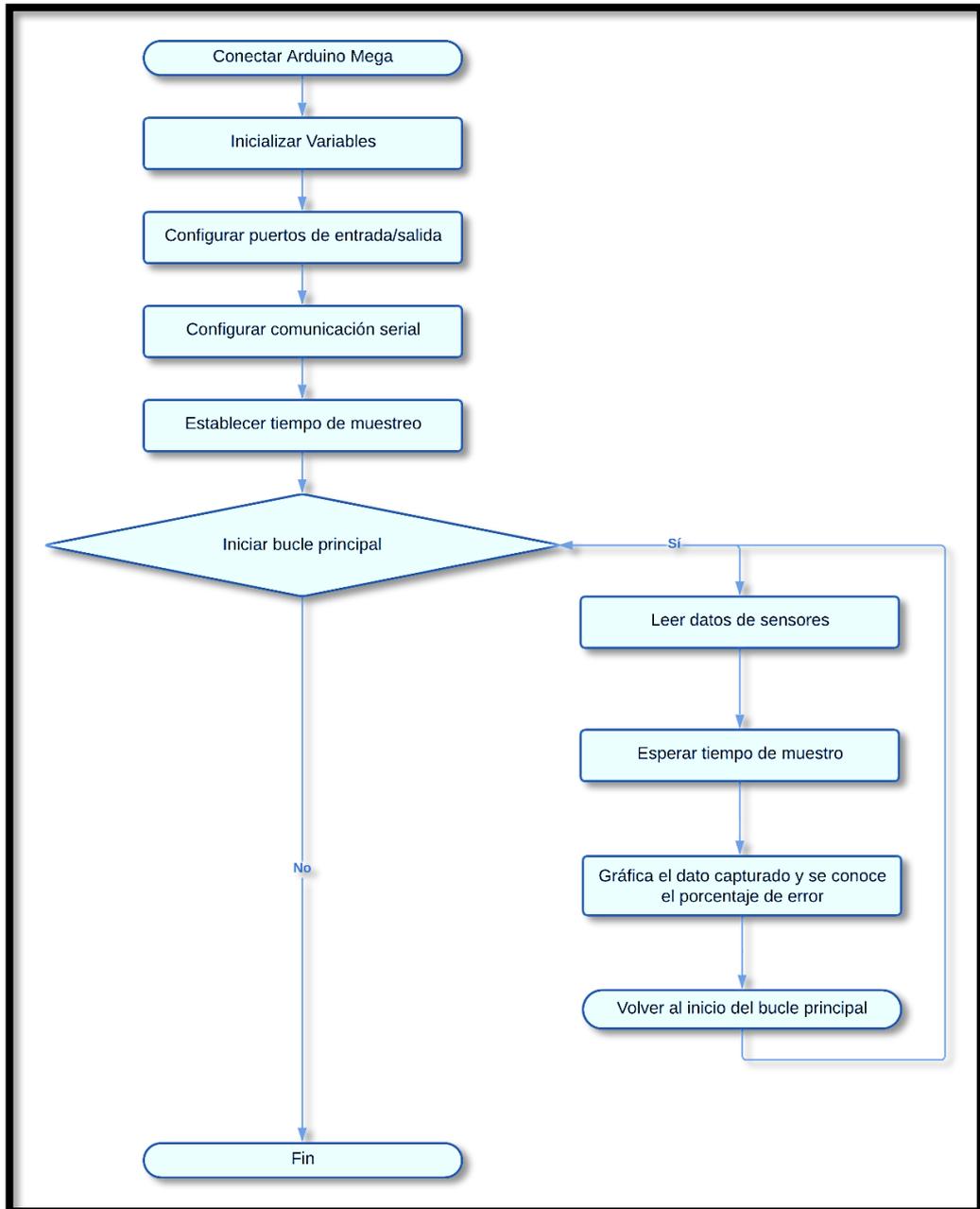


Figura 13. Diagrama de flujo de funcionamiento del módulo de captura de datos
Fuente. Autor

A continuación, se procede a explicar cada una de las etapas realizadas:

- **Conectar Arduino:** Establecer una conexión física entre el Arduino Mega y el dispositivo de adquisición de datos (sensores, FRP, BPS, MAF).
- **Inicializar variables:** Declarar y asignar valores iniciales a las variables para

almacenar los datos adquiridos.

- **Configurar puertos de entrada/salida:** Configura los puertos del Arduino Mega. Tanto como para los sensores analógicos como los digitales.
- **Configurar comunicación serial:** Al enviar los datos adquiridos al ordenador, se debe configurar la comunicación serial del Arduino Mega para establecer una conexión y enviar los datos a través de un puerto serial en nuestro caso se utilizó el puerto COM3.
- **Establecer tiempo de muestreo:** Definir el intervalo de tiempo entre cada adquisición de datos de cada uno de los sensores, tener en cuenta las revoluciones y temperatura del motor. Esto determina la frecuencia con la que el Arduino Mega leerá los valores de los sensores.
- **Iniciar bucle principal:** Comienza un bucle que se ejecutará continuamente hasta que se interrumpa.
- **Leer datos de los sensores:** En cada iteración del bucle principal, lee los valores de los sensores conectados al Arduino Mega. Estos datos son captados directamente desde los cables de señal de los sensores.
- **Esperar tiempo de muestreo:** Después de leer los datos, se espera un tiempo de muestreo especificado antes de continuar con la siguiente iteración, cada iteración tiene 5 toma de datos del bucle principal.
- **Grafica el dato capturado y se conoce el porcentaje de error:** Procede a graficar los datos capturados de los sensores FRP, BPS, MAF, y realiza una comparación con la onda patrón para poder dar un porcentaje de error.
- **Volver al inicio del bucle principal:** Una vez que se ha esperado el tiempo de muestreo, vuelve al inicio del bucle principal y repite el proceso de adquisición de datos.
- **Fin:** Finaliza el programa

2.5 Rango de funcionamiento de los sensores

Después de haber seleccionado los componentes y determinado las características de cada elemento, el siguiente paso es definir los voltajes de trabajo para las señales analógicas y digitales. Estos valores de voltaje deben ser exactos para garantizar un adecuado funcionamiento de los sensores y su correcta integración con el Arduino Mega.

En la siguiente Tabla 10, se presentan los valores iniciales y finales de voltaje y

frecuencia para cada uno de los sensores seleccionados en el sistema Common Rail. Estos valores son tomados de manuales de fabricantes para asegurar una adquisición precisa y confiable de los datos provenientes de los sensores:

Tabla 10. Valores iniciales y finales de sensores MAF, FRP, BPS

ITEM	NOMBRE SENSOR	TIPO DE SEÑAL	FECUENCIA(Hz)		VOLTAJE (v)	
			MIN.	MAX	MIN.	MAX.
1	Masa de flujo de aire (MAF).	Digital	0.22Hz	38 Hz	1.84v	3.3v
2	Presión de riel de combustible (FRP).	Analógica	x	x	0.5v	2.2v
3	Presión de sobrealimentación (BPS).	Analógica	x	x	0.85v	1.99v

Fuente: [48]

2.5.1 Señal patrón del sensor MAF

El sensor MAF (Sensor de Flujo de Aire) desempeña un papel crucial al recibir la señal del flujo de aire del motor y transmitirla a la ECU (Unidad de Control del Motor). Para su funcionamiento, el sensor requiere un voltaje de referencia (5v), un voltaje de masa (0.10mV) y una señal, que se detallan en la Tabla 11, estos datos fueron adquiridos directamente del vehículo VW Amarok TDi, en la Figura 14, se muestra el diagrama de conexión del sensor de Flujo de Aire, y proporciona una gráfica visual de su configuración.

Tabla 11. Designación de pines del sensor MAF (4 pines)

Nombre del sensor	Señal MAF(V/Hz)	Masa(mV)	Alimentación(V)	Señal IAT(V/Hz)
Masa de flujo de aire (MAF)	2.33V	0.65mv	12v	3.060V
Código de color	Negro/Morado	Café/Blanco	Azul/Negro	Morado/Amarillo

Fuente: Autor

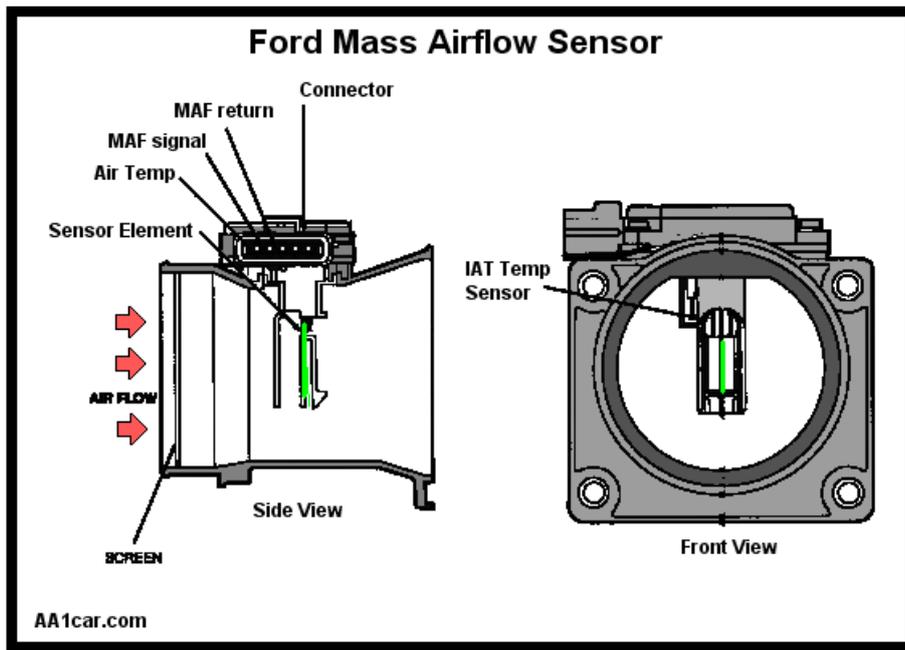


Figura 14. Pin Out sensor MAF
Fuente: [53]

La señal generada por el sensor MAF es una señal digital que se mide en Hertz (Hz). Debido a que es una señal de alta frecuencia, se requiere el uso de un osciloscopio para su correcta medición. Esta señal es convertida, lo que significa que el sensor envía la frecuencia y la computadora la convierte en gramos por segundo (gr/s).

Para obtener la forma de onda patrón, se partió de la tabla original de la página de Bosch, luego se procedió a la captura de datos del sensor utilizando el osciloscopio. Se tomaron 10 datos en diferentes revoluciones con una temperatura de 89 °C, dichos datos se insertaron en el software Excel, se procedió a graficarlos y a linealizarlos para obtener la ecuación que permita insertar en la programación del módulo de adquisición de datos para obtener la gráfica patrón, para su uso posterior en la comparación con otros sensores de diferentes vehículos. La Tabla 12, muestra los datos capturados del sensor MAF, los cuales se utilizaron para crear la señal patrón. Esta señal patrón se utilizó posteriormente para compararla con los datos en tiempo real de otros sensores y verificar posibles errores, permitir determinar si el sensor está funcionando correctamente o no.

Tabla 12. Datos de la señal patrón del sensor MAF

TIEMPO(s)	TEMPERATURA °C	REVOLUCIONES	FLUJO (Hz)	VOLTAJE
1	89	1000	0.22	1.5
2	89	1100	5.25	1.8
3	89	1200	11.6	2.0
4	89	1300	17.62	2.3
5	89	1400	23.0	2.5
6	89	1500	26.5	2.8
7	89	1600	31.4	3.0
8	89	1700	34.2	3.2
9	89	1800	36.5	3.4
10	89	1900	38.0	3.5

Fuente: Autor

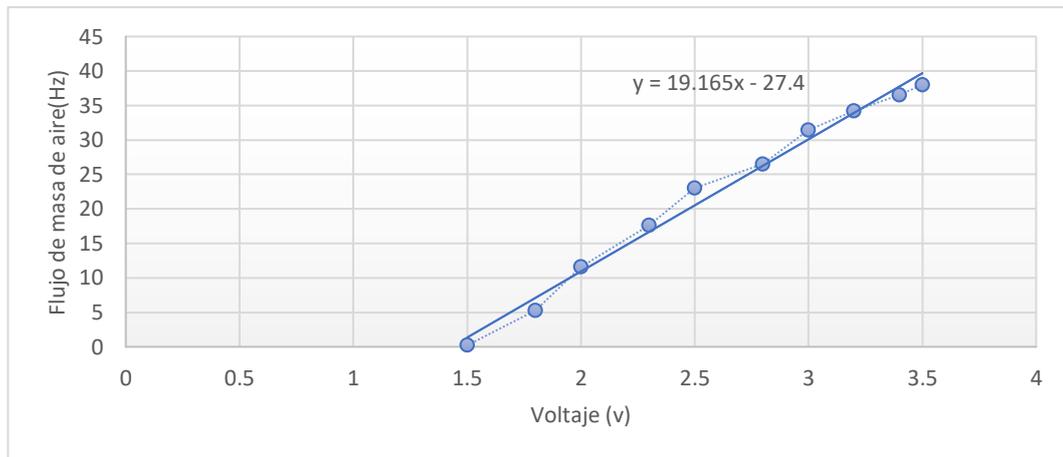


Figura 15. Gráfica de la señal patrón de sensor MAF

Fuente. Autor

2.5.2 Señal patrón del sensor FRP

El funcionamiento del sensor FRP consiste en que ingresa el combustible a través de un orificio del riel y se dirige al sensor. El sensor posee un cristal piezoeléctrico que al deformarse genera una señal en voltios convertida en presión del sistema. el sensor requiere un voltaje de referencia(5v), un voltaje de masa(10mV) y una señal, que se detallan en la Tabla 13, estos datos fueron adquiridos directamente del vehículo VW Amarok TDi, en la Figura 16, se muestra el diagrama de conexión del sensor de Presión de Riel, proporciona una referencia visual de su configuración.

Tabla 13. Designación de pines del sensor FRP (3 pines)

Nombre del sensor	Señal FRP (V)	Masa(mV)	Alimentación(V)
Presión de Combustible del Riel (FRP)	0.5V	20mv	5.0v
Código de color	Azul	Café	Negro

Fuente. Autor

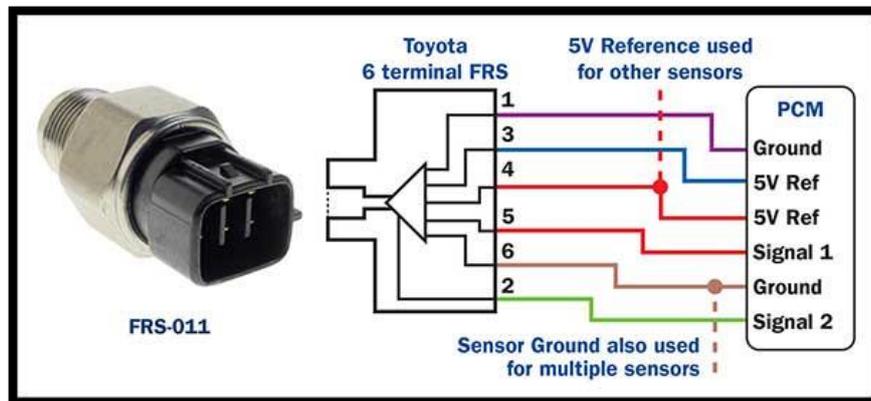


Figura 16. Sensor FRP

Fuente: [51]

La señal del sensor varía según la deformación del cristal piezoeléctrico ejercida por la presión del sistema. La tensión del sensor en contacto parte de los 0.5 V, cuando el vehículo se encuentra a 1000 rpm tiene una tensión de 1.1V alcanzando un voltaje máximo de 4.5 V. Esta tensión es convertida por la computadora a Bar, donde tendremos que $0.5V = 0 \text{ Bar}$, $1.1V = 280 \text{ Bar}$, $1.63V = 1350 \text{ Bar}$. La presión del riel es medida de forma exacta para que el sistema funcione adecuadamente, para esta medición se puede ocupar un manómetro de 4000 psi, escáner, multímetro. Por esta razón, las tolerancias de presión admisibles del sensor son también muy reducidas. En la Tabla 14 se puede observar la tensión y presión.

Tabla 14. Tensión vs presión del sistema

Nombre del sensor	Revoluciones (rpm)	Voltaje (V)	Presión (Bar)
Presión de Combustible del Riel (FRP)	0	0.5	0
	1000	1.1	280
	2300	1.63	1350

Fuente: autor

Para obtener la forma de onda patrón, se partió de la tabla original de la página de

Bosch se realizó la captura de datos del sensor FRP utilizando el multímetro. Se tomaron 10 datos en diferentes revoluciones con una temperatura de 89 °C, dichos datos se insertaron en el software Excel y se procedió a graficarlos y a linealizarlos para obtener la ecuación que nos permita insertar en la programación del módulo de adquisición de datos, para su respectiva comparación con otros sensores de diferentes vehículos. La Tabla 15, muestra los datos capturados del sensor FRP, los cuales se utilizarán para crear la señal patrón. Esta señal patrón se utilizará posteriormente para compararla con los datos de otros sensores en tiempo real y verificar posibles errores, permitir determinar si el sensor está funcionando de forma correcta o no.

Tabla 15. Datos de la señal patrón del sensor FRP

TIEMPO(s)	TEMPERATURA °C	REVOLUCIONES	PRESIÓN (BAR)	VOLTAJE
1	89	1000	0	0.3
2	89	1100	100	0.5
3	89	1200	280	1.0
4	89	1300	460	1.5
5	89	1400	700	2.0
6	89	1500	900	2.5
7	89	1600	1100	3.0
8	89	1700	1300	3.5
9	89	1800	1450	4.0
10	89	1900	1500	4.5

Fuente: Autor

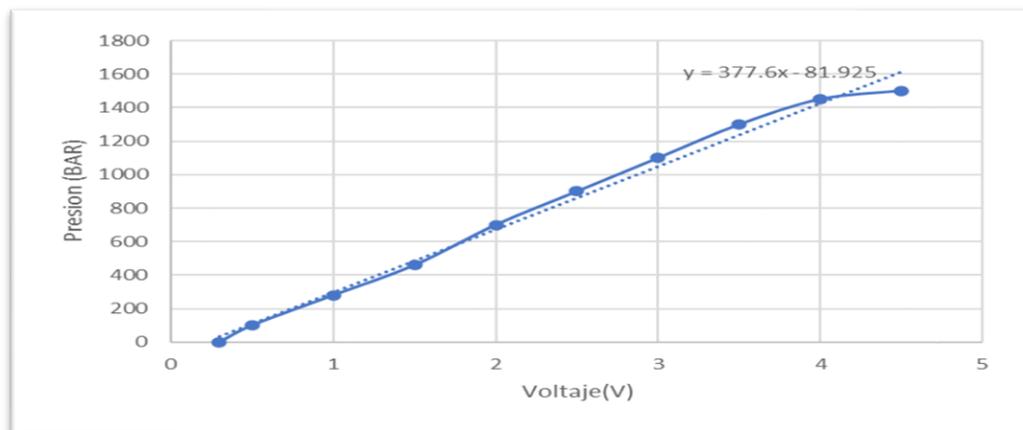


Figura 17. Gráfica de la señal patrón de sensor FRP
Fuente. Autor

2.5.3 Señal patrón del sensor BPS

El sensor BPS es el encargado de medir la presión del múltiple de admisión, la tensión de salida de voltaje del sensor es 0.85V.

La presión del múltiple de admisión es alta debido al turbo compresor en el vehículo, Cuando tenemos 2500 rpm, la tensión de voltaje del sensor es 1.99 V. El ECM recibe esta señal emitida del sensor en voltaje la cual es transforma de voltaje a KPa. El rango de funcionamiento en presión se encuentra entre 0.85V = 81KPa mientras que 1.99 V = 170 KPa.

El sensor recibe un voltaje de referencia de (5V) del ECM. La tierra del sensor también es proporcionada por el ECM, En la Tabla 16, tenemos los datos del sensor, estos datos fueron adquiridos directamente del vehículo VW Amarok TDi, En la Figura 18, se muestra la configuración eléctrica del sensor de Presión del Turbo, proporcionar una referencia visual de su configuración.

Tabla 16. Designación de pines del sensor BPS (4pines)

Nombre del sensor	Señal BPS (V)	Masa(mV)	Alimentación(V)	Señal IAT(V)
Presión del Turbocargador (FRP)	0.75V	5.3 mV	5.0v	2.46 V
Código de color	Blanco/Negro	Plomo/Amarillo	Verde agua/Negro	Verde agua/amarillo

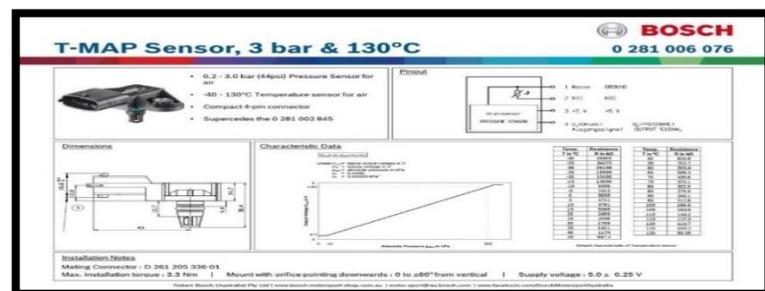


Figura 18. Sensor BPS
Fuente: [52]

Para obtener la forma de onda patrón, se partió de la tabla original de la página de Bosch, se realizó la captura de datos del sensor utilizando el multímetro. Se tomaron 10 datos a diferentes revoluciones con una temperatura de 89 °C, dichos datos se insertaron en el software Excel y se procedió a graficarlos y a linealizarlos para obtener la ecuación que nos permita insertar en la programación del módulo de adquisición de datos, para su respectiva comparación con otros sensores de diferentes vehículos. La Tabla 17, muestra los datos capturados del sensor BPS, los cuales se utilizarán para crear la señal patrón. Esta señal patrón se utilizará posteriormente para compararla con los datos en tiempo real y verificar posibles errores, permitir determinar si el sensor está en correcto funcionamiento o no.

Tabla 17. Datos de la señal patrón del sensor BPS

TIEMPO(s)	TEMPERATURA °C	REVOLUCIONES	PRESIÓN (kPa)	VOLTAJE
1	89	1000	75	1.2
2	89	1100	100	1.6
3	89	1200	125	2.0
4	89	1300	150	2.4
5	89	1400	175	2.8
6	89	1300	200	3.2
7	89	1500	225	3.6
8	89	1600	250	4.0
9	89	1700	275	4.4
10	89	1800	300	4.8

Fuente: autor

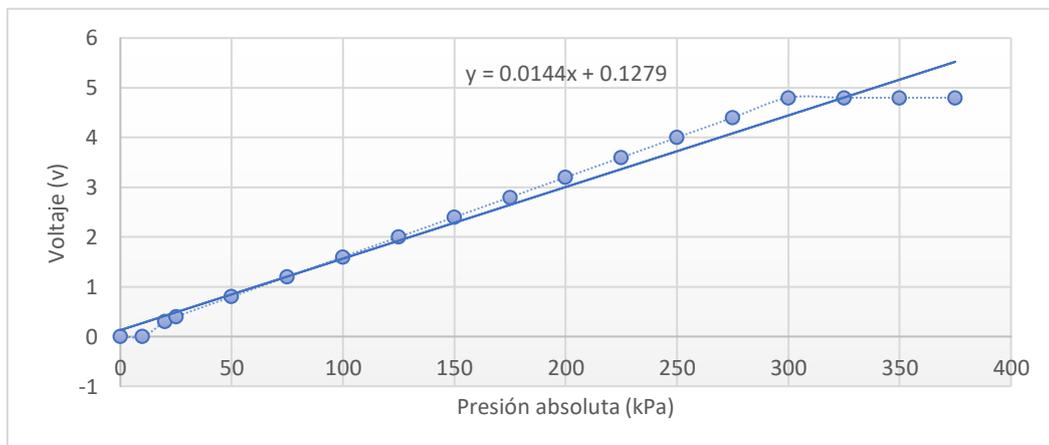


Figura 19. Gráfica de la señal patrón de sensor BPS

Fuente. Autor

CAPÍTULO III

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1 Introducción y objetivo del capítulo

En este capítulo, se presenta el análisis detallado del módulo de adquisición de datos, así como los criterios específicos que se han tenido en cuenta para examinar los datos y las gráficas de los sensores del sistema Common Rail. Se exponen los resultados obtenidos y se lleva a cabo la verificación de los datos para comprobar el estado de los sensores del sistema Common Rail.

3.2 Importancia del análisis de datos y gráficas del sensor FRP

Se realizó un análisis del módulo de adquisición de datos, el cual es responsable de la recolección y registro de la información relevante. Se describió detalladamente el proceso de adquisición de los datos y se explicó cómo se han almacenado y organizado para su posterior análisis.

Se presento las gráficas generadas a partir de los datos recopilados de los sensores del sistema Common Rail. Cada gráfica es examinada, según el tipo de sensor que representa. Se identifico y se interpretó los patrones, tendencias y posibles anomalías presentes en las gráficas, enfocándose en su relación con el estado del sistema Common Rail en el motor de combustión interna.

Los resultados obtenidos en el análisis de los datos son presentados de manera clara y concisa. Se resaltaron los hallazgos significativos, como valores atípicos o variaciones inesperadas en los datos, que puedan indicar un mal funcionamiento o desgaste de los sensores del sistema Common Rail. Estos resultados se relacionan directamente con los criterios específicos establecidos previamente para la evaluación del estado de los sensores.

Es importante destacar que se realizó la verificación de los datos obtenidos para asegurar su fiabilidad y consistencia. Se examinó posibles errores de medición, se aplicaron técnicas de validación y se analizaron datos inconsistentes o erróneos, para proporcionar así un análisis completo del módulo de adquisición de datos, las gráficas de los sensores del sistema Common Rail y los resultados obtenidos. Se demostró, la utilidad del análisis de datos y sus gráficas, de esta manera se comprueba el estado de los sensores y se brinda una base sólida para las conclusiones y recomendaciones que se presentarán posteriormente en la tesis.

3.3 Presentación de datos

3.3.1 Descripción de la captura de datos y análisis de gráficas.

Los datos capturados para este estudio provienen de las señales de los sensores FRP (Rail de Presión de Combustible), BPS (Sensor de Presión del Colector de Admisión) y MAF (Sensor de Flujo de Aire). Estos datos fueron adquiridos utilizando un módulo de adquisición de datos y posteriormente procesados en Matlab para su análisis. Para facilitar su estudio, los datos se presentan en tablas de Excel que contienen la información relevante de cada sensor.

En el caso de los sensores analógicos (FRP y BPS), su análisis se lleva a cabo en unidades de voltaje, que representan las lecturas proporcionadas por los sensores. Por otro lado, el sensor MAF es de naturaleza digital y su análisis se realiza en Hertz, que indica la frecuencia de la señal capturada.

En las siguientes tablas se presentan las dos gráficas esenciales para el análisis de los datos de los tres sensores: la gráfica de la señal patrón y la gráfica de la señal capturada por el módulo de adquisición de datos. Estas gráficas permiten comparar y evaluar y determinar el error entre las dos gráficas, adicional que se puede visualizar el desempeño de los sensores en relación con la señal patrón.

3.3.2 Análisis de la señal del sensor FRP

El análisis de los datos del sensor se llevó a cabo mediante la comparación de los datos obtenidos por la señal del sensor y los datos de la gráfica patrón. Se examinó discrepancias, fluctuaciones o desviaciones entre las señales capturadas y la señal patrón, lo que podría indicar un mal funcionamiento o un rendimiento inadecuado

de los sensores. En este caso se procedió a analizar una camioneta con un sensor en mal estado la misma que presentaba fallas de potencia y problemas de encendido. En el software Matlab tenemos la siguiente grafica analizada por Matlab que se puede observar en la Figura. 20.

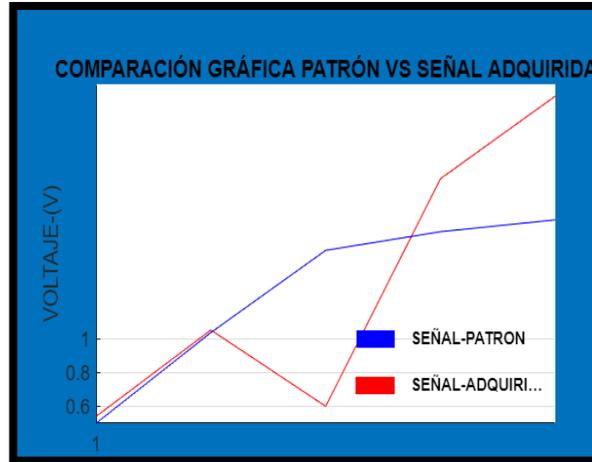


Figura 20. Datos analizados por Matlab
Fuente. Autor

Las tablas y gráficas mencionadas se presentan a continuación en la Tabla 18, para facilitar el análisis y la interpretación de los datos de la gráfica patrón y los datos de un sensor en mal estado para el análisis en Matlab mientras que en la Figura. 20, se puede observar de forma gráfica.

Tabla 18. Datos de señal patrón vs datos capturados por el módulo de adquisición del sensor FRP

DATOS DE LA SEÑAL PATRÓN DEL SENSOR FRP				
TIEMPO	TEMPERATURA °C	REVOLUCIONES	PRESIÓN(BARR)	VOLTAJE
1	89	1000	0	0.3
2	89	1100	100	0.5
3	89	1200	280	1.0
4	89	1300	460	1.5
5	89	1400	700	2.0
6	89	1300	900	2.5
7	89	1500	1100	3.0
8	89	1600	1300	3.5
9	89	1700	1450	4.0
10	89	1800	1500	4.5

DATOS CAPTURADOS POR EL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SENSOR FRP				
TIEMPO	TEMPERATURA °C	REVOLUCIONES	PRESIÓN(BAR)	VOLTAJE
1	89	1000	100	0.3
2	89	1100	180	0.7
3	89	1200	280	1.0
4	89	1300	460	1.5
5	89	1400	190	0.8
6	89	1300	900	2.8
7	89	1500	1100	3.0
8	89	1600	1300	3.5
9	89	1700	1600	4.2
10	89	1800	1800	4.5

Fuente. Autor

Se realizó un análisis comparativo de los datos presentados en la Tabla 18, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- La gráfica de la señal capturada y la gráfica de la señal patrón se puede notar que existe una baja similitud entre las dos.

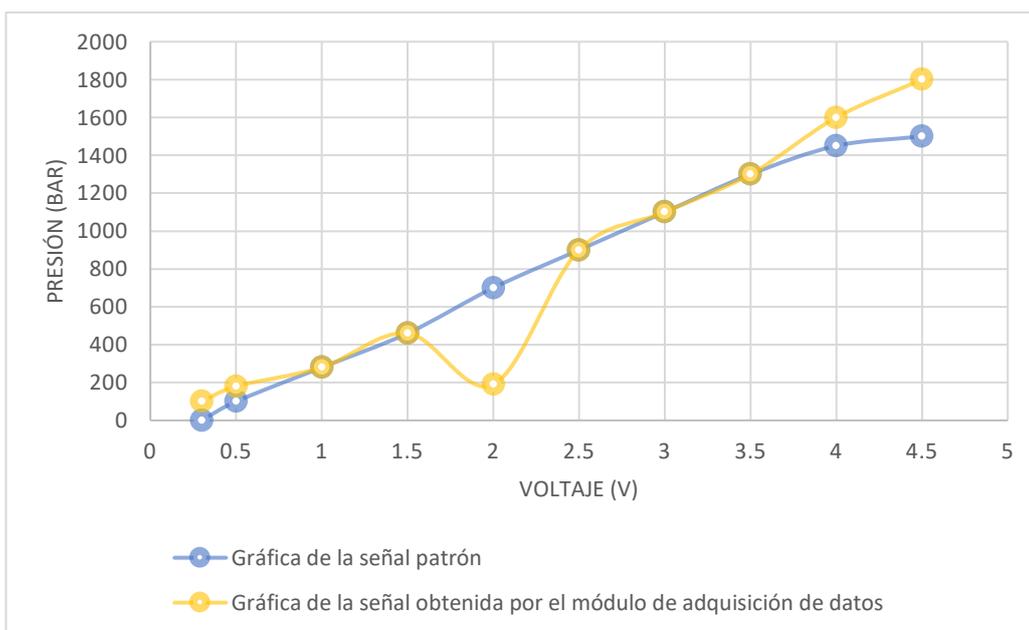


Figura 21. Gráfica de comparación de datos entre gráfica patrón y gráfica obtenida por el módulo de adquisición de datos de los sensores FRP

Fuente. Autor

- Se pudo identificar algunas inconsistencias. En el dato número 2, se

observa una variación en la gráfica y revisando el dato capturado se tiene que el dato de la gráfica patrón es 0.5v y el dato de la gráfica capturada por el módulo de adquisición de datos es de 0.7v.

- Se observa una caída brusca del voltaje al momento de acelerar, específicamente en el dato número 5. Esto provoca que la forma de la señal ya no sea exponencial y se evidencia una disminución pronunciada en la gráfica teniendo un voltaje capturado por el módulo de adquisición de 0.9v.
- El dato número 9, se aprecia un aumento repentino en la gráfica, lo que indica un incremento de voltaje sin motivo aparente. Este cambio inesperado en la gráfica también afecta el análisis.

Al realizar un análisis de las gráficas de manera independiente, se obtuvieron los siguientes resultados:

Gráfica patrón de la señal del sensor FRP

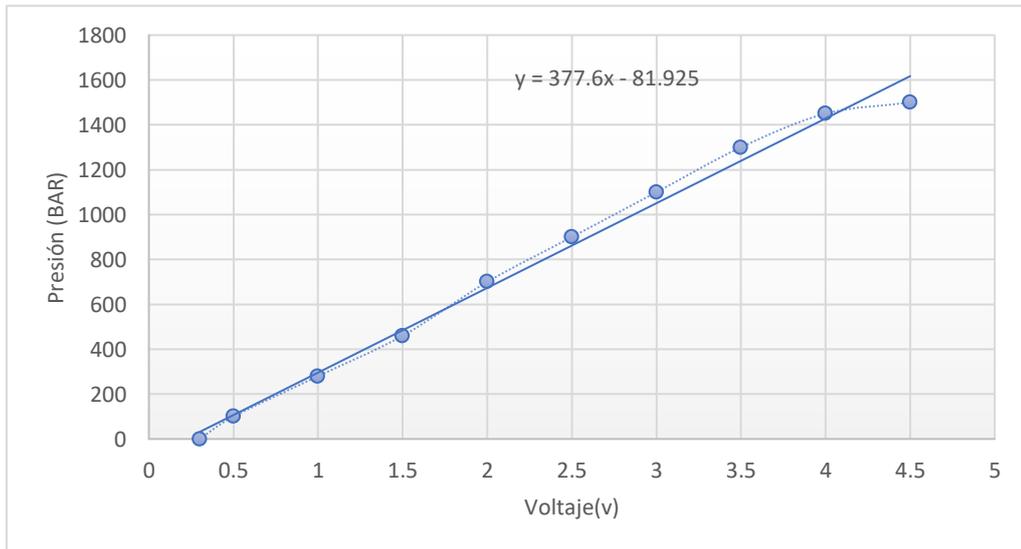


Figura 22. Gráfica patrón de la señal sensor FRP
Fuente. Autor

Tabla 19. Gráfica patrón de la señal sensor FRP

GRÁFICA PATRÓN DE LA SEÑAL DEL SENSOR FRP		
TIEMPO	PRESIÓN(BAR)	VOLTAJE
1	0	0.3
2	100	0.5
3	280	1.0
4	460	1.5
5	700	2.0
6	900	2.5
7	1100	3.0
8	1300	3.5
9	1450	4.0
10	1500	4.5

Fuente: Autor

Al analizar la gráfica patrón, se observa que, al linealizar la curva, se obtiene una relación coherente y se puede establecer una ecuación que permita el estudio de la gráfica y posterior comparación con otros sensores.

Gráfica de la señal capturada por el módulo de adquisición de datos

Tabla 20. Datos obtenidos por el módulo de adquisición de datos

GRÁFICA DE LA SEÑAL SENSOR FRP OBTENIDA POR EL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS		
TIEMPO	PRESIÓN(BAR)	VOLTAJE
1	100	0.3
2	180	0.7
3	280	1.0
4	460	1.5
5	190	0.8
6	900	2.8
7	1100	3.0
8	1300	3.5
9	1600	4.2
10	1800	4.5

Fuente. Autor

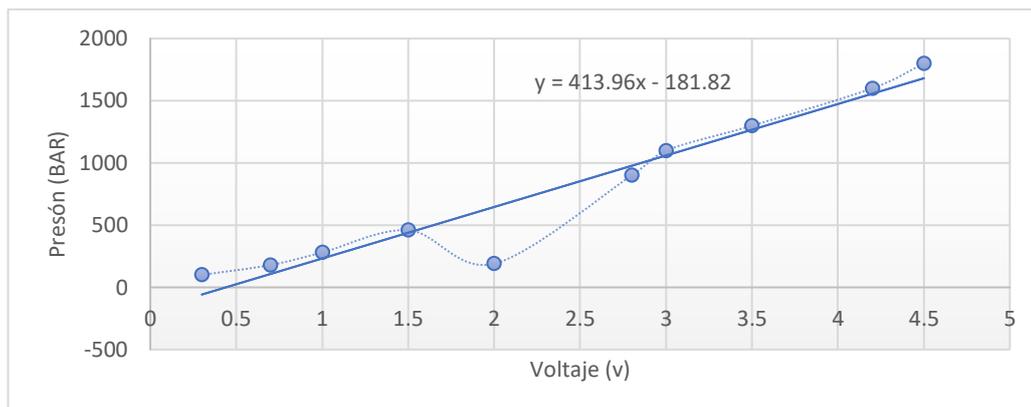


Figura 23. Gráfica de la señal obtenida por el módulo de adquisición de datos del sensor FRP

Fuente. Autor

Al examinar la gráfica obtenida por el módulo de adquisición de datos, se observa que el sensor está en mal estado. Al linealizar la curva capturada, se identifica una falta de concordancia con una relación lineal.

Estos resultados indican claramente que el sensor está experimentando un mal funcionamiento o desgaste, lo cual afecta la precisión y la fiabilidad de las mediciones.

Estas discrepancias entre la gráfica patrón y la gráfica obtenida por el módulo de adquisición de datos refuerzan la necesidad de una revisión y posible sustitución del sensor defectuoso. En la Tabla 21, se indica los datos con error

Tabla 21. Comparación de datos erróneos del sensor FRP

DATOS DE LA SEÑAL PATRÓN DEL SENSOR FRP			DATOS DEL MÓDULO DE CAPTURA DE DATOS DE LA SEÑAL DEL SENSOR FRP		
TIEMPO	PRESIÓN(BAR)	VOLTAJE	TIEMPO	PRESIÓN(BAR)	VOLTAJE
2	100	0.5	2	180	0.7
5	700	2.0	5	190	2.8
9	1500	4.2	9	1800	4.5

Fuente. Autor

Después de realizar el análisis gráfico y-revisar los datos se puede observar que hay tres datos que difieren notablemente de los valores de la gráfica de la señal patrón establecida. Estas discrepancias, sumadas al análisis general de la gráfica, indican que el sensor no se encuentra en un estado óptimo.

Gráfica obtenida por Matlab

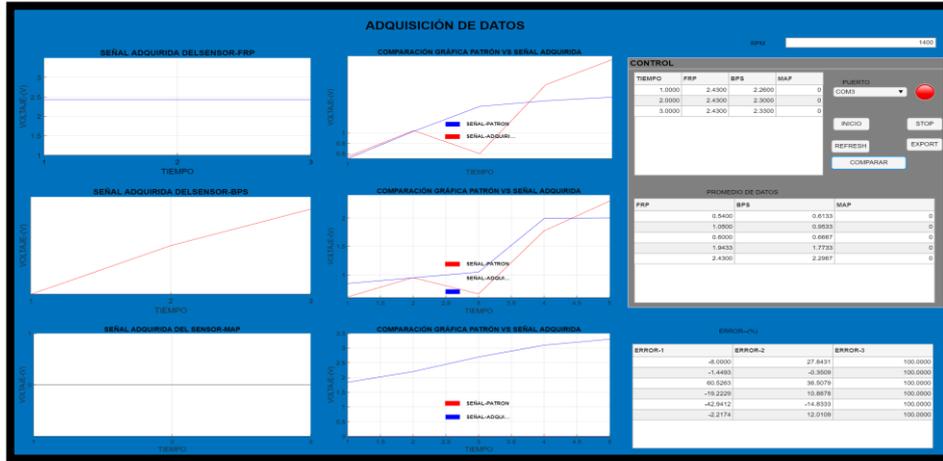


Figura 24. Análisis de datos en Matlab del sensor FRP

Fuente. Autor

En el software de Matlab se puede observar que las gráficas son distintas y no tienen relación entre ellas también se puede observar un error promedio de 50% en cada toma realizada en las diferentes revoluciones del motor a temperatura de funcionamiento. Por este motivo se recomienda de revisar en el motor de combustión interna lo siguiente: Que los pines del sensor se encuentren ajustados, que no exista suciedad en el sensor, que el conector del sensor este en buen estado, que el combustible no se encuentre contaminado y que las líneas hacia la unida de control de motor se encuentren en buen estado.

3.3.3 Análisis de la señal del sensor BPS

El análisis de los datos del sensor BPS se lleva a cabo mediante la comparación de la gráfica de la señal patrón y de la señal capturada con el módulo de adquisición de datos. Para ello se examinan posibles discrepancias, fluctuaciones entre las señales de los datos capturados y las señales de los datos patrón, lo que podría indicar un mal funcionamiento o un rendimiento inadecuado de los sensores. Este análisis permite evaluar el desempeño y la precisión del sensor BPS. En este caso se procede a revisar un vehículo con una falta de potencia. Y falla en el sensor BPS. En el software Matlab tenemos la siguiente grafica analizada por Matlab que se puede observar en la Figura. 25.

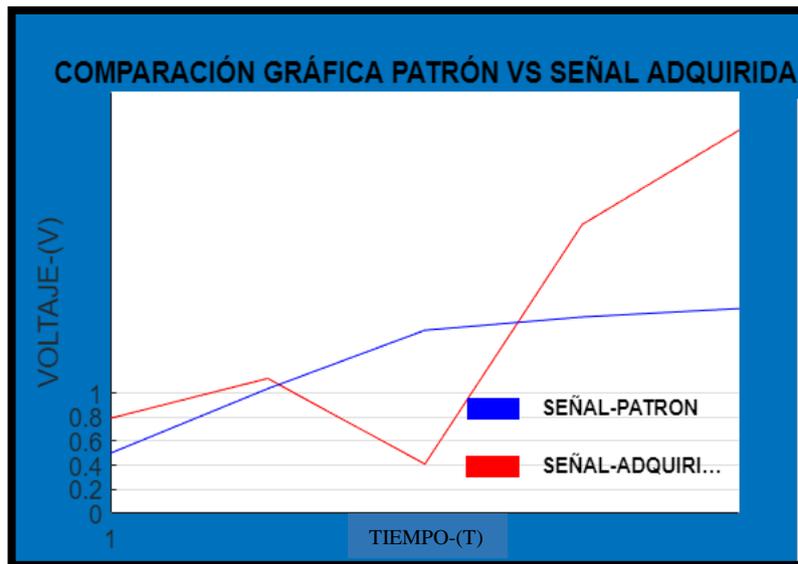


Figura 25. Datos analizados por Matlab

Fuente. Autor

Tabla 22. Datos de señal patrón vs datos capturados por el módulo de adquisición del sensor BPS

DATOS DE LA SEÑAL PATRÓN DEL SENSOR BPS				
TIEMPO	TEMPERATURA °C	REVOLUCIONES	PRESIÓN(kPa)	VOLTAJE
1	89	1000	75	1.2
2	89	1100	100	1.6
3	89	1200	125	2.0
4	89	1300	150	2.4
5	89	1400	175	2.8
6	89	1300	200	3.2
7	89	1500	225	3.6
8	89	1600	240	4.0
9	89	1700	275	4.4
10	89	1800	300	4.5
DATOS CAPTURADOS POR EL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SENSOR BPS				
TIEMPO	TEMPERATURA °C	REVOLUCIONES	PRESIÓN(kPa)	VOLTAJE
1	89	1000	100	1.3
2	89	1100	100	1.6
3	89	1200	125	2.0
4	89	1300	150	2.4
5	89	1400	175	2.8
6	89	1300	105	1.7
7	89	1500	225	3.6
8	89	1600	250	3.2
9	89	1700	320	3.9
10	89	1800	360	4.9

Fuente: Autor

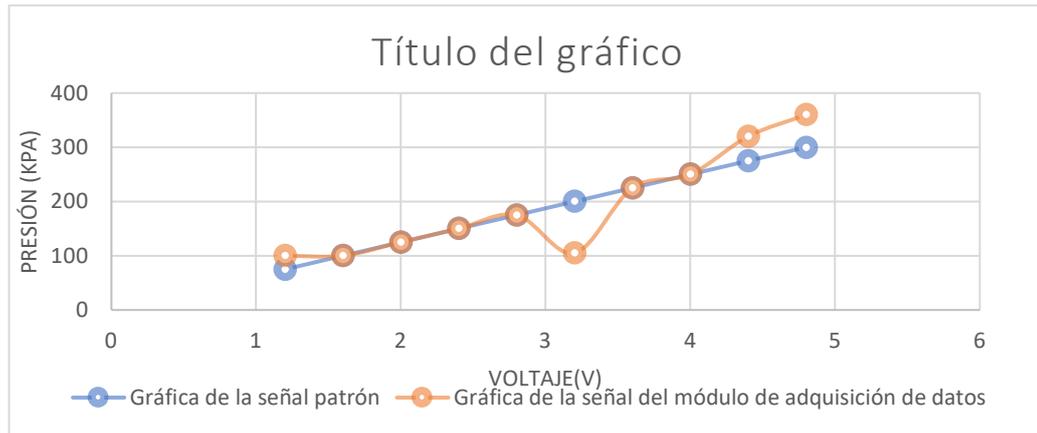


Figura 26. Gráfica de comparación de datos entre gráfica patrón y gráfica obtenida por el módulo de adquisición de datos de los sensores BPS
Fuente. Autor

Se presentan a continuación la tabla, para facilitar el análisis y la interpretación de los datos del sensor BPS en el cual se muestra la Tabla 22.

Después de realizar la graficas se puede realizar el siguiente análisis:

- Se observa que no existe una similitud entre las gráficas. La gráfica de la señal adquirida por el módulo de adquisición de datos no se asemeja a la gráfica de la señal patrón previamente establecida en el módulo de adquisición de datos.
- Se identificaron algunas variaciones. En el primer dato, se observa una diferencia entre la presión de la gráfica de la señal patrón teniendo un valor de 75 kpa y la presión de la gráfica de la señal capturada por el módulo de adquisición de datos que es de 100 kpa.
- En la gráfica de la señal capturada por el módulo de adquisición de datos, se aprecia en el Matlab una caída abrupta de la presión al momento de acelerar, específicamente en el sexto dato. Esto provoca una alteración en la forma de la señal, que deja de ser exponencial.
- En los datos octavo y noveno, se observa otra caída subida en la presión en la gráfica realizada por el Matlab de manera inesperada.
- Al realizar y analizar detenidamente los resultados obtenidos,

especialmente cuando se detectan inconsistencias entre los datos capturados por el módulo de adquisición de datos, y los datos de la señal patrón establecida. Se observa discrepancias que pueden actuar como indicadores potenciales de problemas en el sistema y el funcionamiento de los sensores utilizados en este vehículo.

Tabla 23. Señal patrón del sensor BPS

GRÁFICA DE LA SEÑAL PATRÓN DEL SENSOR BPS		
TIEMPO	PRESIÓN (kPa)	VOLTAJE
1	75	1.2
2	100	1.6
3	125	2.0
4	150	2.4
5	175	2.8
6	200	3.2
7	225	3.6
8	240	4.0
9	275	4.4
10	300	4.5

Al analizar la gráfica de la señal patrón, se observa que, al linealizar la curva, se obtiene una relación coherente y se puede establecer una ecuación para su estudio.

Cuando se menciona "linealizar la curva", generalmente implica encontrar una transformación matemática o una ecuación que haga que la relación entre las variables sea lineal.

En la Tabla. 24, se pueden observar los datos de la gráfica de la señal capturada por el módulo de adquisición de datos del sensor BPS

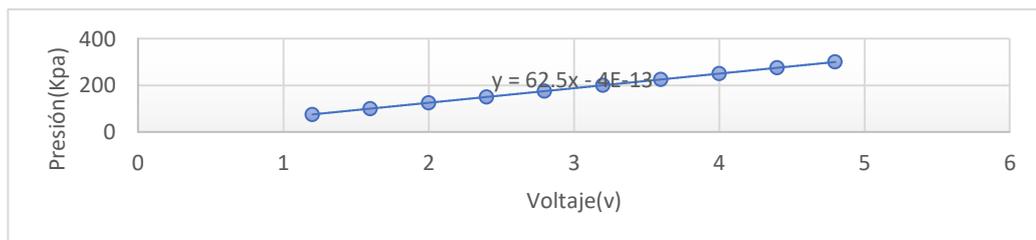


Figura 27. Gráfica de la señal patrón sensor BPS

Fuente. Autor

Tabla 24. Datos obtenidos de la señal del sensor por el módulo de adquisición de datos

CAPTURA DE DATOS SEÑAL BPS		
TIEMPO	PRESIÓN(kPa)	VOLTAJE
1	100	1.3
2	100	1.6
3	125	2.0
4	150	2.4
5	175	2.8
6	105	1.7
7	225	3.6
8	250	3.2
9	320	3.9
10		4.9

Fuente. Autor

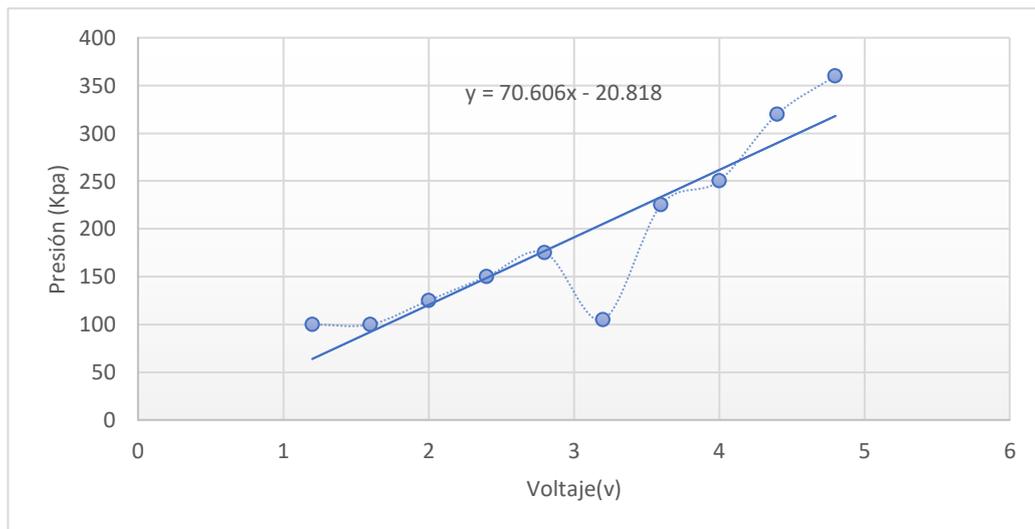


Figura 28. Gráfica de la señal capturada por el módulo de adquisición de datos del sensor BPS

Fuente. Autor

Al analizar la gráfica generada por el módulo de adquisición de datos, se puede observar que el sensor presenta un estado deficiente. Al comparar los datos capturados y graficarlos versus la gráfica de la señal patrón, se observa que las gráficas son diferentes. Al realizar el análisis en Matlab tenemos un error de 80% entre las dos gráficas. En la Tabla 25, se indica los datos con error obtenidos por el módulo de adquisición de datos para su análisis.

Tabla 25. Comparación de datos erróneos

DATOS DE LA SEÑAL PATRÓN DEL SESNOR BPS			DATOS DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA SEÑAL DEL SENSOR BPS		
TIEMPO	PRESIÓN (kPa)	VOLTAJE	TIEMPO	PRESIÓN (kPa)	VOLTAJE
1	75	1.2	1	100	1.3
6	200	3.2	6	100	1.7
7	225	3.6	7	225	3.6
8	240	4.0	8	250	3.2
9	275	4.4	9	320	3.9
10	300	4.5	10	360	4.9

Fuente. Autor

Después de realizar el análisis gráfico y ahora al revisar los datos obtenidos, se puede observar que hay seis datos que difieren notablemente de los valores de los datos de la señal de la gráfica patrón establecida. Estas diferencias, sumadas al análisis general de la gráfica realizado por Matlab, indica que el sensor no se encuentra en un estado óptimo.

Gráfica obtenida por Matlab

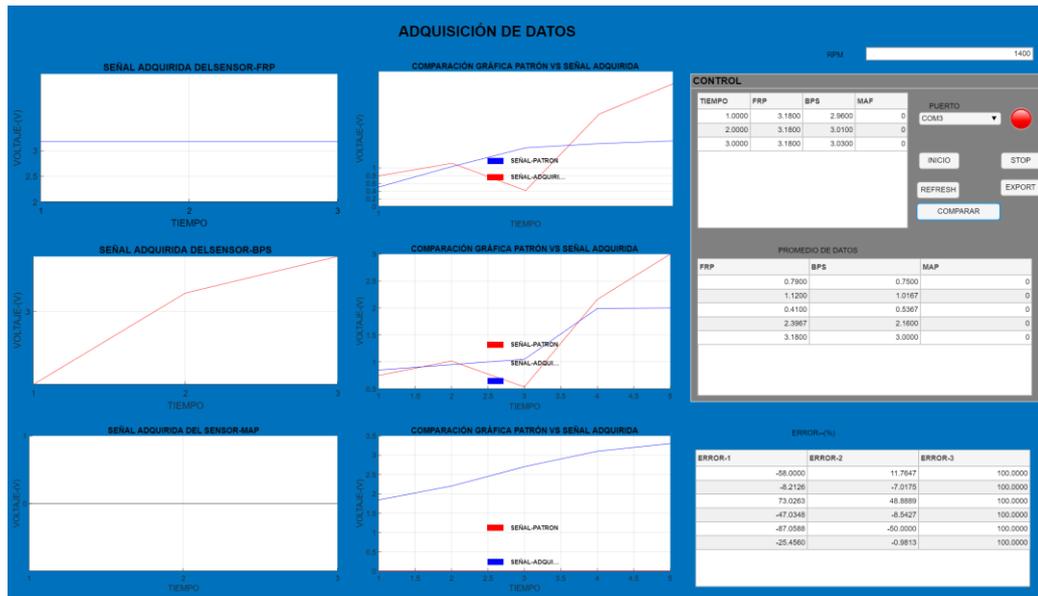


Figura 29. Análisis de datos en Matlab del sensor BPS

Fuente. Autor

En el software de Matlab se puede observar que las gráficas son distintas y no tienen relación entre ellas también se puede observar un error promedio de 100% en cada toma realizada en las diferentes revoluciones del motor a temperatura de

funcionamiento. Por los datos obtenidos en este caso se puede dar la recomendación de revisar en el motor de combustión interna las siguientes cosas: Conector del sensor, suciedad en el sensor, Obstrucción o mangueras rotas del turbo cargador y que las líneas hacia la unidad de control del motor se encuentren en buen estado.

3.3.5 Análisis de la señal del sensor MAF

El análisis de los datos del sensor MAF se lleva a cabo mediante la comparación de la gráfica de la señal obtenida por el módulo de adquisición de datos y señales de la gráfica patrón. Se examino posibles, fluctuaciones o desviaciones entre la señal capturada y la señal patrón. Esta metodología de análisis permite evaluar el desempeño y la precisión del sensor MAF. En el software Matlab tenemos la siguiente grafica analizada por Matlab que se puede observar en la Figura. 25.

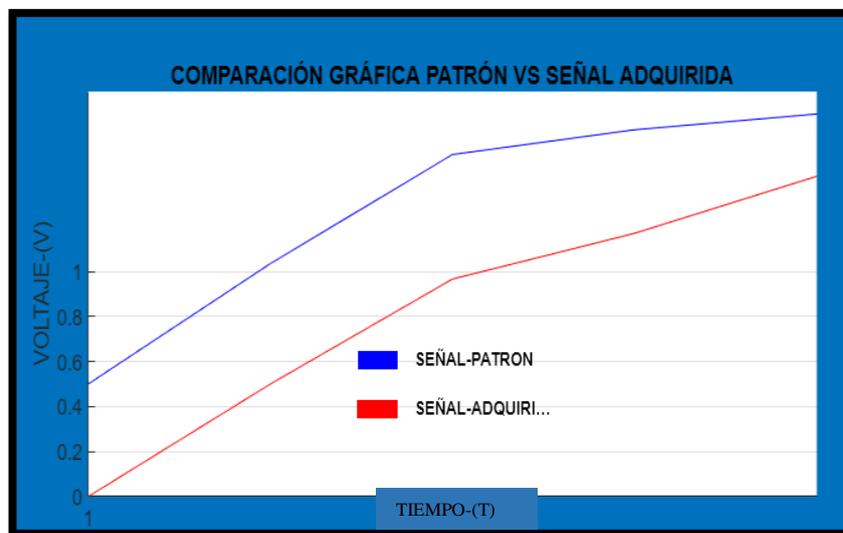


Figura 30. Datos analizados por Matlab
Fuente. Autor

La metodología de análisis utilizada para evaluar el desempeño y precisión del sensor MAF (Medidor de Flujo de Aire) es la comparación de datos al emplear tablas y gráficas, se facilita el análisis y la interpretación de los mismos, lo que permite obtener una visión clara y concisa de los resultados obtenidos. La Tabla 26, muestra los datos de la gráfica de la señal patrón del sensor MAF y los datos capturados por el módulo de adquisición de datos un sensor en perfecto estado.

Tabla 26. Curva característica vs dato capturado del módulo sensor MAF

DATOS DE LA SEÑAL PATRÓN DEL SENSOR MAF				
TIEMPO	TEMPERATURA °C	REVOLUCINES	FLUJO (Hz)	VOLTAJE
1	89	1000	0.22	1.5
2	89	1100	5.25	1.8
3	89	1200	11.6	2.0
4	89	1300	17.62	2.3
5	89	1400	23.0	2.5
6	89	1500	26.5	2.8
7	89	1600	31.4	3.0
8	89	1700	34.2	3.2
9	89	1800	36.5	3.4
10	89	1900	38.0	3.5
DATOS CAPTURADOS POR EL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SENSOR MAF				
TIEMPO	TEMPERATURA °C	REVOLUCINES	FLUJO(Hz)	VOLTAJE
1	89	1000	5.1	0.0
2	89	1100	7.2	0.5
3	89	1200	12.4	1.0
4	89	1300	17.1	1.5
5	89	1400	27.5	2.5
6	89	1500	31.3	3.0
7	89	1600	35.3	3.5
8	89	1700	38.2	4.0
9	89	1800	40.0	4.5
10	89	1900	41.0	4.8

Fuente: Autor

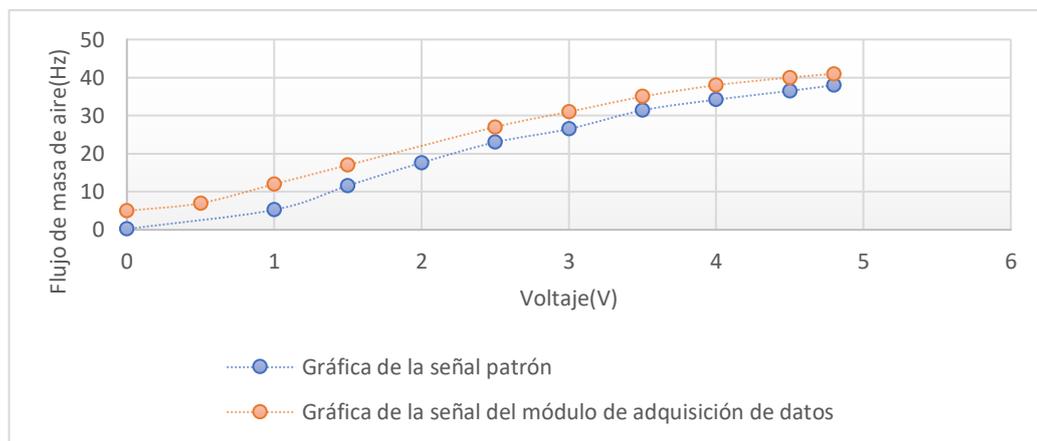


Figura 31. Gráfica de comparación de datos entre gráfica patrón y gráfica obtenida por el módulo de adquisición de datos de los sensores MAF

Fuente. Autor

Al realizar el análisis de datos tenemos los siguientes resultados:

- Al observar las gráficas de las señales capturadas por el módulo de

adquisición de datos y los datos de la señal patrón, se puede notar una similitud exponencial entre ellas. La forma de onda presentada al capturar los datos se asemeja a la gráfica de la señal patrón preestablecida en el módulo de adquisición de datos.

- Al analizar los datos, se identificaron pequeñas variaciones en los datos 1, 2, 10 se observa una pequeña diferencia de su valor normal, se refleja una diferencia en los valores de voltaje. Y el análisis de las gráficas hecho por Matlab da como resultado un 99 % de coincidencia
- En la gráfica capturada por el módulo, se observa que la señal es idéntica a la señal patrón.

Al realizar un análisis de las gráficas de manera independiente, se obtuvieron los siguientes resultados:

Gráfica patrón de la señal sensor MAF

Tabla 27. Gráfica de la señal del sensor MAF

TIEMPO	FLUJO(Hz)	VOLTAJE(V)
1	0.22	1.5
2	5.25	1.8
3	11.6	2.0
4	17.62	2.3
5	23.0	2.5
6	26.5	2.8
7	31.4	3.0
8	34.2	3.2
9	36.5	3.4
10	38.0	3.5

Fuente. Autor

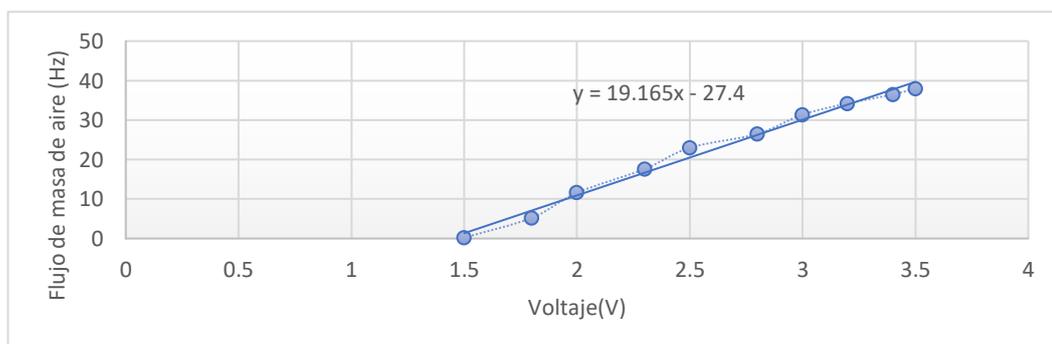


Figura 32. Grafica de Señal Sensor MAF

Fuente. Autor

Gráfica capturada por el módulo de adquisición de datos

Tabla 28. Datos capturados de la señal del módulo de adquisición de datos

TIEMPO	FLUJO(HZT)	VOLTAJE(V)
1	5.1	0.0
2	7.2	0.5
3	12.4	1.0
4	17.1	1.5
5	27.5	2.5
6	31.3	3.0
7	35.3	3.5
8	38.2	4.0
9	40.0	4.5
10	41.0	4.8

Fuente. Autor

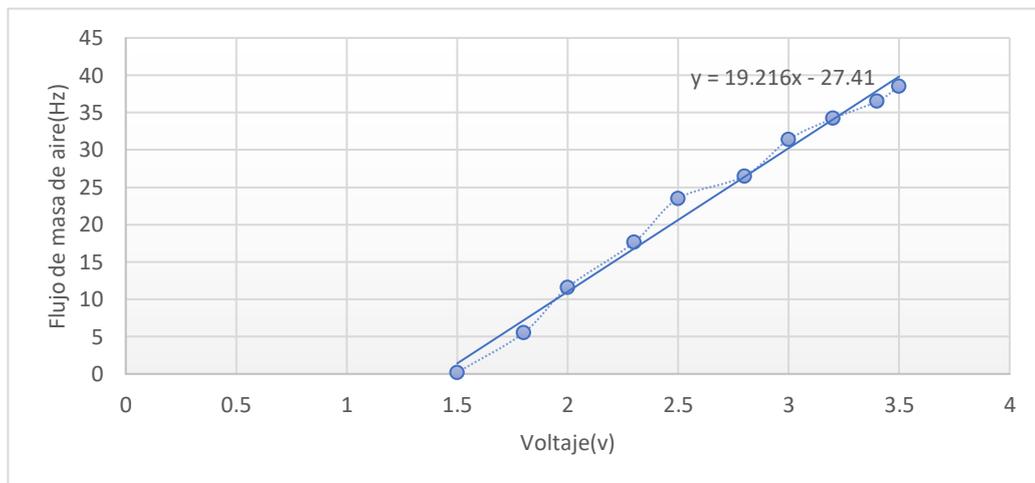


Figura 33. Gráfica señal sensor MAF

Fuente. Autor

Al analizar la gráfica generada por el módulo de adquisición de datos, se puede observar que el sensor presenta un buen estado de funcionamiento. Estos resultados claramente indican que el sensor está en buen estado de funcionamiento, lo cual ratifica y se comprueba que el módulo de adquisición de datos es un instrumento muy preciso y confiable al momento de realizar la captura de los datos de los sensores.

Gráfica obtenida por Matlab

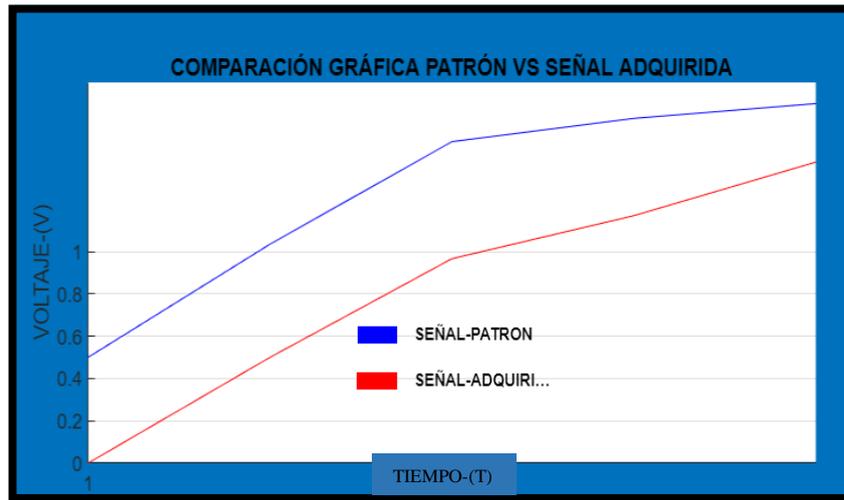


Figura 34. Análisis de datos en Matlab del sensor MAF
Fuente. Autor

En el software de Matlab se puede observar que las gráficas son distintas y no tienen relación entre ellas también se puede observar un error promedio de 0% en cada toma realizada en las diferentes revoluciones del motor a temperatura de funcionamiento. Después de realizar el análisis gráfico y ahora revisar los datos, se puede observar que los datos son muy parecidos a los valores de la gráfica de la señal patrón establecida. Estas similitudes, sumadas al análisis general de la gráfica, indican que el sensor se encuentra en un estado óptimo.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se diseñó y construyó un módulo de adquisición de datos que permitió la revisión de las señales analógicas y digitales automotrices provenientes de los sensores MAF, FRP y BPS, para su aplicación en el sistema CRDi de la camioneta VW Amarok.

Con los datos adquiridos mediante el módulo de adquisición de datos en el sensor FRP se determinó un error absoluto de la presión es (791 bar \pm 54.9 bar), y un error absoluto del voltaje es (22.3 V \pm 2.01 V), así como un error porcentual de presión (791 bar \pm 6.94%) y un error porcentual de voltaje de (791 bar \pm 3.66%), Determinando que la causa de la falla en el vehículo es debido a que la válvula de regulación de presión de la bomba se encuentra en mal estado para lo cual la solución del problema es la sustitución de la válvula SCV.

Con respecto al sensor BPS, el error absoluto de la presión es (191 kPa \pm 7.82 kPa), y el error absoluto del voltaje es (27.4 V \pm 2.47 V), mientras que el error porcentual de la presión es (191 kPa \pm 4.09%), y un error porcentual de voltaje de (27.4 V \pm 31.53%), para solucionar la alta presión en múltiple de admisión se necesita la sustitución de la Westgate del turbo cargador.

Se llevaron a cabo pruebas tanto a ralentí como a carga completa, con el propósito de obtener información precisa y determinar posibles fallas en los sensores, se implementó un guía de funcionamiento del módulo para obtener las señales de MAF, FRP y BPS. que proporciona instrucciones detalladas sobre el funcionamiento del módulo de adquisición de datos y sobre el uso de la interface de Matlab para su correcto uso.

Recomendaciones

Es crucial realizar una revisión de fuentes bibliográficas relevantes a fin de llevar a cabo una comprensión más amplia de los sensores para mejorar las variables planteadas, es fundamental examinar cuidadosamente las investigaciones pertinentes en el campo de acción y comprender a fondo el funcionamiento de los sistemas CRDi. Para asegurar una base sólida de conocimientos y datos confiables, se recomienda recopilar información técnica mediante la consulta de manuales de taller, revisión de tesis relacionadas y la utilización de instrumentos de diagnóstico para la recopilación de datos.

El diseño del módulo de adquisición de datos ayudará a la revisión de las señales automotrices provenientes de los sensores MAF, FRP y BPS, es necesario revisar sus conexiones y asegurarlas para evitar fallos en la adquisición de datos con esto tendremos una buena conexión de manera efectiva con el módulo de adquisición de datos. En consecuencia, se espera que este enfoque mejore significativamente la eficiencia y la efectividad en la detección de problemas en el sistema CRDi de la camioneta VW Amarok.

Bibliografía

- [1] J. J. Bertin, “Aerodynamics for Engineers”. Peron Prentice Hall, 2009. doi: ISBN-10: 0-13-235521-3.
- [2] M. Noroña y M. Gómez, “Desarrollo e innovación de los sistemas mecatrónicos en un automóvil: una revisión”, *Enfoque UTE*, vol. 10, núm. 1, pp. 117–127, mar. 2019, doi: 10.29019/enfoqueute.v10n1.350.
- [3] P. Goel, “Energy, environment, and sustainable development”, 2016, [En línea]. Disponible en: https://bookstore.teri.res.in/docs/books/TEDDY_2015_16_Updated_Sample_Chapter.pdf
- [4] L. Ariza-jim, “Unsupervised fuzzy binning of metagenomic sequence fragments on three-dimensional Barnes-Hut t -Stochastic Neighbor Embeddings”, pp. 1315–1318, 2018.
- [5] T. H. Nasution, “Predict the Percentage Error of LM35 Temperature Sensor Readings using Simple Linear Regression Analysis”, pp. 242–245, 2020.
- [6] J. A. Moreno y F. Alhama, “Campo de temperaturas en cojinetes deslizantes”, vol. 9, pp. 49–55, 2005.
- [7] A. P. B. DAVID y V. R. G. DANIEL, ““MÓDULO DIDÁCTICO DE LA BOMBA DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN COMMON-RAIL DE LA CAMIONETA VOLKSWAGEN AMAROK 4x2””, 2013, [En línea]. Disponible en: http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3406/1/05_FECYT_1706_TESIS.pdf
- [8] D. Alexander y G. Quintana, “Tema : Estudio de la Evolución de los CRDI (Common Rail Direct Injection) en Función del Combustible en Sudamérica”, pp. 1–68, 2016, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1766/1/T-UIDE-1313.pdf>
- [9] David Sainz Casas, “Adaptacion de un motor de combustion interna alternativo de gasolina para su funcionamiento con hidrogeno como combustible”, 2014, [En línea]. Disponible en: https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/20048/1.Sáinz_Casas%2C_David-ma_SA_.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [10] J. Martín Díaz, “Aportación al diagnóstico de la combustión en motores

- Diesel de inyección directa”, 2007, [En línea]. Disponible en:
<https://riunet.upv.es/handle/10251/135955>
- [11] J. A. B. Villanueva, “Metodología para el estudio de las causas de rotura de cigüeñales en motores de combustión interna alternativos y compresores alternativos. Aplicación en un modelo de mantenimiento predictivo”, p. 41092, 2007.
- [12] D. A. Herrera Susa, J. R. Bermúdez Santaella, y C. E. Castilla Álvarez, “Análisis del desempeño de la potencia y el torque de un motor diésel operando con mezclas de biodiésel de palma”, *Ingeniería*, vol. 25, núm. 3, pp. 250–263, 2020, doi: 10.14483/23448393.15676.
- [13] E. A. Llanes-Cedeño, Y. Guardia-Puebla, A. de la Rosa-Andino, S. Cevallos-Carvajal, y J. C. Rocha-Hoyos, “Detection of Faults in Combustion Engines Through Indicators of Temperature and Injection Pressure”, *Ingenius*, vol. 2019, núm. 22, pp. 38–46, 2019, doi: 10.17163/ings.n22.2019.04.
- [14] Y. R. G. Pérez, “Aplicación informática para la adquisición de datos en vehículos mediante el dispositivo OBD2 .”, 2022, [En línea]. Disponible en:
https://repositorio.uci.cu/bitstream/123456789/10419/1/TD_09809_2022.pdf
- [15] E. A. J. Chafuel, “Diseño y construcción de un sistema de simulación de circuitos para pruebas en banco de sensores y actuadores del sistema de gestión electrónica del motor de combustión interna.”, 2022, [En línea]. Disponible en:
[http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12378/2/04 MAUT 181 TRABAJO DE GRADO.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12378/2/04%20MAUT%20181%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf)
- [16] E. Espinoza y O. Eduardo, “ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL”, 2019, [En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/20718/1/T-ESPEL-MAI-0660.pdf>
- [17] P. Fernando y T. Ortiz, “SEDE CUENCA Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz Autores ”:, 2014, [En línea]. Disponible en:

- <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7213/1/UPS-CT004061.pdf>
- [18] Autoytecnica, “Common rail o conducto común”. [En línea]. Disponible en: <https://autoytecnica.com/como-funciona-un-sistema-common-rail/>
- [19] Edc, “Sistemas Bosch Directa, Inyeccion Electronica, D E Gestion Ve, Bomba Bosch Vp, Bomba Bosch Transmisor, Sensores”, [En línea]. Disponible en: <https://mgallegosantos.files.wordpress.com/2009/01/bosch-ve.pdf>
- [20] Denso, “Diesel Common Rail System”, vol. 300260, [En línea]. Disponible en: https://www.denso-technic.com/images/document/diesel-system/en/m28711-diesel-installation-guide-297x210-combined_aw.pdf
- [21] E. L. Método, D. En, L. A. Investigación, A. En, y E. Una, “EL MÉTODO DELPHI EN LA INVESTIGACIÓN ACTUAL EN EDUCACIÓN: UNA REVISIÓN TEÓRICA Y METODOLÓGICA”, 2018, doi: 10.5944/educXX1.15536.
- [22] C. Rail, “Siemens sid 802 1”, pp. 1–84, [En línea]. Disponible en: <https://tomasautoiessanblas.files.wordpress.com/2015/03/common-rail-siemens-sid-802-alumno-r.pdf>
- [23] S. De y E. De Control, “5.3 Sistema de la Electrónica de Control.”, pp. 98–122, [En línea]. Disponible en: https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6677/08CAPITULO5_1.pdf?sequence=8
- [24] Mundo Motor, “ECM: Módulo De Control Electrónico, Función Y Síntomas Defectuoso”. 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.mundodelmotor.net/ecm-modulo-de-control-electronico/>
- [25] C. Pérez-Molina, “Inyeccion electronica en motores ciclo diesel”, [En línea]. Disponible en: <https://cie.gov.ar/web/images/INYECCION-ELECTRONICA-DIESEL.pdf>
- [26] S. D. E. P. Del, “SENSOR CKP”, [En línea]. Disponible en: <https://santiagosolucion.com/wp-content/uploads/2021/07/MANUAL-SENSOR-CKP.pdf>
- [27] Á. D. E. Levas, “Sensor CMP”, [En línea]. Disponible en: <https://santiagosolucion.com/wp-content/uploads/2021/07/MANUAL->

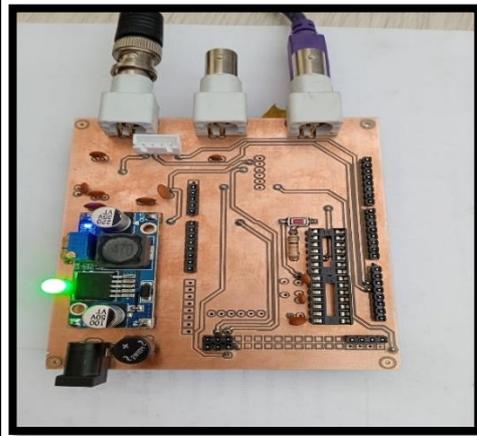
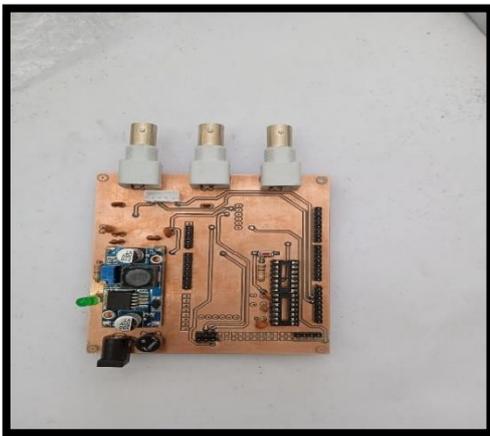
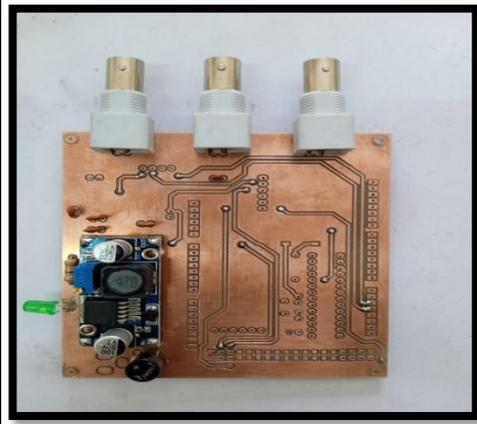
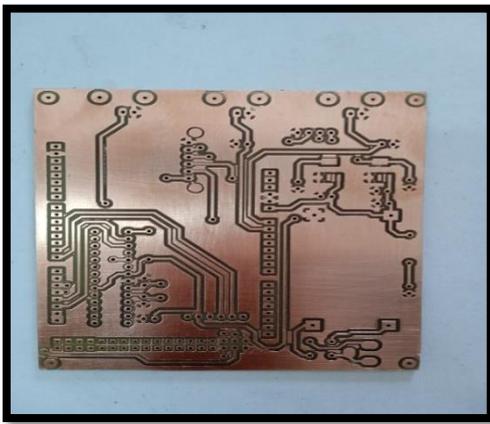
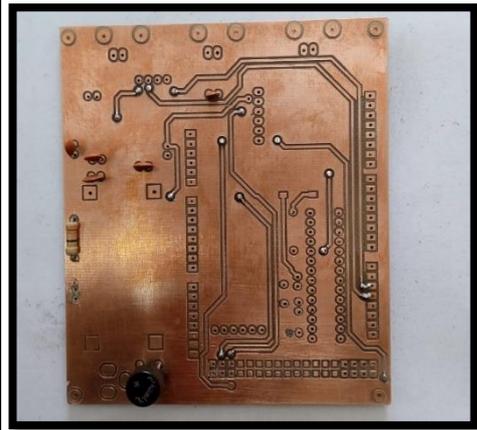
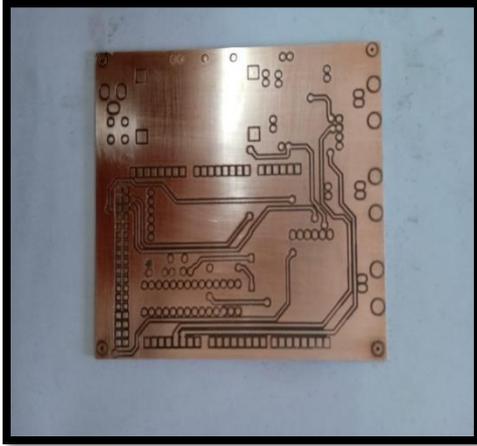
SENSOR-CMP-1.pdf

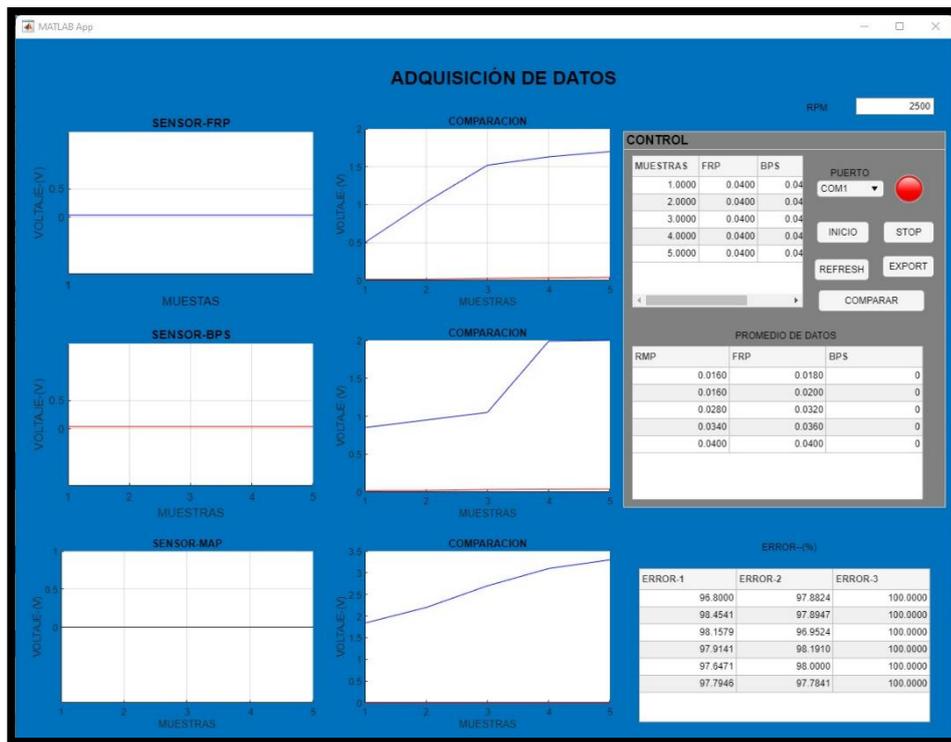
- [28] GLOBALTECH, “Cuerpo de aceleración electrónica”, [En línea].
Disponible en:
https://www.globaltechla.com/eBusiness/fichas_tecnicas/TEORIA-ACELERADOR-ELECTRÓNICO.pdf
- [29] S. D. E. L. A. Temperatura, “Sensor ECT”, [En línea]. Disponible en:
<https://santiagosolucion.com/wp-content/uploads/2021/07/MANUAL-SENSOR-ECT.pdf>
- [30] Gh, “Fundamentos del control de la mezcla”, [En línea]. Disponible en:
https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5933/2Fundamentos_control_mezcla.pdf?sequence=3
- [31] M. A. Flow, “Sensor MAF”, [En línea]. Disponible en:
<http://ingenierovizcaino.com/ecci/eei/sensores/xxx sensores automotriz/MAF.pdf>
- [32] S. S, “Sensor FRP”, [En línea]. Disponible en:
<https://santiagosolucion.com/wp-content/uploads/2021/07/MANUAL-SENSOR-FRP.pdf>
- [33] A. Neumáticos, “Actuadores”, [En línea]. Disponible en:
<https://cursos.aiu.edu/sistemas hidraulicas y neumaticos/pdf/tema 4.pdf>
- [34] L. Laboratori y S. Oleohidr, “Modelización teorica de los componentes básicos”, [En línea]. Disponible en:
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6733/10Jrr10Dde27.pdf?sequence=13>
- [35] Pierburg, “Obd system 11 12”, p. 4, [En línea]. Disponible en:
https://cdn2.motorservice.com/fileadmin/media/MAM/PDF_Assets/Sistema-de-recirculación-de-los-gases-de-escape-Encontrar-las-averías-OBd-y-suprimirlas_52597.pdf
- [36] ingeniería mecánica y Automotriz, “ingeniería mecánica y automotriz”. 2020. [En línea]. Disponible en:
<https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-la-valvula-egr-y-como-funciona/>

- [37] P. G. Rodrigo, U. M. Carlos, T. T. Carmen, y S. De Octubre, “Activación y control de inyectores diésel crdi de las marcas denso y delphi”, vol. 21, 2019.
- [38] N. P. J. STALIN y V. C. D. ALEJANDRO, “INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES MARCA DENSO, ‘05S00047’ Y ‘06S00387’ DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL DIESEL INJECTION)”, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13435/2/ESPEL-MAI-0608-P.pdf>
- [39] F. Miyara, “CONVERSORES D / A Y A / D”, 2004, [En línea]. Disponible en: <https://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/da-ad.pdf>
- [40] E. Digital, “Electrónica Digital”. 2015. [En línea]. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/10291092/>
- [41] M. E. Cardona-Zapata, D. Pabón-Rúa, y S. Y. López-Ríos, “Concepciones sobre los sistemas de adquisición de datos en el trabajo de laboratorio en Física”, *Rev. Científica*, vol. 40, núm. 1, pp. 74–88, 2021, doi: 10.14483/23448350.16295.
- [42] M. R. Guti, “Manual de Programación Arduino Arduino : Manual de Programación”, [En línea]. Disponible en: <https://arduinoobot.pbworks.com/f/Manual+Programacion+Arduino.pdf>
- [43] S. I. U. C. M, “MANUAL BÁSICO DE MATLAB”, [En línea]. Disponible en: <https://webs.ucm.es/centros/cont/descargas/documento11541.pdf>
- [44] Coéxito, “Equipos de diagnóstico”, [En línea]. Disponible en: <https://www.coexito.com.co/wp-content/uploads/2016/08/Equipos-de-Diagnosticos.pdf>
- [45] M. B. Automotive, “Multímetro Automotriz Básico”, [En línea]. Disponible en: <https://medios.urrea.com/catalogo/manuales/UD226.pdf>
- [46] J. D. Fonseca, “UTILIZACIÓN DEL OSCILOSCOPIO EN EL AUTOMOVIL”, pp. 1–15, 2009, [En línea]. Disponible en: https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_20/JESUS_DIAZ_FONSECA02.pdf

- [47] Arduino, "Index www.Arduino.Cc". 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.arduino.cc/>
- [48] Bosch, "Bosch". 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.bosch-motorsport-shop.com.au/t-map-sensor-3-bar-130-deg-c>
- [49] A. Contreras y J. Manuel, "Eco-localización por medio del uso de submuestreo y señales multi-tono en frecuencias ultrasónicas". 2017. doi: 10.13140/RG.2.2.14035.68649.
- [50] Tecnología Electrónica, "señales analógicas y digitales". 2020. [En línea]. Disponible en: <https://tecnologiaelectron.blogspot.com/2014/03/senales-analogicas-y-digitales.html>
- [51] Premierautotrade, "fuel rail sensors-FRS". 2019. [En línea]. Disponible en: <https://premierautotrade.com.au/news/fuel-rail-sensors-FRS.php>
- [52] Bosch, "T-MAP Sensor, 3 bar & 130 deg C". 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.bosch-motorsport-shop.com.au/t-map-sensor-3-bar-130-deg-c>
- [53] L. Carley, "Mass Airflow Sensors", [En línea]. Disponible en: https://www.aalcar.com/library/maf_sensors.htm

ANEXOS



MATLAB**GUIA DE USUARIO DEL MODULO DE ADQUISICION DE DATOS****1. Requisitos**

- Módulo Arduino Mega.
- Sensores MAF, FRP y BPS del sistema Common Rail.
- Computadora con MATLAB instalado.
- Cable USB/LAN para la conexión Arduino-MATLAB.
- Software Arduino IDE instalado en la computadora.
- Aplicación de MATLAB instalada.

2. Conexión del Hardware

- Conecta los sensores MAF, FRP y BPS al Arduino Mega según las especificaciones de cada sensor utilizando cables de señal.
- Utiliza los pines analógicos 1 y 2 para las señales analógicas de los sensores.
- Utiliza el pin digital 3 para la señal digital.
- Asegúrate de tener una conexión eléctrica adecuada para cada sensor y verifica los cables de señal utilizando un tester.

3. Configuración en MATLAB

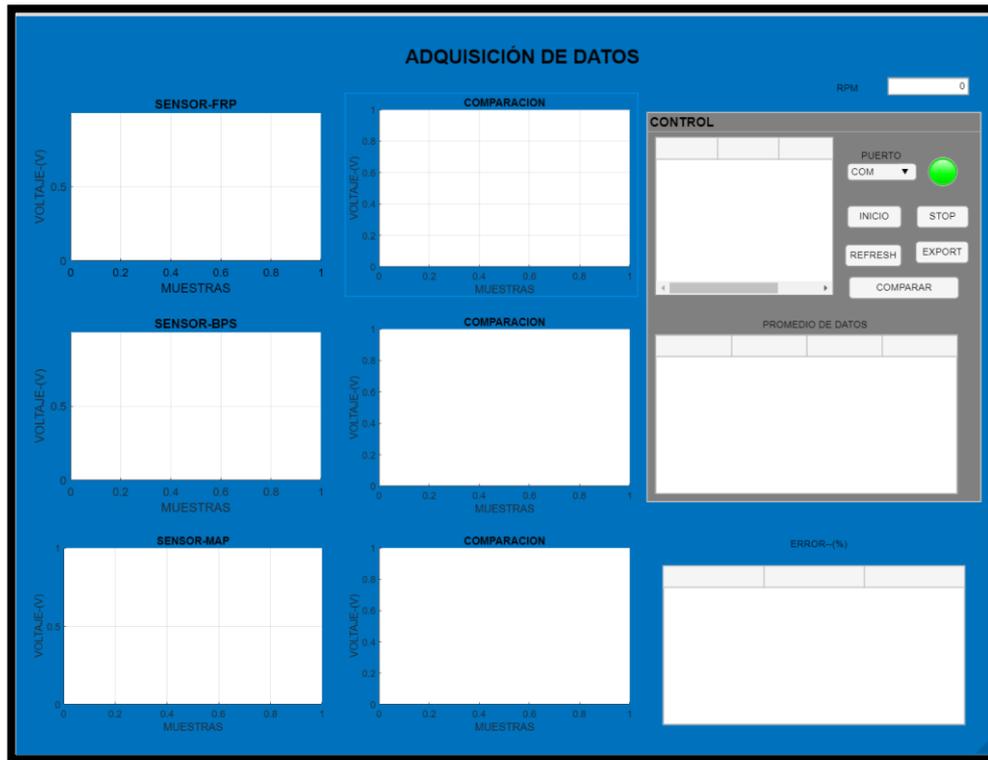
- Abre MATLAB en la computadora.

- Conecta el Arduino Mega a la computadora utilizando el cable USB/LAN.
- Verifica que MATLAB reconozca correctamente el Arduino. Puedes utilizar el siguiente comando en la ventana de comandos de MATLAB:
- Matlab, Copy code, `arduinoObj = arduino('COMX', 'Mega')` % Reemplaza "COMX" con el puerto COM adecuado
- Escribe el código utilizando App Designer para acceder a la aplicación del módulo de captura de datos. Esto mostrará la interfaz para la captura de datos.

4. Captura y Obtención de gráficas de Señales en MATLAB

- Ejecuta la aplicación en App Designer en MATLAB y se abrirá una ventana con gráficos que mostrará las señales capturadas de los sensores MAF, FRP y BPS a lo largo del tiempo durante el período de captura especificado.
- En la interfaz del software, presiona el botón "Inicio" cada vez que desees cambiar el tiempo de muestreo. Realiza este procedimiento al menos 5 veces para obtener una muestra significativa de datos.
- Luego, presiona el botón "Comparar" para finalizar la toma de datos y obtener un resultado gráfico y el nivel de error de cada sensor.
- Exporta los resultados de MATLAB a Excel presionando el botón "Exportar". Esto permitirá analizar los datos de una manera más detallada.

5. Uso de interface de Matlab



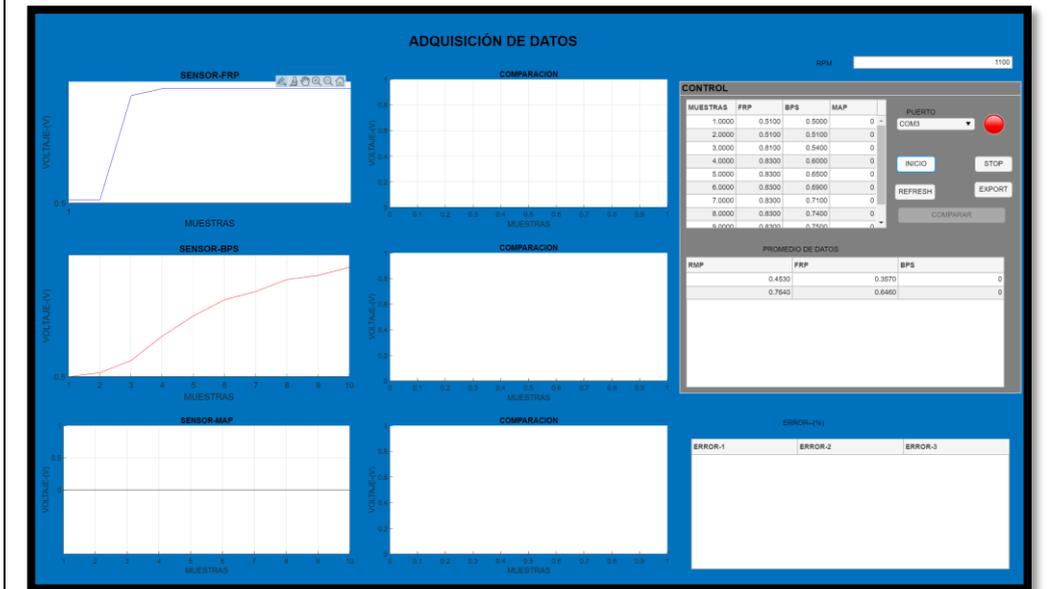
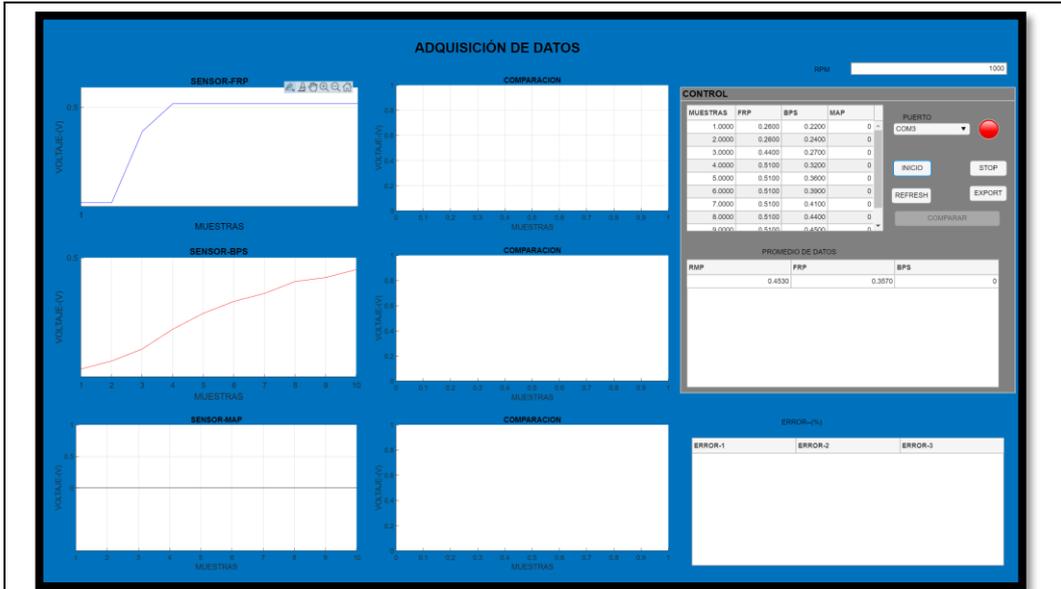
- La interface tiene una tabla donde se gráfica las señales eléctricas del módulo de adquisición de datos

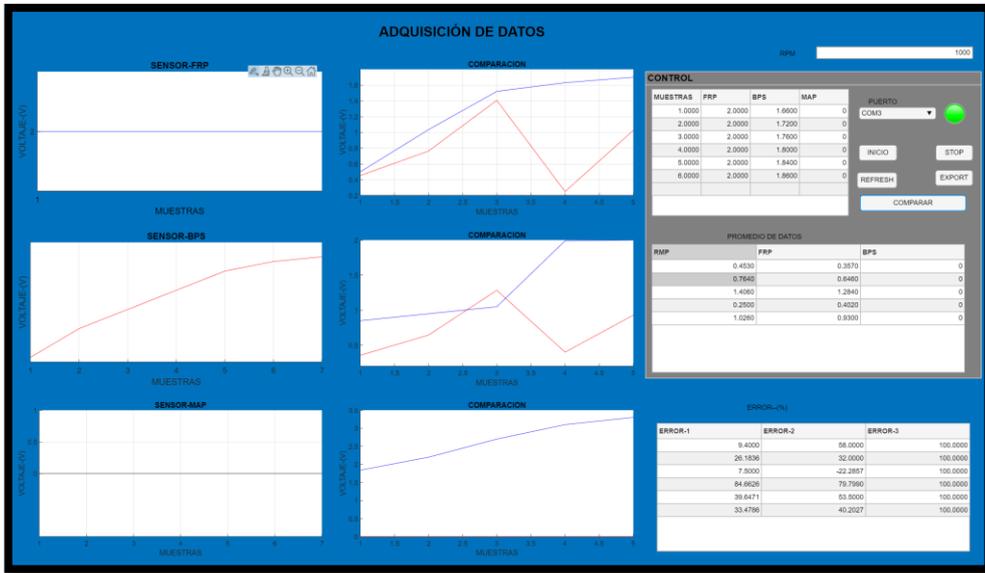
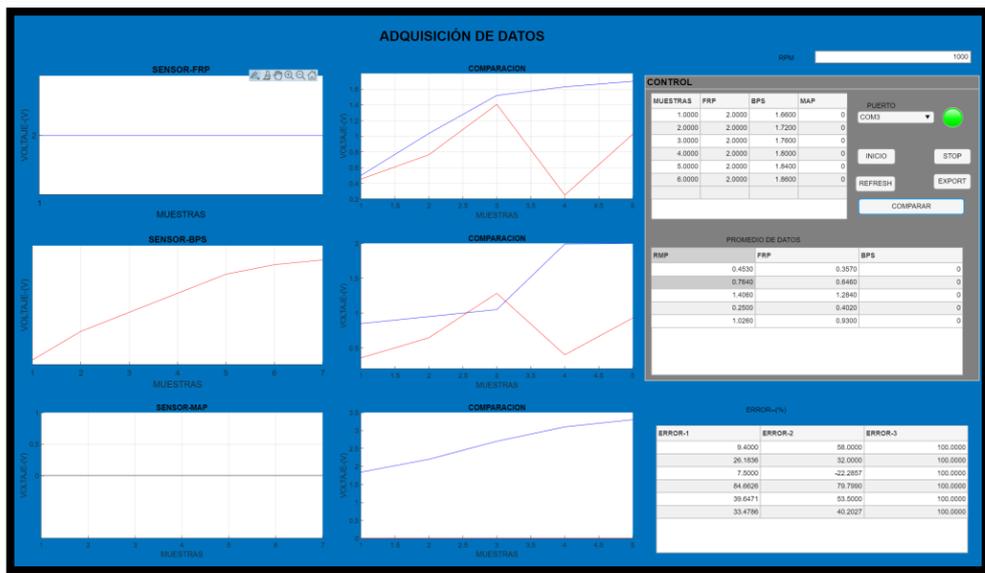
Botones del software

- **Puerto.** Es la ubicación del puerto donde se conecta el módulo de adquisición de datos
- **Inicio.** Este botón permite iniciar la captura de datos del sensor que se está testeando.
- **Stop.** Este botón detiene la captura de datos.
- **Refresh.** Este botón permite refrescar el software para una nueva captura de datos.
- **Export.** Permite exportar los datos a Excel.
- **Comparar.** Permite comprar los datos para saber su error entre la gráfica patrón y la gráfica adquirida por el módulo de adquisición de datos.
- **Rpm.** Nos indica las rpm con las que se va a realizar las pruebas en los sensores.

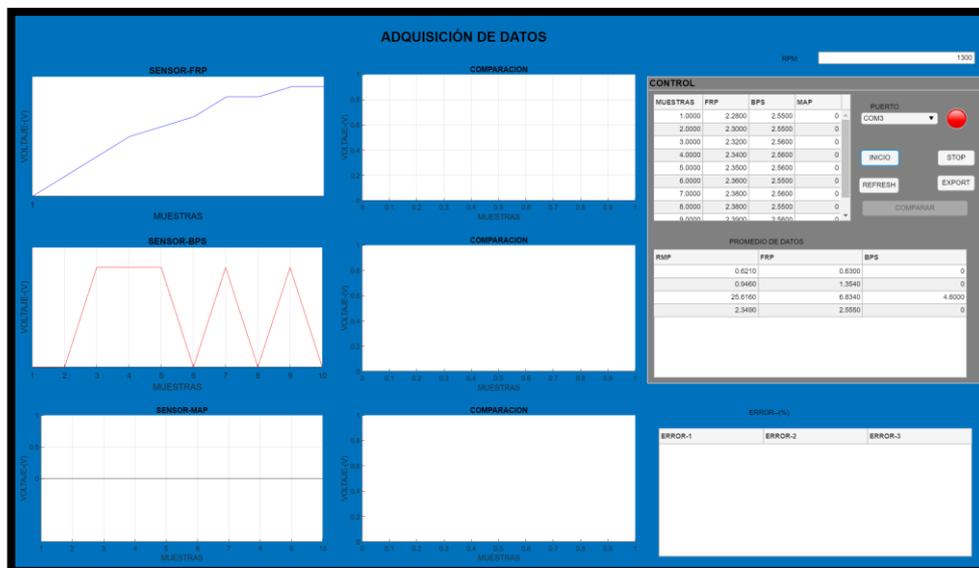
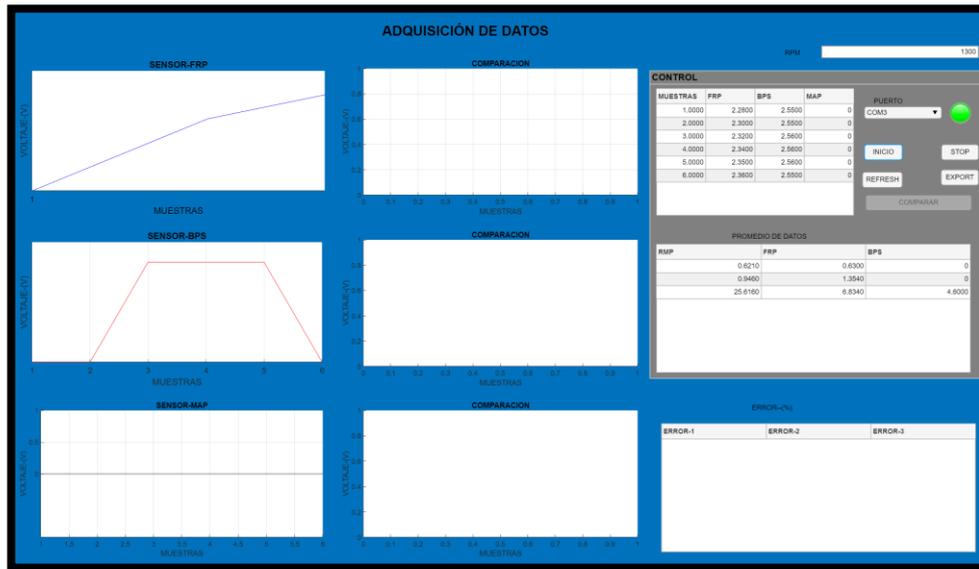
INTERFACE MATLAB

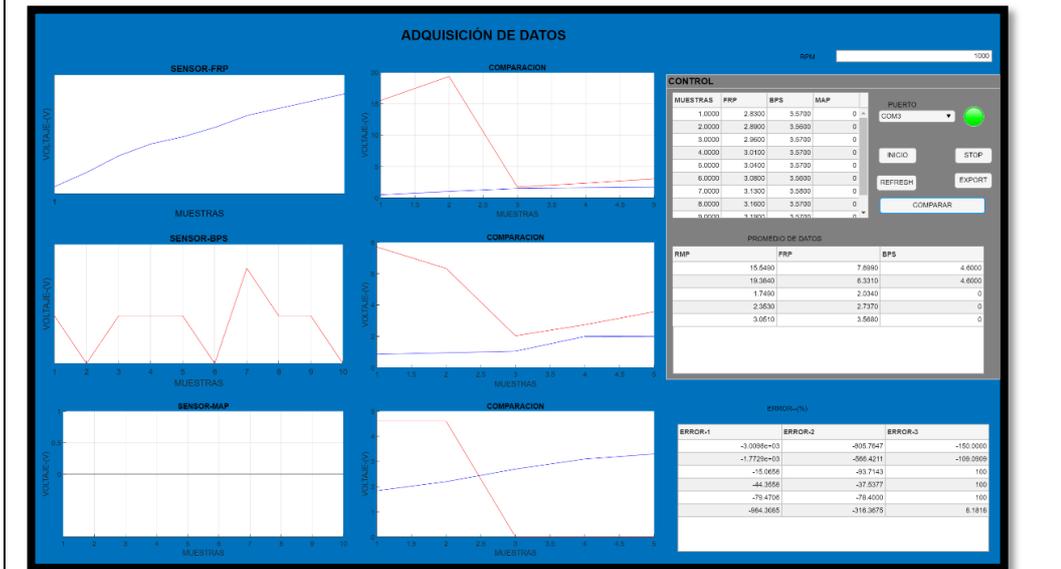
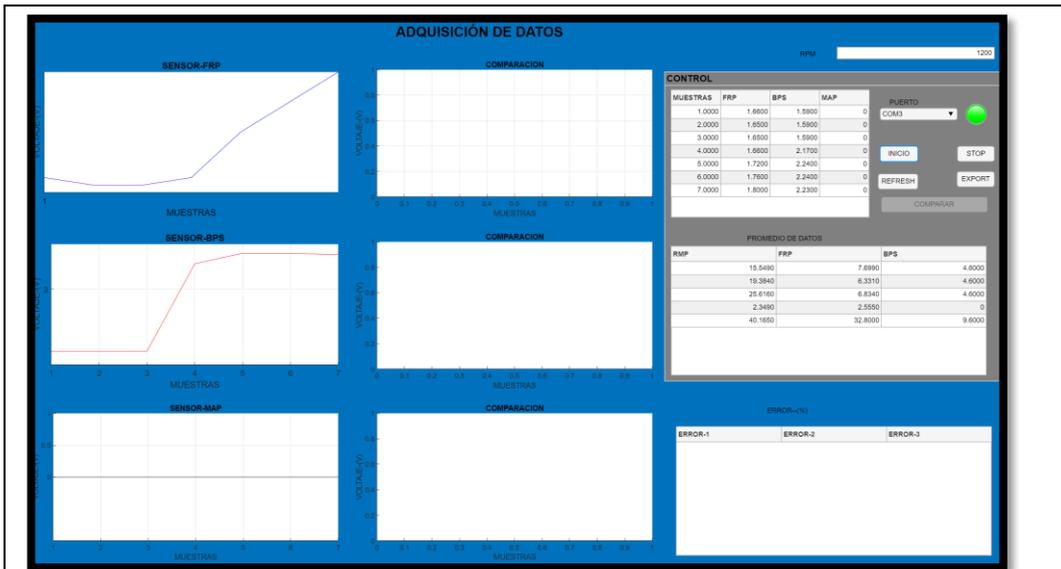
Sensor FRP



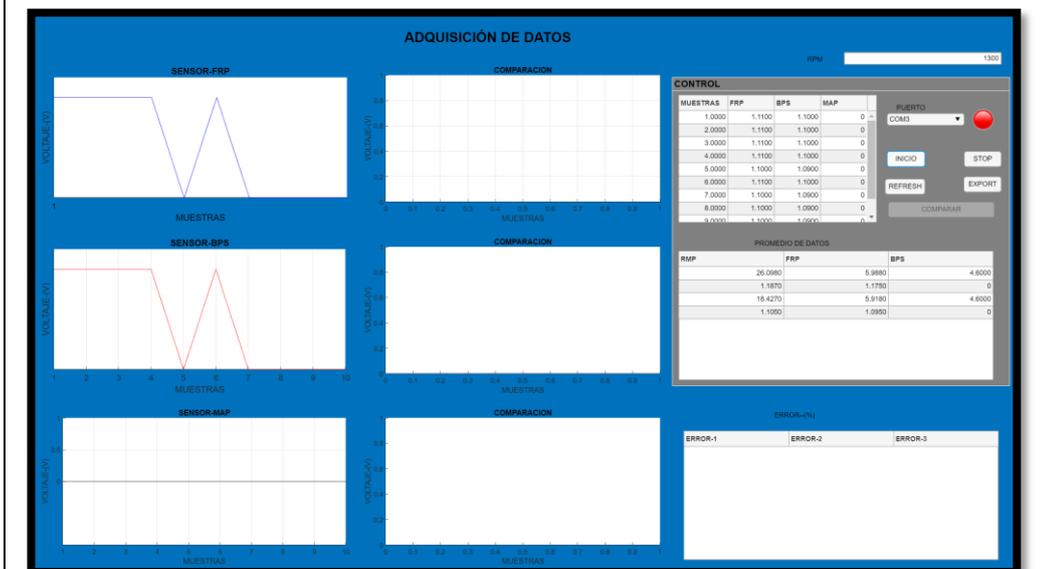
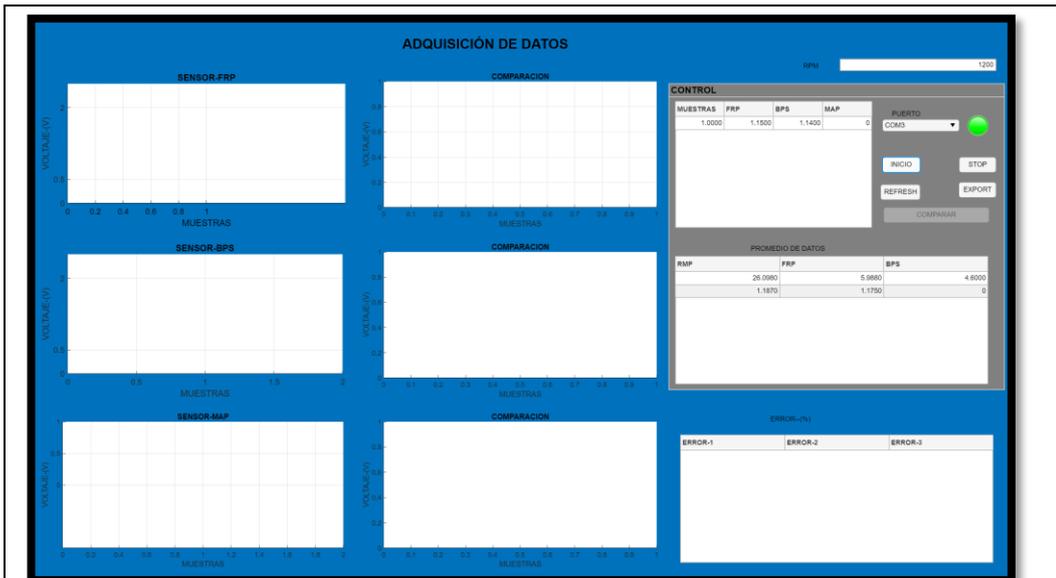


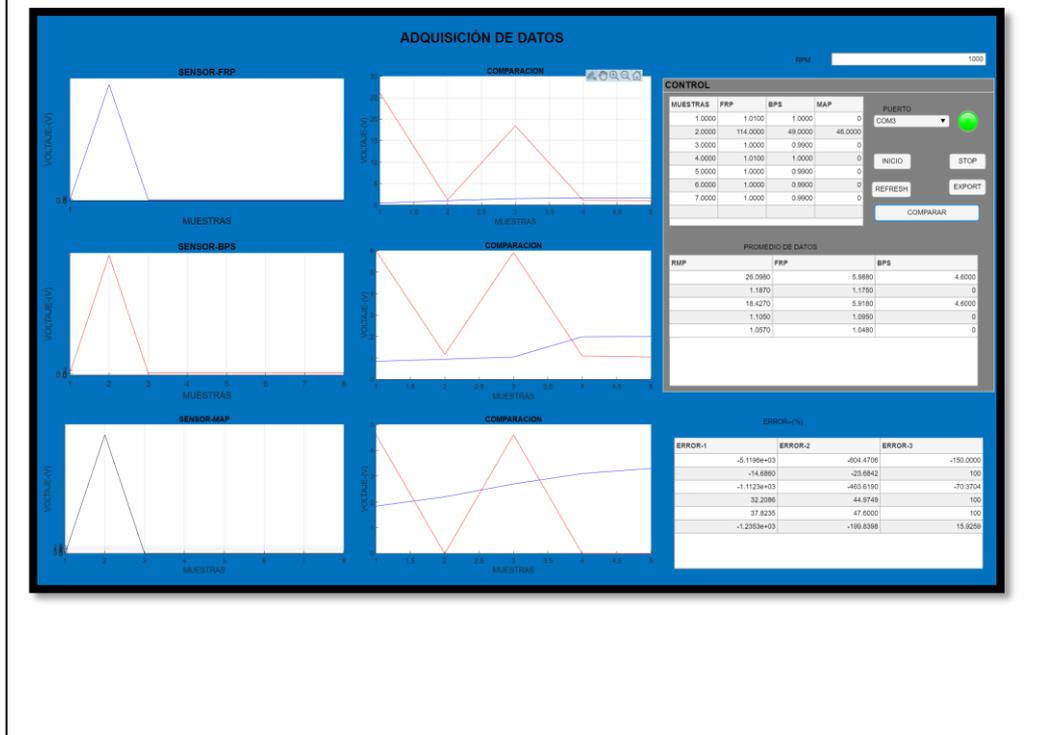
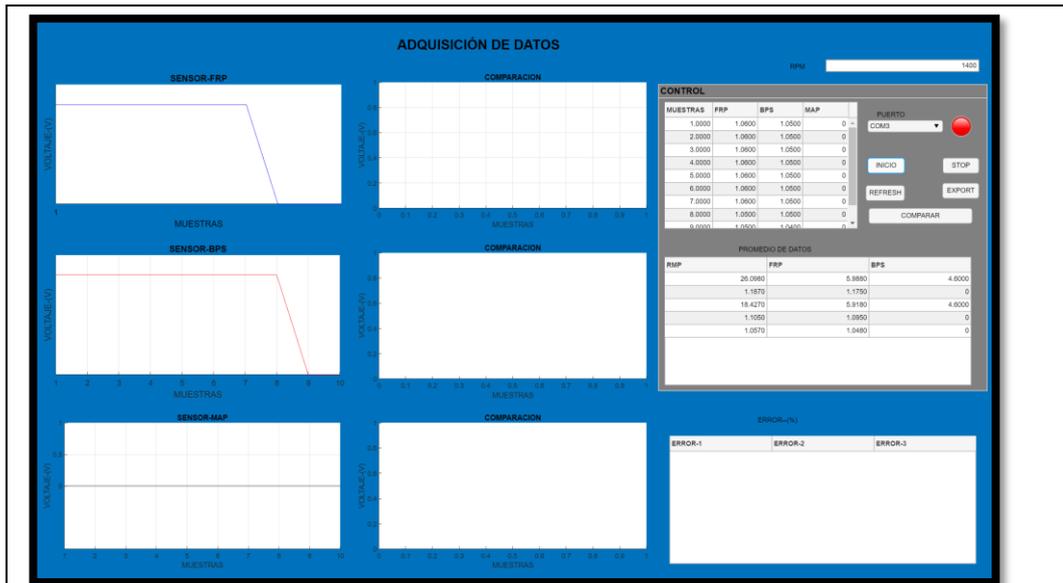
Sensor BPS

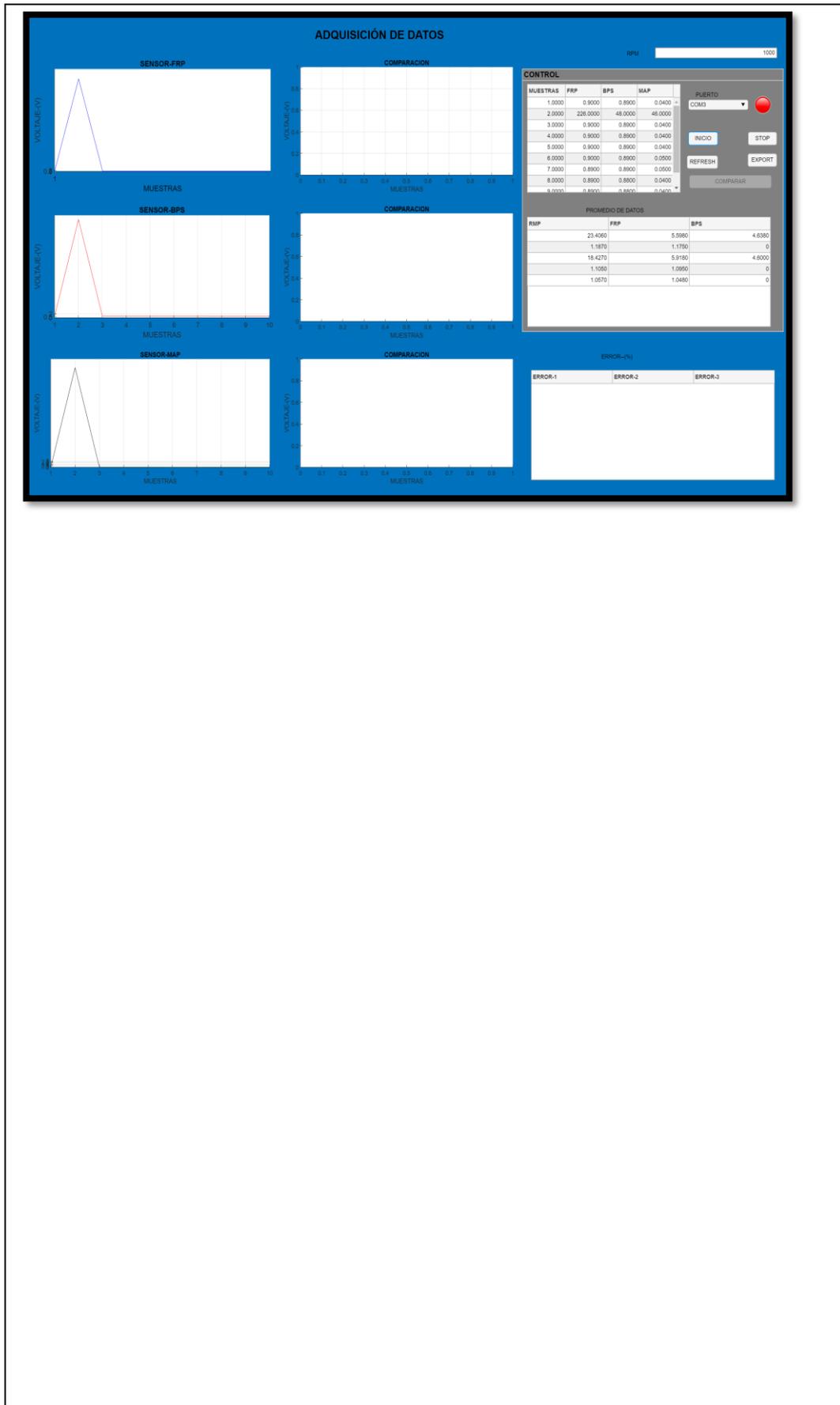




Sensor MAF







CÁLCULO DE ERROR DE DATOS CAPTURADOS POR EL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SENSOR FRP							
PRESIÓN (BAR)	VOLT AJE(V)	ERROR ABSOLUTO PRESIÓN (BAR)	ERROR ABSOLUTO VOLT AJE (V)	ERROR RELATIVO PRESIÓN	ERROR RELATIVO VOLTAJE	ERROR PORCENTUAL PRESIÓN %	ERROR PORCENTUAL VOLTAJE%
100	0.3	69.1	2.2	0.07	0.04	6.94	3.66
180	0.7	61.1	2.16				
280	1	51.1	2.13				
460	1.5	33.1	2.08				
190	0.8	60.1	2.15				
900	2.8	10.9	1.95				
1100	3	30.9	1.93				
1300	3.5	50.9	1.88				
1600	4.2	80.9	1.81				
1800	4.5	100.9	1.78				
VALOR PROMEDIO PRESIÓN	791						
VALOR PROMEDIO VOLTAJE		22.3					
ERROR ABSOLUTO PRESIÓN			54.9				
ERROR ABSOLUTO DE VOLTAJE				2.007			

RESULTADOS	
VALOR PROMEDIO - ERROR ABSOLUTO PRESIÓN	791 bar +- 54.9 bar
VALOR PROMEDIO - ERROR ABSOLUTO VOLTAJE	22.3 V +- 2.01 V
VALOR PROMEDIO - ERROR PORCENTUAL PRESIÓN	791 bar +- 6.94%
VALOR PROMEDIO - ERROR PORCENTUAL VOLTAJE	22.3 V +- 3.66%

TABLA DEL SENSOR BPS

CÁLCULO DE ERROR DE DATOS CAPTURADOS POR EL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SENSOR BPS

PRESIÓN (KPa)	VOLTAJE (V)	ERROR ABSOLUTO PRESIÓN (KPa)	ERROR ABSOLUTO VOLTAJE (V)	ERROR RELATIVO PRESIÓN	ERROR RELATIVO VOLTAJE	ERROR PORCENTUAL PRESIÓN %	ERROR PORCENTUAL VOLTAJE %
100	1.3	9.1	2.61	0.04	0.32	4.09	31.53
100	1.6	9.1	2.58				
125	2	6.6	2.54				
150	2.4	4.1	2.5				
175	2.8	1.6	2.46				
105	1.7	8.6	2.57				
225	3.6	3.4	2.38				
250	3.2	5.9	2.42				
320	3.9	12.9	2.35				
360	4.9	16.9	2.25				
VALOR PROMEDIO PRESIÓN	191						
VALOR PROMEDIO VOLTAJE	27.4						
ERROR ABSOLUTO PRESIÓN		7.82					
ERROR ABSOLUTO DE VOLTAJE			2.47				

RESULTADOS	
VALOR PROMEDIO - ERROR ABSOLUTO PRESIÓN	191 Kpa +- 7.82 Kpa
VALOR PROMEDIO - ERROR ABSOLUTO VOLTAJE	27.4 V +- 2.47 V
VALOR PROMEDIO - ERROR PORCENTUAL PRESIÓN	191 Kpa +- 4.09%
VALOR PROMEDIO - ERROR PORCENTUAL VOLTAJE	27.4 V +- 31.53%

```

app.estado.Color='green';
    stop=0;
    i=1;
    j=1;
    for j = 1:5
        fopen(app.com);
        if stop==1
            break;
        else
            % adc=fscanf(app.com,'%f,%f,%f');
            adc= fscanf(app.com,'%f,%f,%f\r\n');
            sen1(i)=adc(1);
            sen2(i)=adc(2);
            sen3(i)=adc(3);
            y1(i)=i;
            %app.monitor.Value =datos(i);
            %set(11,'YData',sen1(1:i),'XData',y1(1:i));
            plot(app.grasen1,sen1)
            plot(app.grasen2,sen2,'r')
            plot(app.grasen3,sen3,'k')
            tp(i)=i;
            dts=[tp;sen1;sen2;sen3];
            app.tabla.Data=dts';
            i=i+1;
                fclose(app.com)
                pause(1);
            % hold on
        end
    end
    sensor1=mean(sen1)
    sensor2=mean(sen2)
    sensor3=mean(sen3)
    datos1(k)=sensor1;
    datos2(k)=sensor2;
    datos3(k)=sensor3;
    k=k+1
        datos1
    end

```

Programación MATLAB

```

#include <Wire.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include "Nextion.h"
float sen_1=0;

```

```

float vt1=0;
float vt2=0;
float FRP=0;
int BPS=0;
float MAF=0;
int muestras=100;
uint32_t t0;
uint32_t t1;
float dato=0;
char inputString1[ 255 ];
uint8_t index1=0;
//-----GRAFICAS DE SEÑALES-----
NexWaveform s0 = NexWaveform(1,2,"s0");
NexWaveform s1 = NexWaveform(2,2,"s1");
NexWaveform s2 = NexWaveform(3,2,"s2");
NexWaveform s5 = NexWaveform(2,2,"s4");
//NexNumber nco2 = NexNumber(1,3,"nco2");
//NexNumber nch4 = NexNumber(1,4,"nch4");
NexTouch *nex_listen_list[] =
{
    //&s1,
    //&s2, //&s3,

//----PAGINAS SENSORES-----
    NULL
};
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Serial1.begin(9600);
    Serial2.begin(9600);
    nexInit();
    t0 = millis();
    t1 = millis();
}
void loop() {
    nexLoop(nex_listen_list);
    while( Serial1.available() ){
        char inChar = (char)Serial1.read();
        inputString1[ index1++ ] = inChar;
    }
}

```

```

if (inChar == '\n') {
    inputString1[ index1 ] = 0;
    dato= atoi(inputString1);
    dato=dato/1000;
    index1 = 0;
}
}
for(int i = 10; i<muestras; i++){
    vt1=vt1+ ((analogRead(A0)/1023.0) * 5.0);
    vt2=vt2+ ((analogRead(A1)/1023.0) * 5.0);
    delayMicroseconds(10);
}
sen_1=vt1/muestras;
sen_2=vt2/muestras;
if( millis()-t0>=500 ){
    t0 = millis();
    FRP=(4504.7*sen_1)-1726.1;
    if(sen_1<=0.4){
        FRP=0;
    }
    BPS=(77.19*sen_2)+16.351;

    if(sen_2<=0.7){
        BPS=0;
    }
    MAF= (24.853*dato)-44.471;
    if(dato<=1.4){
        MAF=0;
    }
    if((dato>=1.7)&&(dato<=2)){
        MAF=0.22;
    }
    Serial.print(sen_1);
    Serial.print(",");
    Serial.print(sen_2);
    Serial.print(",");
    Serial.println(dato);
    //Serial.print(FRP);
    //Serial.print(BPS);
}

```

```
//Serial.print(",");  
  
//Serial.print(",");  
  
//Serial.println(MAF);  
  
s0.addValue(0,25);  
s5.addValue(0,1);  
  
}  
  
// s0.addValue(0,10);  
  
vt1=0;  
vt2=0  
  
}
```